



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ADILSON CORRÊA ALVES**

**SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA A TEORIA DAS OPÇÕES  
REAIS: UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA  
PARA INVESTIMENTOS NO SETOR GÁS-QUÍMICO PARA O PÓLO  
INDUSTRIAL DE MANAUS**

**MANAUS  
2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ADILSON CORRÊA ALVES**

**SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA A TEORIA DAS OPÇÕES  
REAIS: UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA  
PARA INVESTIMENTOS NO SETOR GÁS-QUÍMICO PARA O PÓLO  
INDUSTRIAL DE MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração: Gestão Econômica.

Orientador: Prof. Ph.D Waltair Vieira Machado

**MANAUS  
2008**

**ADILSON CORREA ALVES**

**SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA A TEORIA DAS OPÇÕES  
REAIS: UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA  
PARA INVESTIMENTOS NO SETOR GÁS-QUÍMICO PARA O PÓLO  
INDUSTRIAL DE MANAUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**Orientador: Prof. Ph.D Waltair Vieira Machado**

Manaus

2010

**SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO APLICADA A TEORIA DAS OPÇÕES  
REAIS: UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA  
PARA INVESTIMENTOS NO SETOR GÁS-QUÍMICO PARA O PÓLO  
INDUSTRIAL DE MANAUS**

**ADILSON CORRÊA ALVES**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção (área de concentração em Gestão Econômica) e aprovada, na sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas.

Aprovada em 14 de outubro de 2008.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Ph.D Waltair Vieira Machado (Orientador)**

**Universidade Federal do Amazonas**

---

**Prof. Dr. Antonio Marcos de Oliveira Siqueira (membro)**

**Universidade Federal do Amazonas**

---

**Profa. Dra. Mariomar de Sales Lima (membro)**

**Universidade Federal do Amazonas**

---

**Prof. Dr. Aldenir Ferreira Alencar (membro)**

**Universidade Federal do Amazonas**

**SUPLENTE**

**1- Prof. Dr. Alexandre Rivas - UFAM**

**2- Prof. Dr. Max Fortunato Cohen -UEA**

Dedico esta dissertação a minha esposa Mirian, companheira e incentivadora em todos os momentos, e ao meu filho: Marcos Davi, meu tesouro. Aos meus pais Adriano Printes Alves e Maria Vanilda Correa Alves, pela educação e incentivo que me deram.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, devo agradecer ao Deus que eu sirvo por me permitir estar aqui e ter a capacidade de pensar e agir, para contribuir com o meio em que vivo. A ti Senhor, a honra, a glória, o louvor, o poder, a sabedoria e a majestade, minha sempre e eterna gratidão!

Ao longo desta caminhada, muitas pessoas de forma direta ou indireta me auxiliaram para que pudesse desenvolver este trabalho. A todos, o meu mais sincero muito obrigado!

Aos professores, membros da Banca Examinadora, pela apreciação e valiosas contribuições dadas a este trabalho.

Aos professores do PEP da UFAM pelos ensinamentos ministrados. Agradeço por tudo que aprendi e entendi.

Há algumas pessoas, no entanto, que caminharam comigo e às quais gostaria de agradecer pontualmente:

Ao meu professor orientador, Doutor Waltair de Oliveira Machado, pelo carinho, amizade e cordialidade que tratou deste estudo. Aos professores Doutores Alexandre Rivas da UFAM, Régis Motta e Marcela Lobo, ambos da UFRJ, pelas suas contribuições no direcionamento desse trabalho.

À Petrobrás pelo estímulo e apoio institucional, em especial ao companheiro e sempre combativo Artur Melo, pela articulação inteligente que possibilitou materializar a minha participação no mestrado. Ao Wander Sampaio, consultor de negócios, pelas importantes informações relacionadas à indústria gás-química.

ALVES, Adilson Corrêa.. *Simulação de Monte Carlo Aplicada a Teoria das Opções Reais: uma Ferramenta de Análise Econômico-Financeira para Investimentos no Setor Gás-Químico para o Pólo Industrial de Manaus*. Manaus-AM, 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia de produção – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Deferal do Amazonas, UFAM, 2008.

## RESUMO

A busca por métodos mais sofisticados de avaliação de investimentos que sejam capazes de lidar com incerteza, irreversibilidade, risco e que garantam flexibilidade, têm sido um exausto exercício por parte de pesquisadores, principalmente em projetos que envolvam investimentos em produtos com alto valor agregado. A partir de um levantamento bibliográfico e de laboratório, a presente dissertação analisa a viabilidade da indústria gás-química no Pólo Industrial de Manaus. Propõe uma análise econômico-financeira, baseado em uso de Opções Reais (OR), aplicado por Simulação de Monte Carlo (SMC). Desta forma, os preços das entradas e saídas são modelados através de um determinado processo estocástico, neste caso o Movimento Geométrico Browniano (MGB), são calculados os parâmetros (*drift* e volatilidade) de cada série de preços e em seguida são feitos sua Simulação por Monte Carlo (SMC). As variáveis flutuação de preços, variações de mercado, atrasos ou adiantamentos na execução do projeto, estimativas de custo e previsões para a obtenção das aprovações necessárias, são observadas para se precificar Opções Reais (OR). Seguidamente, propõe a combinação de entradas e saídas que maximiza a função lucro num determinado período e calcula o valor presente líquido (VPL). Finalmente, apresenta os métodos usados atualmente nessa precificação, dando ênfase ao método da Simulação de Monte Carlo (SMC), aponta as vantagens em relação à análise clássica e identifica as principais OR existentes em um projeto de grande porte.

**Palavras-Chave:** Análise de Investimento, Indústria Gás-Química, Monte Carlo, Opções Reais, Movimento Geométrico Browniano.

ALVES, Adilson Corrêa.. *Simulação de Monte Carlo Aplicada a Teoria das Opções Reais: uma Ferramenta de Análise Econômico-Financeira para Investimentos no Setor Gás-Químico para o Pólo Industrial de Manaus*. Manaus-AM, 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia de produção – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Deferal do Amazonas, UFAM, 2008.

## ABSTRACT

The search for sophisticated methods more of evaluation of investments that are capable to deal with uncertainty, irreversibilidade, risk and that they guarantee flexibility, has been one exausto exercise on the part of researchers, mainly in projects that involve investments in products with high aggregate value. From a bibliographical survey and of laboratory, the present dissertation analyzes the viability of the industry gas-chemistry in the Industrial Polo region of Manaus. It considers an economic-financial, established analysis in use of Real Options (OR), applied Simulation for Monte Carlo (SMC). Thus, the prices of the entrances and exits are shaped through one determined random process, in this in case that Geometric Movement Browniano (MGB), is calculated the parameters (drift and volatileness) of each series of prices and after that are made its SMC. The variable fluctuation of prices, variations of market, delays or advancings in the execution of the project, estimates of cost and forecasts for the attainment of the necessary approvals, are observed to Real Options (OR). Next, considers the combination of entrances and exits that the function maximizes profit in one determined period and calculates the liquid present value (VPL). Finally, it currently presents the used methods in this precificacion, giving emphasis to the method of the Monte Simulation Carlo (SMC), it points the advantages in relation to the classic analysis and identifies the main existing OR in a project of great transport.

**Key-Words:** Real analysis of Investment, Gas-Chemistry Industry, Monte Carlo, Real Options, Geometric Movement Browniano.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema simplificado da cadeia produtiva .....	33
Figura 2- Ilustração da cadeia produtiva .....	33
Figura 3 - Variáveis de cálculo do ROI.....	57
Figura 4 - Quando a flexibilidade gerencial é valiosa.....	66
Figura 5 -Fluxo de caixa gerado pela tecnologia A.....	76
Figura 6 -Fluxo de caixa gerado pela tecnologia B .....	76
Figura 7 - Árvore dos produtos petroquímicos derivados de gás natural e nafta .....	108
Figura 8 - Árvore de aplicações do metanol no mercado brasileiro .....	119
Figura 9 - Árvore de aplicações da amônia e uréia no mercado brasileiro .....	120
Figura 10 - Árvore de aplicações do estireno e derivados no Brasil .....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faturamento líquido da indústria química em 2007, por grupo de produtos .....	31
Tabela 2- Principais empresas químicas mundiais .....	31
Tabela 3 - Participação das Centrais pelas Capacidades Instaladas .....	36
Tabela 4 - Capacidade de Produção Nacional de Polietilenos .....	40
Tabela 5 - Capacidade de Produção Nacional de PP.....	41
Tabela 6 - Capacidade de Produção Nacional de PET .....	42
Tabela 7 - Capacidade de Produção Nacional de PVC .....	44
Tabela 8 - Capacidade de Produção Nacional de PS.....	45
Tabela 9 - Capacidade de Produção Nacional de Estireno.....	46
Tabela 10 - Investimentos Projetados (2013).....	47
Tabela 11: Investimentos Projetados (2008) .....	47
Tabela 12 - Estimativas para o preço do petróleo .....	49
Tabela 13 -Opção Financeira × Opção Real.....	68
Tabela 14 - Opções Existentes em um projeto de Investimento.....	81
Tabela 15. Opção Financeira × Opção Real .....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição do gás de Urucu (gás rico).....	109
Quadro 2 - Produtos derivados da nafta .....	110
Quadro 3 - Mercados do estireno .....	121
Quadro 4 - Mercados do poliestireno .....	122
Quadro 5 - Tamanho da amostra e unidade de medida dos preços .....	126
Quadro 6 - Parâmetro do modelo MGB .....	132
Quadro 7 - Dados para o cálculo do VPL.....	138
Quadro 8 - CAPEX por barril dia para uma planta que usa como <i>input</i> só o GN.....	138
Quadro 9 - CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como <i>input</i> só o GN.....	139
Quadro 10 - CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como <i>input</i> só o OP .....	140
Quadro 11 - CAPEX por barril dia para uma planta que usa como <i>input</i> só o OP .....	140
Quadro 12 - OPEX de plantas sem flexibilidade.....	141
Quadro 13 - Porcentagem de produção de cada <i>output</i> para uma planta sem flexibilidade.....	143
Quadro 14 - VPL de plantas sem flexibilidade .....	143
Quadro 15 - Porcentagem de produção de cada <i>output</i> para uma planta com flexibilidade .....	145
Quadro 16 - VPL das plantas com flexibilidade só de <i>input</i> .....	146
Quadro 17 - VPL das plantas com flexibilidade só de <i>output</i> .....	147
Quadro 18 - VPL das plantas com flexibilidade de <i>input</i> e <i>output</i> .....	148
Quadro 19 - 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> .....	149
Quadro 20 - CAPEX e OPEX para uma planta com flexibilidade.....	151
Quadro 21 - Custos extras na construção da planta flexível.....	151
Quadro 22 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	152
Quadro 23 - Valor da flexibilidade dos <i>inputs</i> para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	155
Quadro 24 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia.....	157
Quadro 25 - Valor da flexibilidade dos <i>inputs</i> para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia.....	157

Quadro 26 - Perfil de produção A para uma planta sem flexibilidade .....	176
Quadro 27 - VPL de plantas com e sem flexibilidade para o perfil de produção A.....	176
Quadro 28 - 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 .....	177
Quadro 29 - Perfil de produção B para uma planta sem flexibilidade .....	178
Quadro 30 - VPL de plantas com e sem flexibilidade para o perfil de produção B.....	178
Quadro 31 - 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 .....	178
Quadro 32 - VPL sem e com flexibilidade de <i>output</i> para diferentes perfis de produção de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	179
Quadro 33 - Valores da planta com e sem flexibilidade para um novo opex , uma nova eficiência e um $\alpha = 0,99$ .....	180
Quadro 34 - 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 $\alpha = 0,99$ .....	181
Quadro 35 - Valores da planta com e sem flexibilidade para um novo outro opex , uma nova eficiência e um $\alpha = 0,92$ .....	181
Quadro 36 - Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputts</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 $\alpha = 0,92$ .....	181
Quadro 37 - Valores do VPL com e sem flexibilidade para diferentes: OPEXs, rentabilidades e perfis de produção para uma planta com 35.000 bbl/dia.....	182
Quadro 38 - VPL com e sem flexibilidade para 50.000 simulações .....	183
Quadro 39 - Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputts</i> só dos <i>outputs</i> e <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para 50.000 simulações .....	188

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição em Aplicação de PEAD.....	37
Gráfico 2 - Distribuição em Aplicações de PEBD .....	38
Gráfico 3 - Distribuição em Aplicação PEBDL .....	39
Gráfico 4 - Distribuição em Aplicações de PP .....	41
Gráfico 5 - Distribuição em Aplicações de PET .....	42
Gráfico 6 - Distribuição em Aplicações de PVC.....	44
Gráfico 7 -Distribuição em Aplicações de PS .....	45
Gráfico 8 - Uma opção de compra.....	69
Gráfico 9 - Região de exercício de uma opção de compra.....	70
Gráfico 10 - Opção de compra antes de expiração.....	70
Gráfico 11 - Uma opção de venda .....	71
Gráfico 12 - Região de exercício de uma Opção de Venda.....	71
Gráfico 13 - Opção de Venda antes da expiração .....	72
Gráfico 14 - Variância no Movimento Geométrico Browniano.....	93
Gráfico 15 - Série de preços do óleo pesado .....	94
Gráfico 16 - Intervalo de Confiança para a série de Óleo Pesado .....	96
Gráfico 17 - Ilustração da SMC.....	99
Gráfico 18 - Ilustração dos passos da SMC.....	102
Gráfico 19 - Evolução da série de preços do GN .....	126
Gráfico 20 - Evolução da série de preços do OP .....	127
Gráfico 21 - Evolução das séries de preços dos <i>Inputs</i> .....	128
Gráfico 22 - Evolução dos preços da Nafta.....	129
Gráfico 23 - Evolução dos preços do Diesel. ....	130
Gráfico 24 - Evolução dos preços da Parafina. ....	130
Gráfico 25 - Evolução dos preços do Lubrificante.....	131
Gráfico 26 - Evolução das séries de preços dos <i>Outputs</i> .....	131
Gráfico 27 - <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do GN .....	134
Gráfico 28 - <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do OP .....	135
Gráfico 29 - <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco da Nafta.....	135

Gráfico 30 - <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do Diesel.....	136
Gráfico 31 - <i>Sample Paths</i> do processo neutro ao risco da Parafina.....	136
Gráfico 32 - <i>Sample Paths</i> do processo neutro ao risco do Lubrificante .....	137
Gráfico 33 - Possíveis combinações de produção dos <i>outputs</i> .....	142
Gráfico 34 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	144
Gráfico 35 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de <i>input</i> e sem correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	146
Gráfico 36 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de <i>output</i> e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia .....	147
Gráfico 37 - Distribuição do VPL com flexibilidade de <i>input</i> e <i>output</i> e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia .....	148
Gráfico 38 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	153
Gráfico 39 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de <i>input</i> e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	154
Gráfico 40 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de <i>output</i> e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia .....	154
Gráfico 41 - Distribuição do VPL com flexibilidade de <i>input</i> e <i>output</i> e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia .....	155
Gráfico 42 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.....	156
Gráfico 43 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia.....	158
Gráfico 44 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações .....	184
Gráfico 45 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de <i>input</i> e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações .....	185
Gráfico 46 - Distribuição do VPL com flexibilidade só 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.....	186

Gráfico 47 - 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..... 187

## LISTA DE SIGLAS

AR 1	Processo autoregressivo de primeira ordem
bbl/dia	Barril por dia
CAPEX	<i>Capital Expenditures</i>
CAPM	<i>Capital Asset Pricing Model</i>
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
DME	Dimetiliter
GN	Gás Natural
GNL	Gás Natural Liquefeito
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MTO	<i>Methanol to olefins</i>
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OR	Opções Reais
OR	Opção de redução
P & D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PELB	Polietileno
PET	Polipropileno
PEP	Programa de Pós-graduação em Engenharia
PIM	Pólo Industrial de Manaus
PP	Polipropileno
PS	Estireno/poliestireno
PSE	Poliestireno expandido
PUC	Pontifícia Universidade Católica
PVC	Policloreto de vinila
ROI	<i>Return On Investment</i> (Retorno do Investimento)
SMC	Simulação de Monte Carlo
SUFRAMA	Superintendência da Zona Franca de Manaus
TMA	Taxa mínima de atividade



TOR	Teoria das opções reais
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
US\$	Dólar americano
VAUE	Valor anual uniforme
VPL	Valor presente líquido
ZFM	Zona Franca de Manaus

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 -INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>22</b>
1.1.1 Objetivo Geral.....	22
1.1.2 Objetivos Específicos.....	25
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 Motivação.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4 Metodologia.....</b>	<b>28</b>
<b>1.5 Estrutura da Pesquisa.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>30</b>
2.1 Indústria Química.....	30
2.2 Cenário Mundial .....	31
2.3 Caracterização do setor petroquímico: panorama atual da indústria gás-química brasileira.....	32
<b>CAPÍTULO 3 - MÉTODOS DE INVESTIMENTOS, OPÇÕES REAIS, SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO E PROCESSOS ESTOCÁSTICOS</b>	
3.1 Métodos de seleção de alternativas de investimentos.....	53
3.2 Opções: Opção Americana <i>versus</i> Opção Europeia .....	66
3.3 As opções reais e o valor da flexibilidade gerencial.....	68
3.4 Principais tipos de Opções Reais.....	74
3.4.1 Opção de adiar um investimento (opção de espera).....	74
3.4.2 Opção de Expansão.....	75
3.4.3 Opção de Redução.....	75
3.4.4 Opção de paralisação temporária das Operações.....	76
3.4.5. Opção de Abandono.....	76
3.4.6. Opção de Troca de Uso.....	76
3.4.7. Opção de Investimento em Informação.....	80
3.5. Opções financeiras, opções reais e VPL.....	81
3.6 Aspectos Metodológicos: Processos Estocásticos e Simulação de Monte Carlo.....	84
3.6.1. Processos Estocásticos.....	84
3.6.2 Principais Processos Estocásticos.....	85
3.6.2.1 Processo de Markov.....	86
3.6.2.2. Random Walk.....	86
3.6.2.3 Processo Autoregressivo de Primeira Ordem (AR 1).....	87
3.6.2.4 Processo de Wiener.....	88
<b>3.6.2.5. Movimento Browniano com Drift ou Movimento de Wiener.....</b>	<b>89</b>
<b>Generalizado (Movimento Aritmético Browniano).....</b>	<b>90</b>
3.6.2.6 Movimento Browniano Generalizado - o Processo de Ito.....	91
3.6.2.7 Movimento Geométrico Browniano (MGB).....	92

3.6.2.8 Processo de Reversão à Média.....	98
3.7 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO.....	99
3.7.1 Simulação de Monte Carlo na precificação de opções.....	99
<b>CAPÍTULO 4 - INDÚSTRIA GÁS-QUÍMICA NO PIM.....</b>	<b>102</b>
4.1 Classificação dos produtos dentro da cadeia petroquímica.....	108
4.2 Produtos petroquímicos de 1a e 2a geração no PIM.....	109
4.3 Variáveis consideradas para produtos potenciais.....	114
4.4 Diferenciação e produtos químicos.....	115
4.5 Diferenciação dos produtos estudados.....	116
4.6 Mercados de destino dos produtos candidatos.....	118
4.6.1 Metanol.....	118
4.6.2 Amônia/uréia.....	121
4.6.3 Estireno.....	122
4.6.4 Poliestireno (cristal e alto impacto).....	124
4.6.5 Poliestireno expandido (PSE).....	124
4.6.6 Estrutura dos mercados: escalas e concentração.....	125
4.7 Cálculo do valor da opção de switch use dos <i>inputs</i> e/ou <i>output</i> .....	125
4.8 Estimação dos parâmetros ( <i>drift</i> e volatilidade) das séries de preços dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	127
4.9 Simulação de Monte Carlo dos preços dos <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> .....	134
4.10 Cálculo do VPL sem flexibilidade.....	139
4.11 Cálculo do VPL com flexibilidade.....	147
4.12 Valor da opção de switch dos <i>inputs</i> e/ou <i>outputs</i> .....	153
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>163</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>175</b>
<b>Apêndice A - Dedução da equação diferencial parcial de Black-Scholes-Merton.....</b>	<b>180</b>
<b>Apêndice B Outro perfil de produção para a planta sem flexibilidade.....</b>	<b>185</b>
<b>Apêndice C Outro Opex e outra eficiência para a planta GN.....</b>	<b>185</b>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

De acordo com Torres (2005), a cidade que nasceu da Fortaleza da Barra de São José do Rio Negro, em 1669, Manaus recebeu este nome em homenagem aos índios *manáos* que foram os primeiros habitantes destas paragens. Segundo dados do IBGE (2000), o crescimento de Manaus atingiu seu apogeu em 1890 com 147.915 habitantes e em 1920 com cerca de 363.166 habitantes, sob o impulso de uma época conhecida como ouro negro consubstanciada na atividade da borracha que colocou o Brasil no *ranking* de terceira colocação na exportação mundial (TORRES, 2005).

De acordo com Torres (2005 *apud* Dias, 2005,p.12), afirma que este período de ouro representado pela exportação do látex alavancou o desenvolvimento da pequena cidade.

Dias (1999), se refere àquele momento como o regalo das elites da borracha por um lado, e a contradição social, de outro, presente nos casebres e no grande número de desocupados. Com a perda de exclusividade na produção mundial da borracha no primeiro quartil do século XX, Manaus enfrentou um longo período de decadência econômica até a implantação de uma outra grande atividade econômica, a Zona Franca de Manaus, em 1967.

É a partir da criação e implantação do modelo Zona Franca de Manaus (ZFM) na cidade de Manaus-AM, que se verifica um grande marco na industrialização e no desenvolvimento econômico no Estado do Amazonas. Ocupando uma área de aproximadamente 2,2 milhões de km<sup>2</sup> a Amazônia Ocidental é formada pelos Estados do Amazonas, Rondônia e Acre. Contudo somente o Estado do Amazonas representa mais da metade dessa área. Essa região, até meados dos anos 60, manteve-se marginalizada em que pese o processo de industrialização da economia brasileira (SUFRAMA, 2002).

Antes da criação da ZFM, a economia nacional começava a sair da recessão marcada nos anos 60 e estava ingressando no período conhecido como “milagre brasileiro”. A política industrial

do Brasil, nessa fase histórica, almejava atingir um elevado ritmo de crescimento de produção industrial, apoiada sobremaneira em duas estratégias: aumentar a exportação de produtos nacionais e prosseguir no processo de substituição de importações; existindo também a preocupação dos gestores de planejamento do governo militar com a segurança nacional (MACIEL, 2003).

Ainda, de acordo com Maciel (2003), o modelo de desenvolvimento ZFM foi implantado na região como reflexo da ideologia dominante no país, na medida em que os militares estavam preocupados com a questão da segurança nacional, instituído por meio do binômio “integrar para não entregar”. Em consequência, resolveram ocupar a região mediante a industrialização e isso só seria possível por meio da substituição de importações e da intervenção do Estado na Economia.

Nesse sentido, a ZFM foi criada para alavancar a economia regional, tendo como estratégia o Pólo Industrial de Manaus (PIM), que por intermédio dos incentivos fiscais e de infra-estrutura básica, procurou atrair os investimentos privados, ocupar estrategicamente a região e incentivar o setor primário, secundário e terciário para atingir seus objetivos.

Segundo a Superintendência da Zona Franca de Manaus (2008), o PIM é um dos mais importantes no segmento eletroeletrônico da América Latina com aproximadamente 430 empresas instaladas. O faturamento médio em 2007 somou a cifra de US\$ 25 bilhões e são gerados quase 100 mil empregos diretos e 250 mil indiretos por todos os Estados da Amazônia Ocidental (Acre, Amapá, Amazonas, Roraima e Rondônia) e nos municípios de Macapá e Santana no Amapá.

O Estado do Amazonas conseguiu por um lado, através do modelo Zona Franca de Manaus, ao longo dos últimos trinta anos do século passado, atrair um significativo conjunto de atividades produtivas para seu espaço territorial, por conta da mão-de-obra barata e da concessão de incentivos fiscais e infra-estrutura física adequada (PONTES FILHO, 2000).

Por outro lado, a crescente necessidade de um maior adensamento nas cadeias produtivas, sobremaneira àquelas integradas por indústrias de bens de alto valor agregado, além daquelas integradas pelas agroindústrias do território da Amazônia Ocidental (SUFRAMA, 2005).

Além disso, o setor químico apresentou crescimento da ordem de 3.310% no período de 1988 a 2001. A expectativa de crescimento desse setor é bastante promissora em decorrência das grandes reservas de gás natural existentes e já explorada pela Petrobras na província petrolífera de Coari-AM, bem como, grande perspectiva de exploração dessa matéria-prima no município de Silves-AM (SUFRAMA, 2005).

Do ponto de vista conjuntural, em que pese o comércio exterior do setor químico, o qual vem sistematicamente operando com déficits comerciais (importação *versus* exportação de produtos químicos e petroquímicos), a necessidade estratégica de adotar políticas de promoção de substituição competitiva e importações no cenário nacional e o PIM poderia abrigar novos investimentos voltados para esta lacuna (SUFRAMA, 2005).

Assim, com a disponibilização do gás natural a partir de março de 2009, através dos portões de entrada (mais conhecidos como *city-gate*) na UN-REMAN/Petrobras, bem como na usina de Aparecida e Usina de Mauá, matéria-prima de alto valor para a indústria gás-química, que conta com reservas abundantes, poderá potencialmente ser aproveitado em setores desse segmento industrial (PETROBRAS, 2008).

Por este segmento industrial depender de altos investimentos, pesquisadores têm buscado métodos mais sofisticados de avaliação de investimentos que sejam capazes de lidar com a incerteza, irreversibilidade, risco, e que garantam flexibilidade para produtos com alto valor agregado (DIAS, 2005). Para Lobo (2007), o campo de estudo da Análise de Investimentos busca resposta para a seguinte questão: é viável economicamente investir em determinado projeto ou não?

Segundo a análise de investimentos clássica, caso o projeto possua um Valor Presente Líquido (VPL) positivo ele é viável economicamente, caso contrário não.

Ainda de acordo com Lobo (2007), o grande problema é que essa análise não leva em conta a flexibilidade gerencial, ou seja, não leva em conta o fato que os investidores podem tomar determinadas atitudes ao longo da vida útil do projeto de forma a maximizar seus ganhos e minimizar suas perdas.

Por outro lado, a análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais (OR) encaixa-se nesse ponto, isto é, esta considera que o investidor não fica passivo perante as novas informações adquiridas durante o processo de consolidação do empreendimento (LOBO, 2007).

A presente dissertação busca discutir as características da Indústria de Gás Natural, e a relação desta com o setor gás-químico da forma como ela se desenvolve, no sentido de propor uma análise econômico-financeiro, baseado em uso de Opções Reais, aplicado por Simulação de Monte Carlo (SMC), que possa subsidiar investidores que se interessem por este promissor mercado que é o da indústria gás-química.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Elaborar um estudo de análise econômica e financeira de investimentos em projetos utilizando o método VPL e o de Opções Reais para a demanda do gás natural, visando evolução e tendências da indústria gás-química no Pólo Industrial de Manaus.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Analisar os aspectos mercadológicos de produção e consumo local do gás natural.
- Levantar as tendências no setor da indústria gás-química para o Pólo Industrial de Manaus.

- Estudar os modelos de análises econômicas existentes na literatura, utilizando modelo probabilístico de Monte Carlo.
- Levantar o estudo de viabilidade para implantação de empreendimentos para a indústria gás-química no PIM.
- Propor um estudo de análise econômico-financeira para investimentos na indústria gás-química para o Pólo Industrial de Manaus.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A contribuição deste trabalho está em procurar desenvolver um estudo para análise de investimentos com riscos para tomada de decisão em empreendimentos para a indústria gás-química a ser instalada no Pólo Industrial de Manaus (PIM), utilizando o método do Valor Presente Líquido (VPL), a aplicação das Opções Reais para precificação de ativos, fazendo uso de modelo estocástico.

Neste sentido, a pesquisa parte do Estudo de Viabilidade para Implantação de Empreendimentos Petroquímicos no Pólo Industrial de Manaus, realizado no período de 2005-2006 coordenado por Rivas *et al* (2006). Outro aspecto a ser considerado é o de buscar a formalização de um novo processo de tomada de decisão, baseado em análise de investimentos de projetos de grande monta, por meio do método de simulação de Monte Carlo em novos empreendimentos para a indústria gás-química.

Além disso, por um lado, pretende-se desenvolver cenários econômico-financeiros, a partir do uso de *software* apropriado para simulação de Monte Carlo, a fim de melhor gerir os riscos nas tomadas de decisão na liberação de recursos para investimentos em projetos, bem como obter vantagem competitiva em relação aos concorrentes nessa atividade de negócios.



Por outro lado, destaca-se o número pouco expressivo de trabalhos reunidos em um única fonte, relacionados ao setor gás-químico que contemple estudos que diga respeito à atividade, a partir de uma abordagem financeira focada em investimentos e em projetos com a comparação de métodos de análise de investimentos.

Desta forma, questiona-se: é possível criar, a partir de um processo estocástico, ou seja, um modelo, com um conjunto de equações que descreva a relação entre duas ou mais variáveis aleatórias com probabilidades definidas, dependentes de uma variável não aleatória, para as variáveis financeiras; em seguida, simular uma trajetória de preços fictícios, para as variáveis de interesse incorporando cenários extremos ou de alta volatilidade como é o caso do setor gás-químico?

Para dar respostas a estas questões, é necessário por um lado, definir o que se entende por análise econômico-financeira, por outro, demonstrar por meio das simulações de Monte Carlo que o uso dessa ferramenta associada a montagem de cenários econômico-financeiros a partir do uso das opções reais contribuirá, sobremaneira, para que haja inserção de novos investidores no segmento industrial gás-químico no PIM.

Para que tal estudo seja feito os preços das entradas e saídas serão modelados através de um determinado processo estocástico, no caso o Movimento Geométrico Browniano (MGB), serão calculados os parâmetros (*drift* e volatilidade) de cada série de preços e em seguida será feita sua Simulação por Monte Carlo (SMC). O valor da opção de *switch use* das entradas e das saídas da planta de gás natural é a diferença entre o VPL de uma planta com flexibilidade e o VPL de uma planta sem flexibilidade. Desta forma o próximo passo será calcular o valor de ambos os VPLs e achar a diferença entre eles.

O presente estudo limita-se à utilização do método de Monte Carlo aplicado a Opções Reais para análise de riscos em investimentos para projetos na indústria gás-química para o PIM.

### 1.3 MOTIVAÇÃO

A motivação de fazer uma análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais (OR), surge da necessidade de se fazer um *mix* tanto de *inputs* quanto de *outputs* destinados a análise de investimento para empreendimentos no setor gás-químico.

O que existe para este setor industrial, em termos de análise de investimento é aquela dita clássica. Na revisão realizada no estado da arte, nenhuma das análises explorou a flexibilidade que a planta do gás natural possui em relação aos *inputs* (a possibilidade da planta operar com mais de um *input*) e em relação aos *outputs* (a possibilidade da planta poder produzir mais de uma combinação de *output*).

### 1.4 METODOLOGIA

A metodologia científica, em sua essência, tem por finalidade estudar os métodos que identificam os caminhos percorridos para alcançar os objetivos propostos pelo plano de pesquisa. O pesquisador, ao tomar conhecimento da existência de um problema, procura encontrar a solução e, a partir daí, inicia-se o processo da prática de pesquisa científica (VITAL, 2002).

O presente estudo, em relação à natureza da investigação, classifica-se em pesquisa aplicada, porque visa gerar conhecimentos a partir da observação e aplicação prática de um investimento na indústria gás-química para o PIM.

No que tange aos objetivos, este trabalho é considerado uma pesquisa exploratória, porque realiza uma análise crítica dos problemas propostos, mediante a revisão da literatura e a observação da vivência das práticas existentes em termos de análise de investimentos em projetos.

A presente pesquisa assume, ainda, esse caráter exploratório porque, pelo estudo, são identificados os fatos e variáveis que determinam e contribuem para uma melhor prática no uso dos

métodos de análise de investimentos.

No que se refere à pesquisa bibliográfica, segundo Fachin (2001), esta representa o ato de ler, selecionar, fichar, interpretar, organizar e arquivar os assuntos pertinentes ao estudo em pauta. Ademais, Köche (1997) explica que a pesquisa bibliográfica pode ser utilizada para ampliar o grau de conhecimento em determinada área de estudo, bem como para dominar o conhecimento disponível e usá-lo como base ou fundamentação na construção de um modelo teórico explicativo de um problema e também para descrever ou sistematizar o estado da arte, naquele momento, relativo a um determinado tema ou problema.

Dessa forma, percebe-se que o estudo voltado para simulação através de softwares apropriados é útil às ciências, porque diz respeito à contemporaneidade dos fatos, haja vista que a busca parte do cotidiano da sociedade, ou seja, de um ambiente real. Esse ponto de partida representa a realidade, a qual serve de base e fonte de inspiração para a grande maioria das pesquisas científicas que procuram, neste ambiente, os focos e os pontos relevantes que valham a pena serem investigados (por exemplo na Biologia, na Engenharia, etc.), para encontrar soluções dos problemas pertinentes à sociedade .

Nas palavras de Gil (1999), existem diversas razões para se aplicar este tipo de estudo, destacando-se entre elas: explorar situações da vida real sem uma limitação definida; descrever uma situação de contexto e explicar as variáveis causais de determinados fenômenos que não permitem a utilização de levantamentos e experimentos. Nessa mesma linha de raciocínio, Yin (2005) argumenta que se pode complementar estudos explanatórios com estudos exploratórios e descritivos.

Para Yin (2005, p. 42), os estudos voltados para simulações em laboratório apresentam cinco componentes fundamentais para a realização de um projeto de pesquisa, tais como: as questões de estudo (formulação do problema); as proposições se houver (o objetivo geral e os específicos); as

unidades de análise (métodos de análise de investimentos, método VPL e opções reais); a lógica que une dados às proposições (os indicadores econômicos como valor do VPL e de opções reais) e, os critérios de interpretação das constatações (coletada de dados e comparação realizada entre os métodos de análise, neste caso por SMC).

Estes três ambientes (simulação em laboratório, estudos exploratórios e descritivos), são estudados mediante a pesquisa bibliográfica que, interagindo entre si, dão consistência à metodologia da pesquisa. A finalização ocorre com a avaliação dos resultados e a conclusão que constitui a solução do problema proposto. Para Fachin (2001, p.154), “técnica corresponde ao conjunto de procedimentos mecânicos e intelectuais que as pessoas usam no desempenho de uma atividade científica”. Com a finalidade de alcançar os propósitos deste estudo foram adotadas algumas técnicas que correspondem à parte, prática de coleta de dados e de informações, distinguindo-se, entre elas, as que dizem respeito aos projetos e às análises de investimentos.

Para a presente pesquisa é empregado a técnica de documentação indireta e da documentação direta para a coleta de dados. No que tange à documentação indireta pode-se citar a pesquisa bibliográfica de livros (Teoria de Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimentos, Gestão de Projetos, Fundamentos de Engenharia Econômica e da Análise Econômica de Projetos, Administração de Projetos: como transformar idéias em resultados, Análise de Investimentos, Opções Reais: a nova análise de investimentos, Estudo de Viabilidade do pólo petroquímico do Amazonas, entre outros) artigos, Internet, dissertações e teses (Opções Reais Híbridas com aplicações em petróleo. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Industrial. PUC - Rio, 2005; A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais. Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 2007, entre outras). Com relação à documentação direta intensiva, foram realizadas conversas com os consultores de negócios e técnicos da SUFRAMA e Petrobrás.

Após a coleta de dados, procedeu-se à análise e interpretação dos mesmos, o que permitiu a assimilação do confronto entre a teoria e a prática, com informações levantadas no decorrer da revisão da literatura (teorias), embasada em autores que abordam temas sobre análise de investimentos, métodos VPL e OR. Dessa forma, considera-se que os dados coletados constituíram-se subsídios primordiais para a realização do presente trabalho.

## **1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA**

A presente dissertação está estruturada em capítulos, para propiciar uma coerência no ordenamento das idéias expostas. No primeiro capítulo consta a introdução, que possibilita o entendimento do leitor sobre o assunto a ser tratado no texto, o qual está segmentado, iniciando com o tema a ser focado, tecendo-se comentários a respeito do problema e a importância do estudo. Em seguida, são explicitados os objetivos, tanto o geral como os específicos. Também argumenta-se sobre a justificativa, ou seja, o porquê do referido estudo, fatos relevantes que contribuam para a configuração da dissertação. Aponta a disponibilidade e a vocação da região em estudo para este tipo de empreendimento. Enfoca ainda a metodologia a ser abordada para a realização do referido estudo, destacando-se os tipos e a classificação da pesquisa, os métodos de abordagens, e as técnicas utilizadas.

No segundo capítulo apresenta-se uma abordagem acerca da Indústria Gás-Química por meio da revisão bibliográfica, que serve de embasamento para o referido estudo. No terceiro capítulo é feito um levantamento sobre métodos de investimentos, opções reais, simulação de Monte Carlo e processos estocásticos (os principais processos estocásticos, seus valores esperados e volatilidades); as diferenças entre opções financeiras e reais e os problemas que envolvem a precificação das opções. Em seguida são vistas as principais opções reais que podem existir em um

projeto e, por fim, é feita uma comparação entre a análise de investimento clássica e a análise de investimento usando a teoria das OR.

No capítulo quatro é apresentada a indústria gás-química no PIM, sua possibilidade de geração de produtos alternativos a partir do gás natural de Urucu e nafta. Além disso são feitos os cálculos do valor da opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*; estimação dos parâmetros (*drift* e *volatilidade*) das séries de preços dos *inputs* e *outputs*. Apresenta-se também a Simulação de Monte Carlo dos preços dos *Inputs* e *Outputs*, cálculo do VPL sem flexibilidade, cálculo do VPL com flexibilidade e valor da opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*.

No capítulo cinco são apresentadas as conclusões e sugestões para futuros estudos acerca do tema e, finalmente, no capítulo seis são apresentadas as referências utilizadas nesta dissertação.

## **CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 INDÚSTRIA GÁS-QUÍMICA**

A petroquímica é o setor mais expressivo e dinâmico da diversificada indústria química nacional, cujo faturamento líquido alcançou o montante estimado de US\$ 58,7 bilhões em 2007, o que significou um aumento da ordem de 29% do faturamento de 2005, subdividido pelos diversos subsectores, como se observa na Tabela 1 (GOMES *et al.*, 2007).

De acordo com a ABIQUIM (2007), a indústria gás-química é parte integrante da indústria química. Caracteriza-se por utilizar um derivado de petróleo (nafta) ou o gás natural como matérias-primas básicas. Dependendo do nível de transformação química e processamento os produtos gerados podem ser classificados de uma forma geral em básicos (primeira geração), intermediários (segunda geração) e finais (terceira geração).

A cadeia petroquímica constitui-se de unidades ou empresas de primeira geração, que são as produtoras de básicos petroquímicos - olefinas (etenos, propenos e butadienos) e aromáticos (benzenos, toluenos e xilenos) -, e de unidades ou empresas de segunda geração, que são, sobretudo, as produtoras de intermediários e resinas termoplásticas. As empresas de terceira geração, mais conhecidas como empresas de transformação plástica, são os clientes da indústria petroquímica que transformam os produtos de segunda geração e intermediários em materiais e artefatos utilizados por diversos segmentos como os de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônicos e automotivos (IBIQUIM, 2007).

Para Gomes *et al* (2007), analisando a indústria química brasileira num estudo sobre a situação atual e perspectivas, mostra que a balança comercial tem sido deficitária ao longo de sua história. Embora as exportações brasileiras de produtos químicos tenham alcançado a cifra de US\$ 6,9 bilhões em 2007, cerca de 23% superior ao montante exportado em 2006, as importações

exerceram forte impacto na balança comercial ainda em maior proporção e somaram mais de US\$ 14,5 bilhões, resultando num déficit comercial superior a US\$ 8,5 bilhões.

<b>PRODUTOS</b>	<b>US\$ BILHÕES</b>
Produtos químicos de uso industrial	33,0
Produtos farmacêuticos	6,6
Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos	3,7
Adubos e fertilizantes	5,3
Defensivos agrícolas	4,2
Sabões e detergentes	2,6
Tintas, esmaltes e vernizes	1,5
Outros	1,8
<b>TOTAL</b>	<b>58,7</b>

**Tabela 1- Faturamento líquido da indústria química em 2007, por grupo de produtos**

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira da indústria Química (ABIQUIM), 2007.

## 2.2 CENÁRIO MUNDIAL

A indústria gás-química mundial segue três modelos estruturais: transnacionais químicos diversificados (BASF, Bayes, Dupont, Dow, entre outras), empresas integradas a partir do petróleo (Exxon Móbil, BP, Shell, Total Fina Elf, etc.) e empresas regionais (Sabic, Sinopec, entre outras), em grande parte estatais (NETO *et al.*, 2007). Na década de 90, houve um processo de consolidação da indústria com diversas pressões e aquisições. As 20 maiores empresas químicas, em 2006, estão listadas na Tabela 2.

<b>COMPANHIAS</b>	<b>VENDAS (US\$ BI)</b>	<b>COMPANHIAS (US\$ BI)</b>	<b>VENDAS</b>
1. BASF (Alemanha)	28,0	11. Akzo Nobel (Holanda)	10,6
2. Dow (EUA)	27,6	12. ICI (Inglaterra)	9,5
3. Dupont (EUA)	24,6	13. Mitsubishi (Japão)	9,4
4. Exxon Móbil (EUA)	20,3	14. Mitsui (Japão)	8,8
5. Total (França)	20,3	15. Air Liquide	8,3
6. Formosa (Taiwan)	20,1	16. Toray Industries (Japão)	8,2
7. Bayer (Alemanha)	19,7	17. Huntsman (EUA)	8,1
8. BP (Inglaterra)	13,0	18. Sabic (Arábia Saudita)	8,1
9. Degussa (Alemanha)	12,3	19. Dainippon (Japão)	8,0
10. Shell (Holanda/Inglaterra)	12,2	20. General Electric	7,6

**Tabela 2- Principais empresas químicas mundiais**

Fonte: BNDES (2007)



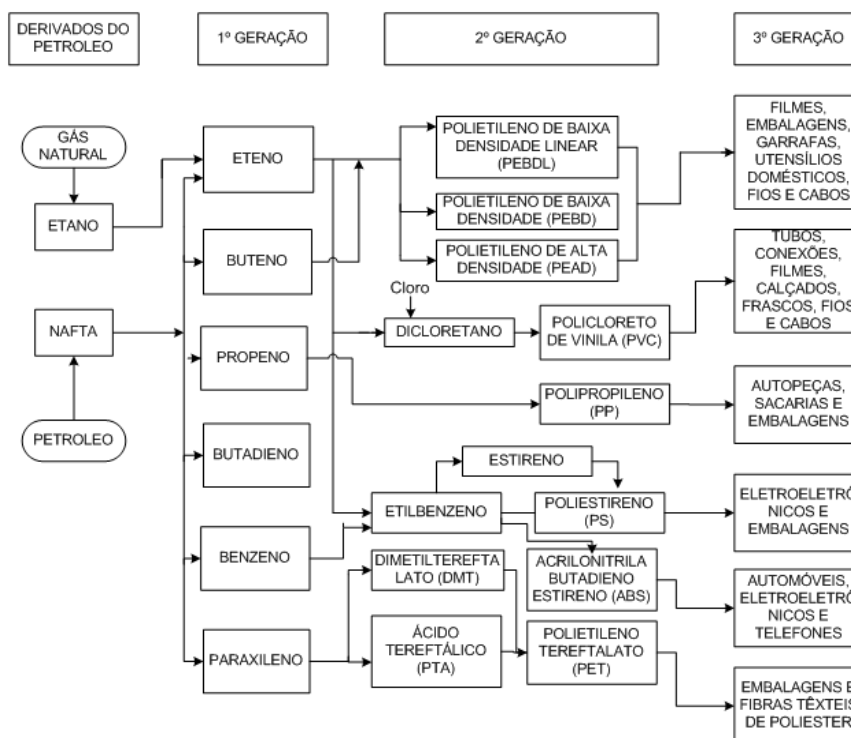
O setor petroquímico mundial é submetido a ciclos de preços, isto é, durante a fase de alta normalmente estimulada por crescimentos elevados das principais economias mundiais, há grandes investimentos em ampliações de capacidade, o que em três ou quatro anos leva a um excesso de oferta e a conseqüente queda geral de preços. Essa é uma lógica comum a vários setores intensivos em capital, verificado com maior intensidade nesse setor em que os investimentos necessariamente têm de ser feitos em grande escala e, normalmente, integrando expansões na reprodução de petroquímicos básicos e de segunda geração (BNDES, 2007).

Todas as projeções, atualmente, parecem estar bastante otimistas com o cenário da petroquímica mundial. O ano de 2004 foi considerado como a transição para a rentabilidade da indústria em termos mundiais, apesar de a matéria-prima ser um ponto de preocupação. Inicia-se, portanto, mais um ciclo de alta da indústria gás-química (o chamado *fly-up*), e o pico de rentabilidade é esperado para o final do segundo semestre de 2008 (Braga, 2007).

A inserção competitiva da indústria petroquímica nacional no mercado mundial, a princípio, poderá ser obtida a partir da evolução da indústria para um cenário de grandes empresas, com unidades de escala mundial, integradas, com aproveitamento de fontes de matéria-prima competitivas e relacionamento com seus clientes na terceira geração.

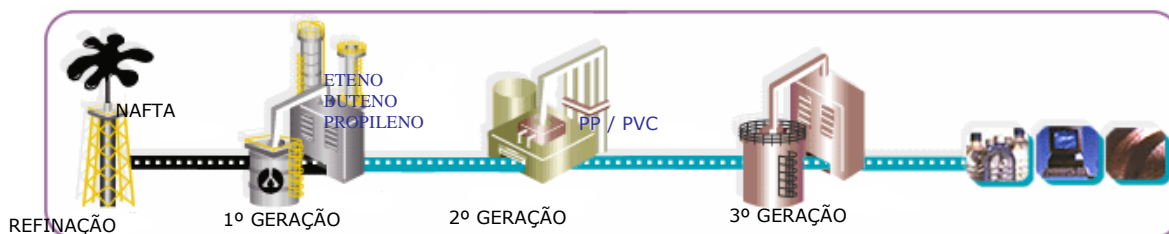
### **2.3 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR PETROQUÍMICO: PANAROMA ATUAL DA INDÚSTRIA GÁS-QUÍMICA BRASILEIRA**

É mostrado na Figura 1 um esquema simplificado da cadeia petroquímica, vez que do ponto de vista histórico e mundial, as empresas petroquímicas procuram se estruturar integrando a central de matérias-primas com as unidades produtoras de materiais petroquímicos. É demonstrado algumas possibilidades do uso do gás natural ou do petróleo para fins petroquímicos. Seguidamente, na Figura 2, é apresentada a ilustração da cadeia produtiva, desde a exploração até o refino do óleo.



**Figura 1- Esquema simplificado da cadeia produtiva**

Fonte: Adaptado de Chemical Week, 2002.



**Figura 2- Ilustração da cadeia produtiva**

Fonte: Petrobras, 2007.

Uma evidente característica dos produtos petroquímicos é a grande variedade e os vários usos associados, uma vez que um pequeno número de matérias-primas alcança nas sucessivas etapas do processo de produção um número maior de produtos intermediários e finais. Neste sentido, em sua grande maioria, as empresas neste setor possuem um *mix* de produtos básicos e avança na direção das especialidades, o que permite uma maior diferenciação e melhor nível na taxa de retorno (RIVAS *et al.*, 2006).

O setor petroquímico brasileiro encontra-se basicamente distribuído em quatro pólos: São Paulo; Camaçari, na Bahia; e Triunfo, no Rio Grande do Sul. Os três pólos utilizam nafta petroquímica, parte produzida pela Petrobras (aproximadamente 70%) e parte importada diretamente pelas próprias centrais (cerca de 30%). A partir do segundo semestre de 2005, iniciou-se, no Rio de Janeiro, as operações da Rio Polímeros, tendo o Brasil um novo empreendimento petroquímico centrado apenas na produção de eteno e polietilenos, diferenciando-se dos demais por utilizar como matéria-prima o etano e o propano contidos no gás natural extraído pela Petrobras da Bacia de Campos/RJ (PETROBRAS, 2007).

De acordo com Montenegro *et al* (2006), nos últimos 13 anos, vem decrescendo continuamente a ação coordenadora e o apoio estatal ao setor petroquímico, expressas no período de implantação da indústria na forma de financiamentos de bancos oficiais, da participação da Petroquisa, subsidiária da Petrobras, nos empreendimentos e do fornecimento de nafta em condições favoráveis. As privatizações dos anos 90, iniciadas no governo Collor, acompanhadas pela abrupta abertura comercial e pelo encolhimento das proteções tarifárias, não favoreceram novos investimentos na indústria petroquímica, cujo crescimento praticamente estagnou durante a década, como indica o pequeno crescimento do setor, de apenas 9% entre 1990 e 1997 comparado a um aumento do PIB em torno de 21% nesta fase economicamente turbulenta do país.

Nesse cenário, a Petroquisa deixou de atuar como planejadora e arquiteta da política industrial do setor e teve de alienar a maior parte de suas participações societárias. Mais recentemente, em 2000, foi interrompido o subsídio à nafta recebida da Petrobras. Tendo em vista que, em média, 83% dos custos variáveis da indústria provêm da matéria-prima, este fato, previsivelmente, teve impacto fortemente negativo na competitividade das empresas nacionais, principalmente das de segunda geração, mais suscetíveis à concorrência de produtos similares importados.

A Petroquímica União, Braskem-Unidade de Insumos Básicos e Copesul, três petroquímicas de primeira geração são de capital predominantemente nacional, como também a maioria das de segunda geração. Entre estas, destacam-se a Braskem, Oxiteno, Petroflex e Ipiranga. Todavia, empresas mundiais, como a Dow Química, Rhodia, Basell (associação petroquímica entre Basf e Shell), Solvay entre outras, têm aqui expressiva presença na segunda e na terceira gerações através de suas filiais, algumas delas já instaladas antes do surgimento dos pólos petroquímicos. As empresas globais se distinguem das nacionais pelos produtos de maior valor agregado, atuando destacadamente na área de especialidades químicas, com forte conteúdo tecnológico, constantemente atualizado e ampliado através do apoio dos centros de P&D localizados nos países de origem (DANTAS & ARAÚJO, 2004).

Mesmo após as reestruturações ocorridas naquele ano, a indústria petroquímica no Brasil encontrava-se ainda pulverizada em um grande número de empresas, apresentando um nível de verticalização extremamente baixo ao contrário do que ocorre no resto do mundo. Assim é que, em 2001, no pólo de São Paulo, representado por unidades de Capuava, Santo André e Paulínia, existiam nada menos do que 24 diferentes empresas de segunda geração; em Camaçari-Ba, estavam instaladas 19 empresas de segunda geração, além da Copene, que é como era chamada a atual Unidade de Insumos Básicos da Braskem; e em Triunfo, a Copesul abastecia 7 empresas de segunda geração. Além disso, é comum a presença de uma mesma empresa nos três grandes pólos (RIVAS *et al.*, 2006).

De acordo com Moutinho (2005), enquanto que as empresas de capital estrangeiro são totalmente controladas por suas matrizes e atuam segundo uma estratégia mundial, as empresas de capital nacional, limitadas pelo seu porte, pautam por atender quase que exclusivamente ao mercado interno. O quadro societário do segmento nacional, resultante do período de implantação, é um emaranhado de participações acionárias envolvendo um pequeno conjunto de investidores

controladores, sendo os mais importantes os grupos Odebrecht, Ultra, Mariani, Unipar, Petroquisa, Ipiranga e Suzano.

Segundo os estudos de Dantas & Araújo (2004), os cruzamentos acionários constituem um dos fatores que tem prejudicado sobremaneira o planejamento de médio e longo prazos da indústria e a tomada de decisões importantes na direção da expansão da produção e da geração de inovações tecnológicas, com sérios reflexos na competitividade do setor como um todo. Porém, a recente constituição da Braskem, em agosto de 2002, veio dar início ao processo de reestruturação empresarial na direção da verticalização industrial da petroquímica brasileira, abrindo novos horizontes. Segue o mesmo autor argumento que, a Braskem, resultante da incorporação à Copene dos ativos petroquímicos dos grupos controladores (Odebrecht e Mariani) apresenta-se com um faturamento anual superior a R\$ 7 bilhões, o que a torna a maior petroquímica da América Latina. A ação verticalizada na primeira e segunda gerações, o foco no segmento de termoplásticos (Poliestirenos, Polipropilenos e PVC's) com plantas modernas e de economia de escala, e a disposição de investimentos em tecnologia e inovações, conferem à nova empresa um alto grau de competitividade e um lugar de destaque nas futuras reorganizações do setor, que serão inevitáveis. A seguir, na Tabela 3, verifica-se a participação das centrais petroquímicas no mercado nacional.

	CAMAÇARI		TRIUNFO		PQU	
	t/ano	%	t/ano	%	t/ano	%
Eteno	1.280.000	44	1.135.000	39	500.000	17
Propeno	530.000	58	581.000	43	250.000	18
Butadieno	170.000	48	105.000	30	80.000	23
Tolueno	438.000	49	91.000	44	75.000	22
Xilenos	270.000	58	66.000	14	130.000	36
<b>Total</b>	<b>2.728.000</b>	<b>44</b>	<b>2.243.000</b>	<b>36</b>	<b>1.235.000</b>	<b>28</b>

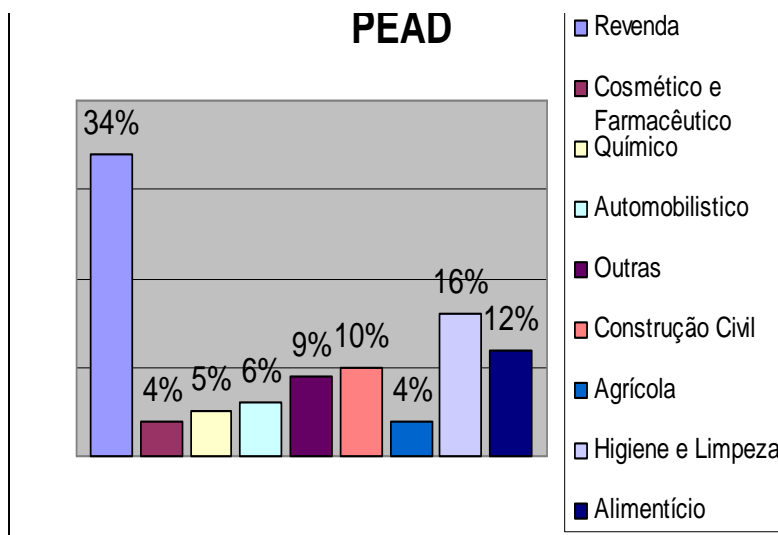
**Tabela 3 - Participação das Centrais pelas Capacidades Instaladas**

Fonte: Adaptado de Abiquim, 2005.

O número de empresas, na segunda geração petroquímica brasileira é significativamente superior ao de centrais de matérias-primas (primeira geração), principalmente em função da falta de

integração e consolidação do parque petroquímico nacional. Este segmento é responsável pela produção das principais resinas termoplásticas e intermediários petroquímicos: polietilenos (PEAD, PEBD e PELBD), polipropileno (PP), PTA/PET, policloreto de vinila (PVC) e estireno/poliestireno (PS). Os polietilenos são a resina termoplástica mais utilizada no mundo, com cerca de 40% do total do mercado. Existem três tipos de polietilenos: polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno de baixa densidade linear (PEBDL). A classificação nessas três categorias se dá de acordo com a densidade e o índice de fluidez do polímero (Gomes *et al.*, 2006).

O segmento de sopro é o segundo principal, correspondendo a cerca de 35% da demanda de PEAD. No segmento de injeção, o PEAD sofre forte concorrência do PP. Destaca-se que boa parte da produção de PEAD é comercializada para pequenas e médias empresas, através de distribuidores (revenda), conforme pode ser observado no Gráfico 1 ( GOMES *et al.*,2006)

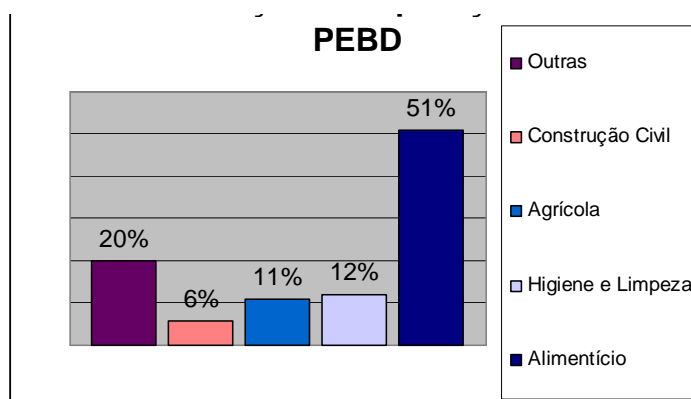


**Gráfico 1 - Distribuição em Aplicação de PEAD**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2007.

De acordo com ABIQUIM (2005) o polietileno de baixa densidade foi o primeiro a ser produzido e é um produto maduro, com baixa taxa de crescimento, principalmente pelo seu maior custo, decorrente do seu processo de produção, em alta pressão, hoje já considerado ultrapassado. O PEBD é em geral processado de forma misturada com o PEBDL para a produção de filmes flexíveis para embalagens. A distribuição de suas aplicações entre os diversos segmentos finais pode ser observada no Gráfico 2.

A principal aplicação do PEBD é em filmes flexíveis, utilizados por máquinas de empacotamento automático, com destaque para os filmes destinados ao empacotamento de alimentos. Com a entrada do PET em substituição às garrafas de vidro, o PEBD encontrou um novo nicho de mercado – os filmes *shrink*, que são os filmes que envolvem conjuntos de garrafas.

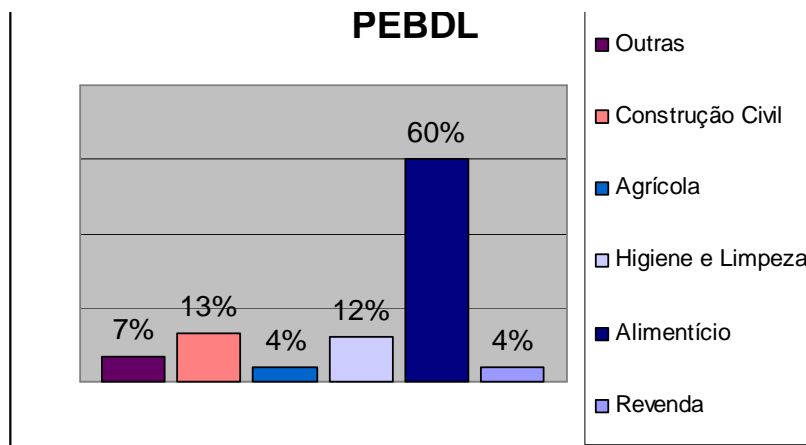


**Gráfico 2 - Distribuição em Aplicações de PEBD**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

O PEBDL, por ser um produto relativamente novo apresenta taxa de crescimento de demanda superior ao dos demais polietilenos. Como já comentado, ele é utilizado em mistura com o PEBD, tendo crescido recentemente, de forma significativa, o teor de PEBDL na mistura. As principais vantagens do PEBDL são suas características de impermeabilidade à água e

soldabilidade, daí ser interessante sua aplicação no empacotamento de alimentos. Os segmentos finais que mais utilizam o PEBDL estão representados no Gráfico 3 (IBIDEM, p.99)



**Gráfico 3 - Distribuição em Aplicação PEBDL**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2007

A estrutura da oferta de polietilenos no mercado brasileiro é bastante difusa. Atualmente, nove fabricantes vendem resinas de polietileno no país, incluindo as vendas de *pré-marketing* da Rio Polímeros. Com a entrada em operação dessa empresa, a capacidade de produção do maior fabricante, a Braskem (incluindo a Polialden, que está sob sua administração), corresponderá a apenas cerca de 30% da capacidade total instalada no país (MOUTINHO, 2005).

O restante da oferta estará dividido entre as demais empresas. A escala das unidades instaladas é variada. Contudo, também existem unidades muito pequenas, como a da Solvay, em São Paulo. A consolidação das empresas menores seria importante para aumentar a competitividade e viabilizar expansões nas suas unidades de produção. A capacidade de produção nacional de polietilenos é distribuída conforme mostra a Tabela 4.



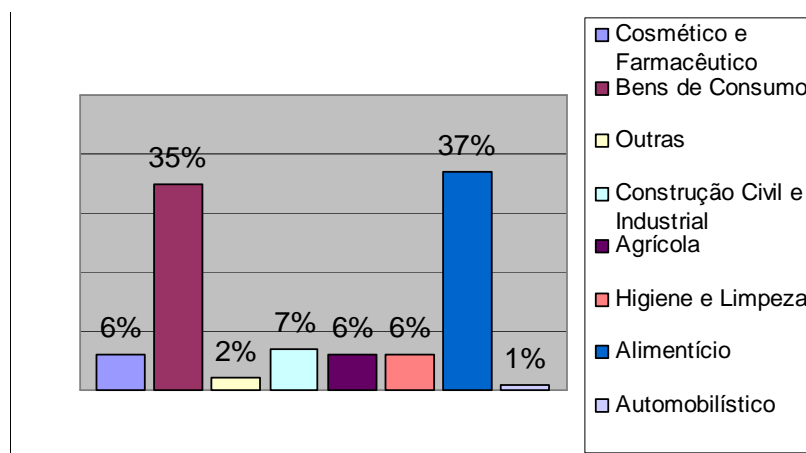
<b>COMPANHIAS</b>	<b>PEAD (t/ano)</b>
Braskem	200.000
Ipiranga	425.000
Polialden	150.000
Politeno	105.000
Rio Polímeros	270.000
Solvay	82.000
<b>Total</b>	<b>1.232.000</b>
<b>COMPANHIAS</b>	<b>PEBD (t/ano)</b>
Braskem	210.000
Dow Brasil	144.000
Polietilenos União	130.000
Politeno	150.000
Petroquímica Triunfo	160.000
<b>Total</b>	<b>794.000</b>
<b>COMPANHIAS</b>	<b>PEBDL (t/ano)</b>
Braskem	300.000
Ipiranga	75.000
Politeno	105.000
Rio Polímeros	270.000
<b>Total</b>	<b>750.000</b>

**Tabela 4 - Capacidade de Produção Nacional de Polietilenos**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira ( ABIQUIM),2007

Outro projeto que poderá aumentar a oferta de polietilenos é o pólo na fronteira com a Bolívia, a depender de acordos políticos bilaterais entre o Brasil e a Bolívia, cuja viabilidade está sendo analisada pela Braskem, Petrobras e Repsol. O polipropileno é a resina que apresenta o maior crescimento nos últimos anos, em face da eficiência das plantas e da grande versatilidade para inúmeras aplicações. As principais características do PP que garantem essa grande versatilidade são a resistência à alta temperatura, a resistência química, a excelente resistência à fissura ambiental e a boa processabilidade, além de sua baixa densidade e seu baixo custo, se comparado ao de outras resinas (PETROBRAS, 2004).

Além disso, o PP não apresenta riscos ao meio ambiente, podendo o polímero ser descartado, reciclado ou incinerado. No caso de reciclagem, ela pode se dar por processo mecânico ou pela reciclagem energética, através de sua queima. A distribuição das aplicações do PP é descrita no Gráfico 4. Na Tabela 5, apresenta-se as três empresas nacionais que produzem PP. A disputa pelo mercado de resinas de polipropileno está concentrada entre a Polibrasil e a Braskem.



**Gráfico 4 - Distribuição em Aplicações de PP**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

COMPANHIAS	PP (t/ano)
Polibrasil	625.000
Braskem	550.000
Ipiranga	150.000
<b>Total</b>	<b>1.325.000</b>

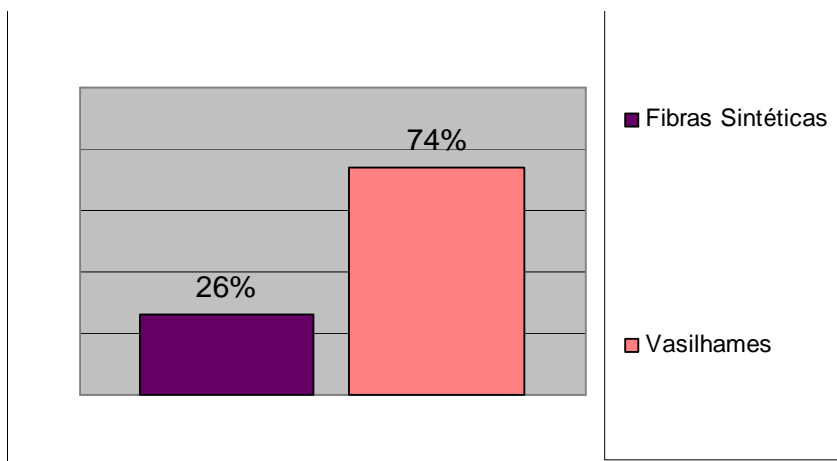
**Tabela 5 - Capacidade de Produção Nacional de PP**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

Por ser o polipropileno a resina mais dinâmica, novos projetos estão sendo anunciados pela Braskem e pela Polibrasil, visando atender à demanda crescente do mercado. A consolidação empresarial e a escala nesse mercado são mais adequadas do que no mercado de polietilenos. Esses projetos, concentrados na Região Sudeste, irão aumentar o aproveitamento de correntes de propeno disponíveis nas refinarias da Petrobras (ABIQUIM, 2005).

Inicialmente, dados da ABIQUIM (2005), mostram que a resina de polietileno tereftalato (PET-poliéster) destinava-se unicamente a aplicações têxteis e, somente no fim dos anos 70, começou a ser produzido para a indústria de embalagens. Hoje, a demanda da indústria de embalagens é bem superior à da indústria têxtil, conforme podemos verificar no Gráfico 5, que apresenta a distribuição das aplicações do PET. Características como a alta resistência mecânica e

química, barreira a gases e odores, além de excelente transparência, tornou a resina PET a principal embalagem para bebidas, principalmente as carbonatadas, como os refrigerantes. A Tabela 6 mostra a capacidade de produção nacional de PET.



**Gráfico 5 - Distribuição em Aplicações de PET**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

COMPANHIAS	PET (t/ano)
Rhodia-Ster	290.000
Braskem	70.000
Vicunha Têxtil	24.000
Ledervin	9.000
<b>Total</b>	<b>393.000</b>

**Tabela 6 - Capacidade de Produção Nacional de PET**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

De acordo com Gomes *et al* (2005) os dois principais produtores de PET no Brasil são a Rhodia-Ster (controlada pelo Grupo Mossi & Grisolfi) e a Braskem. A capacidade instalada de produção anual da Rhodia-Ster é de 290 mil t/ano, utilizando o ácido tereftálico (PTA) como intermediário, enquanto a da Braskem é de 70 mil t/ano, utilizando o dimetil tereftalato (DMT) como intermediário. A Vicunha e a Ledervin possuem unidades focadas no segmento de poliéster para a indústria têxtil. As unidades instaladas no Brasil não possuem escala competitiva e, além

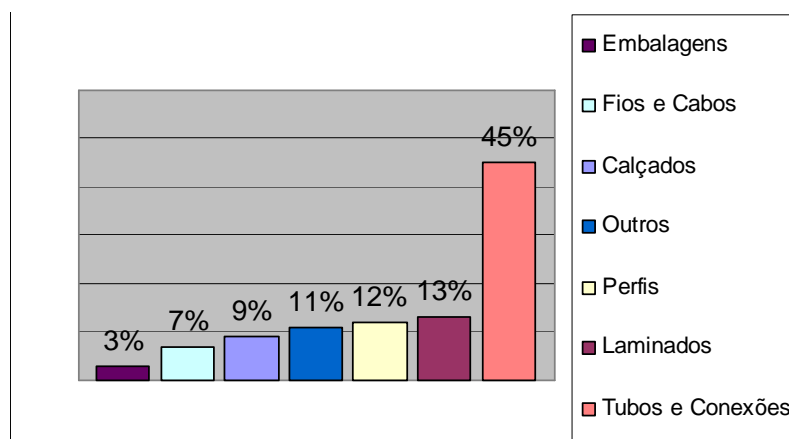
disso, a tecnologia da unidade da Braskem (que utiliza a rota do DMT em vez do PTA como intermediário).

As capacidades instaladas no país não são suficientes para atender à demanda interna, situada em torno de 400 mil t, em 2003, apenas do polímero em grau garrafa. O resultado da escassez de oferta no mercado nacional é a importação crescente de resina PET (136 mil t em 2003) e de preformas de PET para garrafas. Vale ressaltar que as importações de PET incorporado em fios, fibras e filamentos de poliéster chegaram a 200 mil t/ano, em 2002. O PTA destina-se, quase exclusivamente, à produção de PET, nos seus diversos graus. E o único produtor de PTA no país é a Rhodiaco (controlada pelo grupo italiano Mossi & Grisolfi), localizada em São Paulo, com capacidade para a produção de 250 mil t/ano.

A instalação de unidades de PET e PTA integradas e com escala adequada seria extremamente importante para atender à demanda nacional e aumentar a competitividade da resina PET e da cadeia de fibras de poliéster no país. Recentemente, foi anunciada a intenção do Grupo Mossi & Grisolfi de instalar uma unidade de PET em Recife e outra de A principal diferença do PVC para os outros plásticos é que ele contém 57% de cloro em sua composição e apenas 43% de eteno.

As principais aplicações do PVC são direcionadas para o setor de construção civil (tubos e conexões), mas seu uso vem crescendo também na fabricação de perfis, laminados e calçados. A distribuição das aplicações pode ser observada no Gráfico 6.

A Braskem e a multinacional Solvay são os únicos produtores de PVC no Brasil. As duas unidades da Solvay estão localizadas em São Paulo e, portanto, estão mais próximas do mercado consumidor do produto. Não obstante tal fato, as unidades da Braskem são competitivas em PVC devido à sua escala e capacidade de produção de eteno, EDC e MVC, em unidades integradas.



**Gráfico 6 - Distribuição em Aplicações de PVC**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

As capacidades de produção de PVC instaladas no país estão na Tabela 7, a seguir:

COMPANHIAS	PVC (t/ano)
Polibrasil	475.000
Solvay	236.000
<b>Total</b>	<b>711.000</b>

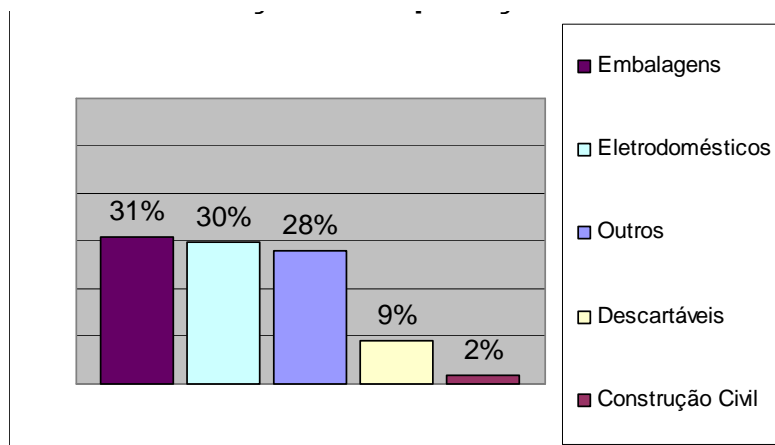
**Tabela 7 - Capacidade de Produção Nacional de PVC**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

A demanda de PVC é formada por grandes clientes, com capacidade de importar o produto, de modo que a competição é garantida pelo volume de importações, que gira em torno de 15% a 20% do consumo aparente de PVC no país. Apesar de as unidades de produção de PVC instaladas no país não serem modernas, sua escala é razoável. Adicionalmente, a integração das unidades de PVC e soda-cloro, localizadas no Nordeste, promovida com a criação da Trikem e, mais recentemente, com a incorporação da Trikem pela Braskem, aumentou a competitividade dessas unidades (RIVAS *et al.*, 2006).

O poliestireno é o mais antigo dos termoplásticos. Existem três tipos de resina de poliestireno: a) poliestireno cristal, utilizado no segmento de embalagens rígidas (copos, potes e caixas de CD) e descartáveis; b) poliestireno expandido (conhecido como isopor, marca registrada

da Basf), utilizado em embalagens e como isolante térmico; e c) poliestireno de alto impacto, utilizado no segmento de eletrodomésticos e eletrônicos. O mercado consumidor PS é segmentado, conforme mostra o Gráfico 7.



**Gráfico 7 - Distribuição em Aplicações de PS**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

COMPANHIAS	PS (t/ano)
Basf	190.000
Dow	190.000
Innova	120.000
Videolar	120.000
Resinor	1.620
<b>Total</b>	<b>621.620</b>

**Tabela 8 - Capacidade de Produção Nacional de PS**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

Os investimentos recentes em expansão de capacidade deixaram o mercado nacional de poliestireno superavitário. Os maiores produtores são as multinacionais Basf e Dow, seguidas pela Innova, empresa cujo controle indireto passou a ser da Petrobras, e pela Videolar, empresa nacional fabricante de mídia, que consome internamente cerca de 50% de sua capacidade de produção de poliestireno. O poliestireno é fabricado a partir do estireno, que é uma *commodity* negociada

internacionalmente. As principais aplicações do estireno são para plásticos (79%), resinas sintéticas (11%), elastômeros (6,5%), tintas e vernizes (2,4%), entre outros.

Ao contrário do poliestireno, a fabricação de estireno não atende à demanda nacional, tendo sido verificado um déficit de cerca de 85 mil t em 2003. Além disso, as unidades existentes possuem escalas pequenas com a produção total atingindo 530 mil t/ano, como se demonstra na Tabela 9. Existem projetos da Dow e Basf em conjunto e da Innova para a implantação de unidades com escala adequada, capazes de atender à demanda interna e exportar excedentes, que aumentariam a competitividade da produção de estireno no Brasil.

<b>COMPANHIAS</b>	<b>ESTIRENO (t/ano)</b>
CBE	120.000
Dow	160.000
Innova	250.000
<b>Total</b>	<b>530.000</b>

**Tabela 9 - Capacidade de Produção Nacional de Estireno**

Fonte: Adaptado de Anuário da Indústria Química Brasileira (ABIQUIM), 2005.

A formação da Braskem contribuiu para o aumento da competitividade da empresa, com o ganho de sinergias e escala. No entanto, isso provocou um preocupante desequilíbrio entre os portes das empresas e os grupos do setor, conforme evidencia a Tabela 9, com a Braskem concentrando 42% da produção total, contra 37% detidos pelos seis grupos nacionais (Unipar, Ipiranga, Suzano, Elekeiroz, Ultra e Unigel) e apenas 15% representados pelo conjunto das sete empresas estrangeiras (Dow, Rhodia, Rhodiaco, Solvay, Basell, Oxychem e Basf). A participação da Petrobras ficou reduzida a 6%, não se considerando as participações nas três centrais, em que figura como acionista minoritário fora do grupo de controle.

As Tabelas 10 e 11 a seguir demonstram a divisão das capacidades das empresas. Utilizou-se o critério de participação de controle de capital, ou seja, 100% da capacidade no caso de o grupo

deter o controle total e ou proporcional à participação no grupo de controle, nos demais casos (exceto Petrobras no caso da Rio Polímeros). Incluiu-se a capacidade dos investimentos em curso da Rio Polímeros e da Braskem.

2º GERAÇÃO	PLANTAS	CAPACIDADES (T)	VALOR (US\$/T)	TOTAL (US\$)
PP	2	250.000	800	400.000.000
PTA/PET	1	450.000	1.300	585.000.000
MVC/PVC	1	300.000	1.000	300.000.000
<b>Total</b>		<b>1.250.000</b>		<b>1.285.000.000</b>
1º GERAÇÃO	COEFICIENTES	QUANTIDADES (T)	VALOR (US\$/T)	TOTAL (US\$)
Eteno (gás)		359.500	1.000	359.500.000
PTA/PET	0,31	139.500		
PVC	0,52	156.000		
ESTIRENO	0,32	64.000		
P-Xileno		355.500	1.000	355.500.000
PTA/PET	0,79	355.500		
ESTIRENO		200.000	800	160.000.000
<b>Total</b>				<b>875.000.000</b>
<b>INVESTIMENTO TOTAL 1º E 2º GERAÇÃO ATE 2008</b>				<b>2.160.000.000</b>

**Tabela 10 - Investimentos Projetados (2013)**

Fonte: Petrobras (2008)

2º GERAÇÃO	PLANTAS	CAPACIDADES (T)	VALOR (US\$/T)	TOTAL (US\$)
PEBD	1	350.000	1.200	420.000.000
PEAD/PEBDL	3	500.000	800	1.200.000.000
PP	4	450.000	800	1.440.000.000
PTA/PET	2	450.000	1.300	1.170.000.000
CLORO-SODA	2	300.000	1.600	960.000.000
<b>TOTAL</b>		<b>5.150.000</b>		<b>5.190.000.000</b>
1º GERAÇÃO	COEFICIENTES	QUANTIDADES (T)	VALOR (US\$/T)	TOTAL (US\$)
Eteno (Nafta)	0,35	2.505.000	1.200	3.006.000.000
PTA/PET	0,31	279.000		
PVC	0,52	312.000		
POLIETILENOS	1,05	1.850.000		
ESTIRENO	0,32	64.000		
PROPENO	0,25	1.789.286		
AROMATICOS	0,20	1.431.429	800	1.145.142.857
OUTROS	0,20	1.431.429	300	429.428.571
ESTIRENO		200.000	800	160.000.000
<b>TOTAL</b>				<b>4.740.571.429</b>
<b>INVESTIMENTO TOTAL 1º E 2º GERAÇÃO ATE 2009-2013</b>				<b>9.930.571.429</b>
<b>INVESTIMENTO TOTAL 2004-2013</b>				<b>12.090.571.429</b>

**Tabela 11: Investimentos Projetados (2008)**

Fonte: BNDES Setorial, p. 101,2005.



A competitividade da indústria petroquímica, sobretudo das empresas de primeira geração, é fortemente dependente da disponibilidade de matérias-primas. É justamente nesse ponto que entra a relevância da Petrobras no setor, já que é a única fornecedora de matéria-prima nacional. Equacionar a questão da matéria-prima é fundamental para viabilizar as expansões de capacidade, fundamentais para a manutenção da competitividade da indústria e para atender ao crescimento da demanda interna, evitando uma ampliação do déficit da balança comercial.

A principal matéria-prima do setor petroquímico nacional atualmente é a nafta, cujo consumo das três centrais é hoje da ordem de 10 milhões t/ano, sendo cerca de 7 milhões t/ano fornecidas pela Petrobras e 3 milhões t/ano supridas por importações feitas diretamente pelas centrais, com um significativo gasto de divisas, da ordem de US\$ 600 milhões/ano. A Petrobras fornece ainda cerca de 400 mil t/ano de propeno, gerados nas refinarias, para a produção de polipropileno e óxido de propeno (PETROBRAS, 2006).

Observa-se, atualmente, um aumento do preço da nafta em consequência da escalada do preço do petróleo, que chegou ao patamar de US\$ 142 o barril neste ano de 2008. Mesmo com um crescimento da produção dos países da Opep (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), não houve ainda a queda no preço do petróleo. Ainda que haja um cenário de estabilidade no Oriente Médio, estimativas do mercado indicam que o novo piso do preço do petróleo ficará em torno de US\$180 a US\$ 200/barril, como se verifica na Tabela 12, a seguir:

<b>PREÇOS DE REFERÊNCIA</b>	<b>CABAZ/OPEP</b>	<b>RENT</b>	<b>W.T.I</b>
OUT/2007	52,80/63,83	57,86	60,12
NOV/2007	55,76/64,00	60,12	64,87
DEX/2007	56,28/60,27	69,34	67,00
JAN/2008	59,00/61,32	88,55	88,04
FEV/2008	67,00/69,39	90,34	90,03
MAR/2008	80,20/83,28	91,07	90,67

ABR/2008	85,90/86,75	93,22	92,99
MAI/2008	93,47/95,45	99,05	110,00
JUN/2008	99,40/100,36	110,12	129,45
JUL/2008	110,02/112,00	130,03	182,55
AGO/2008	127,59/128,09	145,02	190,00

**Tabela 12 - Estimativas para o preço do petróleo**

Fonte: Petrobrás (2008).

A valoração econômica para a tomada de decisão sobre projetos de investimento é afetada por incertezas técnicas, econômicas, e flexibilidades embutidas nos projetos. A incerteza econômica é exógena ao projeto afetando, por exemplo, a demanda, o preço do produto, os custos operacionais, a tributação, entre outros. A incerteza técnica é endógena ao projeto, relacionando-se a temas como tecnologia, capacidade de produção, desempenho, entre outros (MOTTA, 2006).

As flexibilidades embutidas nos projetos por sua vez, criam a faculdade gerencial sobre o empreendimento, permitindo escolhas como o momento adequado para a decisão sobre o investimento, a alternativa de produção, a expansão, a parada temporária, a mudança de escopo, o abandono, o (des)investimento. São escolhas disponíveis ao decisor na gerência de seus projetos e ativos reais, sendo por isso denominadas de opções reais (OR)(IBIDEM, p.18).

O termo opção real foi sugerido por Myers (1977) ao destacar que oportunidades de crescimento de uma empresa podiam ser vistas como opções dependentes de futuros investimentos discricionários da organização. A abordagem de valoração econômica que contempla esses aspectos é denominada de teoria das opções reais (TOR) e recentemente de análise de investimento sob incerteza (SCARTEZINI, 2006).

Assim, ainda de acordo Scartezini (2006), uma opção real é um direito, por isso uma opção e não uma obrigação, de realizar uma ação sobre um ativo real ou projeto, a um custo chamado preço de exercício, por um período de tempo pré-determinado, denominado de vida da opção. O preço de

exercício é o custo do investimento, pois ocorre na expectativa de uma recompensa futura, seja pela geração de lucro ou pela redução de uma perda corrente no fluxo de caixa.

A maioria das decisões de investimentos possui características em comum, mas que ocorrem em diferentes intensidades. Destacam-se: o fato do investimento ser totalmente ou parcialmente irreversível; a incerteza sobre o retorno do investimento e a flexibilidade de se adiar a decisão em troca de se obter mais informações.

A teoria ortodoxa de decisão de investimento através do Valor Presente Líquido (VPL), não contempla as implicações decorrentes da interação entre essas três características que afetam a decisão ótima do investidor. O VPL não captura as flexibilidades disponíveis ao tomador de decisão e, por isso, sistematicamente subestima o valor dos projetos (COPELAND e ANTIKAROV, 2001).

Fisher em 1907 foi um dos precursores dos métodos de avaliação econômica de investimento, suas técnicas baseiam-se no cálculo de fluxo de caixa descontado para um ambiente de certeza, ou seja, a taxa de desconto do fluxo de caixa representava apenas o valor do dinheiro no tempo. Foi somente nos anos 60 que os modelos foram adaptados para um ambiente de incerteza, a taxa de desconto foi feito um acréscimo chamado de “ajusto ao risco”. Entre 1964/65 surgiu o modelo chamado de “*Capital Asset Pricing Model*” (CAPM), através do qual foram introduzidos termos como risco diversificável e risco não diversificável (LOBO, 2007)

O grande avanço na avaliação de opções foi feito no início da década de 1970 por Fisher Black, Myron Scholes e Robert Merton, que com seu importante trabalho no sentido de avaliar as opções financeiras deram o início a uma centena de artigos teóricos e empíricos nessa área.

Em 2006, estudo de viabilidade para implantação de empreendimentos petroquímicos no Pólo Industrial de Manaus, a avaliação econômico-financeira pressupôs a construção de uma planta integrada para a produção de amônia e uréia. Essa avaliação sugeriu uma boa margem de segurança na viabilidade, 63,76%, em média, nos 3 cenários tributários trabalhados. Dada essa situação

relativamente favorável, a inserção do empreendimento no espaço competitivo da indústria brasileira de fertilizantes nitrogenados passa a ser crítica para a seqüência do projeto.

Como para análise econômico-financeira o interesse central do complexo de estirênicos é a comercialização dos produtos finais PS e EPS e por se tratar de um tipo de investimento difícil de se estimar, a análise desenvolvida foi bastante conservadora. A análise assumiu também que a produção ocorre através de um conjunto de plantas integradas (RIVAS *et al.*, 2006).

A análise de sensibilidade mostrou que há uma sensibilidade média razoável de 51,6 % (quando os três cenários tributários são considerados). Nesses cenários a pior situação ocorre quando se supões que toda a produção é direcionada para o Sudeste do Brasil, 29,3%, e a melhor quando é destinada integralmente para o exterior 74,7%, ficando a situação tributária relativa ao consumo integral no PIM numa faixa intermediária razoável de 51% (IBIDEM, pág 329-330).

Ainda de acordo com Riva *et al.* (2006), a pior situação relativa dos estirênicos em relação ao metanol e amônia/uréia deve ser encarada com bastante cautela. Isso se deve ao fato de que os pressupostos que calcaram a análise trazerem embutido muitas simplificações. A primeira delas é que foi desenvolvida uma análise para apenas uma planta quando na verdade é necessário um conjunto de plantas, o que é mais complexo.

## **CAPÍTULO 3 - MÉTODOS DE INVESTIMENTOS, OPÇÕES REAIS, SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO E PROCESSOS ESTOCÁSTICOS**

### **3.1 MÉTODOS DE SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE INVESTIMENTOS**

De acordo com Casaroto *et al.* (2000), os métodos quantitativos de análise de econômica tradicionais são aplicados com base em fluxos operacionais líquidos de caixa e seu dimensionamento é considerado como o aspecto mais importante da decisão. Os fluxos de caixa são representação dos investimentos e saídas de caixa e a demonstração das futuras entradas de caixa, receitas e possíveis saldos residuais dentro de um determinado período. A grande dificuldade, contudo, é de se conseguir mensurar com exatidão os valores a serem demonstrados nesse fluxo.

Dependem dessa exatidão os resultados a serem obtidos influenciando diretamente a tomada de decisão. Uma vez dimensionado o fluxo de caixa do projeto, podemos então, aplicar as ferramentas disponíveis para a análise do investimento. Entre os métodos clássicos para análise econômica destacam -se:

#### **3.1.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)**

A Taxa Mínima de Atratividade também chamada de Custo de Oportunidade ou Taxa de Desconto é aquela paga pelo mercado financeiro em investimentos correntes (poupança, fundos de investimento, etc). Esta taxa é utilizada para representar os fluxos de caixa em valores presentes.

#### **3.1.2 Valor Anual Uniforme (VAUE)**

Este método consiste em se encontrar uma série uniforme anual, equivalente ao fluxo de caixa dos investimentos à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), ou seja, acha-se a série uniforme

equivalente a todos os custos e receitas para cada investimento utilizando-se da TMA, o que obtiver o maior saldo será a melhor opção (CASAROTO *et al.*, 2000).

Casaroto *et al.* (2000), ainda descreve como TMA, como sendo a taxa de rentabilidade esperada das aplicações de pouco risco.

### 3.1.3 Valor Presente Líquido (VPL)

Semelhante ao VAUE, cuja diferença reside em que, em vez de distribuir o investimento inicial durante a vida, deve-se agora calcular o Valor Presente dos demais termos do fluxo de caixa para somá-los ao investimento inicial da alternativa. A TMA pode ser utilizada para descontar o fluxo, ou seja, para trazê-lo para o valor presente. A alternativa que apresentar o maior VPL será a melhor opção (Casaroto, 2000). O VPL é uma das ferramentas mais utilizadas para a análise de investimentos, não porque trabalha com o fluxo de caixa descontado e pela sua consistência matemática, mas também porque seu resultado é expresso em espécie, demonstrando o valor absoluto do investimento. Pode ser obtido por meio da seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

em que:

$R_j$  = valor atual das receitas;

$C_j$  = valor atual dos custos;

$i$  = taxa de juros;

$j$  = período em que as receitas ou os custos ocorrem

$n$  = número de períodos ou duração do projeto.

Para Gitman (1987, p. 302), o VPL é uma “técnica de orçamento sofisticada, e o seu valor é determinado pela subtração do valor inicial de um projeto, do valor presente dos fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo do capital da empresa”. Por sua vez, Yeo e Qiu (2002), definem VPL como sendo a diferença entre o valor presente da estimativa líquida das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa. As definições sobre o VPL são essenciais para que se possa compreender e tirar conclusões de acordo com as normas estabelecidas pelo método.

Mondher (2002), enfatiza que a literatura padrão nas técnicas de orçamento de capital usa o VPL como critério de referência para decisões do investimento. A análise é baseada principalmente na utilização do custo de capital, que consiste em descontar os fluxos de caixa futuros, sendo, portanto, aceito o projeto cujo valor de VPL for positivo, caso contrário será rejeitado. Cohen, Gompers e Vuolteenaho (2002), explicam que empresas normalmente consideram os novos projetos com VPL zero ou positivos; já os projetos com VPL negativos não são de seu interesse.

Lapponi (2000), revela que o VPL também é uma técnica adotada como parâmetro para analisar a sensibilidade de projetos, possibilitando sua aceitação ou rejeição. Para a efetivação da análise do VPL, é necessária a aplicação de matemática financeira. A análise consiste em trazer para o momento presente o fluxo de caixa dos “n” períodos de um projeto, a uma taxa de juros conhecida e descontar o valor do investimento inicial. O resultado do cálculo é o VPL, que pode apresentar um valor positivo ou negativo.

Considerando que o método do VPL requer conhecimento prévio de alguns requisitos, tais como matemática, finanças e lógica, esse conhecimento é possível a partir da qualificação dos profissionais que atuam na área não somente em termos conceituais ou teóricos, mas também na aplicabilidade do método. Nas palavras de Finnerty (1999), a viabilidade econômica de um projeto

é encontrada quando o VPL dos fluxos de caixa esperados é superior ao valor presente dos custos do investimento.

Harvey (1986), informa que em 1907 Irving Fischer propôs um consumo baseado na teoria da taxa de juros, a qual refletiria o equilíbrio entre a renda de hoje e a renda marginal do período seguinte. Diante disso Grant (2003), informa que Fischer conseguiu estabelecer uma ligação fundamental entre o valor presente líquido de uma companhia e o movimento de desconto do fluxo de caixa esperado. Essa característica foi tão marcante que muitos estudos foram desenvolvidos a partir dessa teoria.

Nesse sentido, Brennan e Schwartz (2001), explicam que o padrão da técnica do VPL permanece inalterado desde o surgimento do modelo desenvolvido por Fischer, com adaptações de Dean, Bierman e Smidt. Shrieves e Wachowicz Jr (2000), esclarecem que, conceitualmente, a forma de aplicação mais tradicional do fluxo de caixa descontado age como um VPL, embora, dependendo da situação, se utilize uma variedade de técnicas de fluxo de caixa descontado, como: o VPL para avaliação de projetos, fluxos de caixa livre para avaliação de empresas e modelos de desconto de dividendos para avaliação de capital próprio. Inclusive, James e Koller (2000), utilizaram o fluxo de caixa descontado para a avaliação de mercados emergentes, associando probabilidades de ocorrência em alguns cenários, a fim de determinarem os riscos dos negócios.

#### **3.1.4 Taxa interna de retorno (TIR)**

Para calcular a Taxa Interna de Retorno, deve-se zerar o Valor Presente Líquido dos fluxos de caixa. Os investimentos que apresentarem uma TIR maior que a TMA passam a se apresentar como rentáveis. Pode ser obtida com a seguinte fórmula:



$$\text{TIR} = \frac{\text{FC0}}{(1 + \text{TIR})^0} + \frac{\text{FC1}}{(1 + \text{TIR})^1} + \frac{\text{FC2}}{(1 + \text{TIR})^2} + \frac{\text{FC3}}{(1 + \text{TIR})^3} + \dots + \frac{\text{FCn}}{(1 + \text{TIR})^n}$$

Onde FC = Fluxo de caixa esperado (positivo ou negativo)

As principais críticas aos métodos tradicionais é que eles não consideram:

- não quantificam os benefícios intangíveis;
- não incorporam sensivelmente risco ao modelo.

Além dessas formas de análise econômica, existem outras que podem ser utilizadas no processo de avaliação dos investimentos :

### 3.1.5 Pay-back

Nos estudos de Schniederjans *et al.* (2003), o *pay-back* é o período de recuperação de um investimento e consiste na determinação do prazo em que o montante do gasto do capital investido será recuperado por meio de fluxos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxos positivos) (SCHAICOSKI *et al.*, 2002).

Existem varias formas de pay-back. Existe o *pay-back original*, que não considera o “valor do dinheiro no tempo”, onde o prazo de recuperação é encontrado somando-se os valores dos fluxos de caixas negativos com os valores de fluxo de caixa positivo.

### 3.1.6 Return On Investment (ROI)

Para Schaicoski *apud* Casaroto (2002), o Retorno sobre o Investimento é uma ferramenta de administração que sistematicamente mede o desempenho passado e decisões de investimento do futuro, em outras palavras, mede os resultados históricos e antecipados. A definição do ROI

depende da base de investimentos utilizada. Se o patrimônio líquido for usado como base do denominador, a definição é “return on equity” (ROE), se os ativos forem usados como base, a definição é “return on assets” (ROA), sendo o numerador o lucro esperado do investimento. A Figura 3 fornece as possíveis variáveis de cálculo do ROI. O ROI é uma medida que quantifica o retorno produzido pelas decisões de investimento e avalia a atratividade econômica do investimento. Servirá de parâmetro para avaliação de desempenho da empresa ou de um determinado projeto em um período de tempo pré-estabelecido.

Shcaicoski (2002), aponta cinco razões chave do porque se deve usar o ROI:

1. Força o planejamento;
2. Provê de uma base para tomada de decisão;
3. Avalia oportunidades de desenvolvimento;
4. Ajuda na avaliação do desempenho da administração;
5. Mede as respostas do mercado.

Ele ainda identifica uma série de usos e aplicações para o uso desta ferramenta, destacando:

- Melhora na utilização dos recursos;
- Avaliação dos gastos de capital;
- Análise da linha de produção;
- Avaliação dos recursos humanos, etc.

NUMERADOR	DENOMINADOR	DEFINIÇÃO DO ROI
Rendimento Líquido	Total de ativos	Retorno sobre o total de ativos
Rendimento Líquido	Patrimônio líquido dos acionistas	Retorno sobre o capital empregado
Rendimento Líquido	Capital empregado	Retorno sobre o capital empregado
Lucro operacional	Total de ativos	Retorno sobre o total de ativos
Lucro operacional	Capital empregado	Retorno sobre o capital empregado

**Quadro 1 - Variáveis de cálculo do ROI**

Fonte: Schcaicoski (2002)

### 3.1.7 Taxa Interna de Retorno Modificada (TIRM)

Segundo Brigham & Houston (1999), a TIRM é a taxa de desconto à qual o valor presente do custo de um projeto é igual ao valor presente de seu valor final, onde o valor final é encontrado como a soma dos valores futuros das receitas, capitalizados ao custo de capital da empresa. É assim definida:

$$VP \text{ custos} = VP \text{ valor final}$$

$$\sum_{i=0}^n \frac{SC_i}{(1+j)^i} = \frac{\sum_{i=0}^n EC_i (1+j)^{n-i}}{(1+TIRM)^n}$$

$$VP \text{ custos} = \frac{VF}{(1+TIRM)^n}$$

onde, SC se refere às saídas de caixa (desembolso do investimento), ou custos de implantação do projeto, e EC se refere às entradas de caixa (receitas). Assim o VP dos desembolsos do investimento, quando descontados ao custo do capital, e o numerador à direita da equação é o valor futuro das entradas de caixa, supondo que as entradas de caixa são reinvestidas ao custo do capital. O valor futuro das entradas de caixa também é chamado de valor final. A taxa de desconto que torna o VP do VF igual ao VP dos custos é definida como TIRM.

Diversos autores utilizam diferentes conceitos para a TIRM: essas diferenças estão relacionadas, principalmente, à questão da ocorrência dos fluxos de caixa negativos após o início dos fluxos de caixa positivos, implicando se estes devem ser capitalizados e tratados como parte do VF ou descontados e tratados como custos. Segundo Souza (1998), a melhor maneira de utilização do conceito da TIRM, na forma que é exposta anteriormente, deve considerar o desconto desses fluxos negativos, pois, são realmente custos de investimento do projeto.

A TIRM supõe que o fluxo de caixa do projeto é reinvestido ao custo do capital, enquanto que a TIR supõem que o fluxo de caixa do projeto é reinvestido à própria TIR do projeto. Geralmente é mais correto o reinvestimento ao custo do capital, implicando que a TIRM é um método mais adequado para verificar a verdadeira rentabilidade de um projeto.

### 3.1.8 O custo de capital médio ponderado (CmePC)

Um critério importante de custo de capital e que pode ser utilizado como TMA, é o custo médio ponderado de capital (CmePC), que reflete a política global de utilização de diferentes capitais no financiamento da firma. O CmePC, pode ser obtido pela ponderação do custo de cada fonte de financiamento (K), pela sua sua proporção na participação no capital global da empresa (W), refletindo a política da estrutura de capital da firma.

$$\text{CmePC} = (W_d \times K_d) + (W_p \times K_p) + (W_o \times K_o) + (W_{lr} \times K_{lr})$$

Onde:

$W_d$  = proporção da dívida

$W_p$  = proporção das ações preferenciais

$W_o$  = proporção das ações ordinárias

$W_{lr}$  = proporção dos lucros retidos

Como salientado anteriormente, cada fonte de financiamento da firma (capital de terceiros – dívida; capital próprio - emissão de ações, e reinvestimento - lucros retidos) requer uma taxa de retorno mínima, implicando um custo específico para a firma. O custo do capital de terceiros é representado pelos juros exigidos; o custo do capital próprio é o valor referente ao pagamento dos dividendos esperados/exigidos pelos acionistas; e o custo do reinvestimento é igual ao custo do

capital próprio. Esta igualdade se explica pelo princípio do custo de oportunidade, uma vez que a retenção do lucro significa um não recebimento de dividendos por parte dos acionistas, que poderiam destinar estes dividendos recebidos para outros investimentos (Weston & Brigham, 2000).

À medida que a firma necessite investir e aumentar o volume de financiamento, os custos de suas fontes de financiamento tenderão a se elevar, afetando o CmePC e, conseqüentemente refletindo na tomada de decisão da análise de projetos de investimento. Gitman (2001, p. 355) argumenta que “aumentos nos custos dos componentes de financiamento ocorrem porque quanto maior o montante de novo financiamento, tanto maior o risco para o fornecedor de fundos. [...] fornecedores de fundos exigem maiores retornos [...]”.

Assim, torna-se importante calcular e analisar o custo marginal ponderado de capital (CmaPC) e identificar os pontos de ruptura no CmePC. Segundo Weston & Brigham (2000), o CmaPC é a variação no CmePC para cada \$1 de capital novo obtido pela firma. Já o ponto de ruptura é identificado pelo valor do capital novo que pode ser obtido antes que ocorra o aumento no CmePC da firma. Desta forma, o ponto de ruptura marca um limite para a decisão de tomada de novos investimentos e financiamentos.

Porém, a utilização do custo de capital e, especialmente do CmePC, como TMA na avaliação de projetos de investimento, suscita limitações importantes ou no mínimo, remete a reflexão de algumas questões específicas. Discutir e analisar as limitações da utilização de uma determinada TMA na análise de projetos de investimento pode evitar falácias que podem gerar, ao longo do tempo, a perda de valor econômico para os acionistas.

### **3.1.9 Métodos de Análise de Risco**

De acordo com Neves e Neves (2002), “...há uma forte inter-relação entre as variáveis financeiras, sendo estas não simples de serem seguidas e avaliadas objetivamente. Quanto a questão de gestão de riscos, um bom plano financeiro avalia risco e estabelece metodologias para gerenciá-lo, como forma de não expor a empresa a perdas inesperadas. A gestão de risco pode levar a uma mudança da estrutura jurídica da empresa (por exemplo, criando-se uma nova empresa ao invés de internalizar a decisão de investimento), a acordos (contratos de compra e venda, contratos de fornecimento, etc.)”

Segundo Hicks (1996), quanto maior o prazo de retorno, maior o risco assumido pelo investidor. Sendo assim, é de vital importância que o administrador ao analisar uma ou mais alternativas de investimento, leve em consideração técnicas que os mensurem.

Os métodos **PBS - Período de Payback Simples** em sua forma mais estruturada, e o **PPD - Período de Payback Descontado** são algumas destas técnicas utilizadas na mensuração do risco.

Proposto originalmente por Longmore (1989), o **PBD** considera o “valor do dinheiro no tempo”, e se utiliza da TMA como taxa de desconto para a determinação do prazo de recuperação do capital investido. E há ainda o **pay-back total**, que consiste na utilização do fluxo descontado a TMA e os fluxos existentes após o período de recuperação. Ele difere do modelo original, representando um período de equilíbrio ao longo de todo o período do projeto (Schniederjans *et al.*, 2003).

Outras técnicas também utilizadas na análise de risco são a **Análise de Sensibilidade** e a **Análise de Probabilidade**.

De acordo com Clarke, (2001), a análise de sensibilidade é utilizada para determinar a sensibilidade dos resultados de um estudo ou de uma revisão sistemática quando suas premissas são alteradas, conforme citado por Castro (2001).

Segundo Ramos (2004), um método útil que fornece informações sobre o comportamento de parâmetros individuais do cálculo da rentabilidade do investimento é a análise de sensibilidade que é uma abordagem comportamental que utiliza inúmeros valores possíveis para uma dada variável, tal como entrada de caixa, para avaliar o seu impacto no retorno da empresa. Esse tipo de análise auxilia nas decisões de investimento, pois possibilita uma noção de variabilidade do retorno em resposta a mudanças na variável principal.

Com a análise de sensibilidade é possível avaliar o nível de confiança dos resultados em situações de decisões incertas ou suposições sobre os dados e resultados usados.

Em outras palavras, a análise de sensibilidade é fundamental para investigar a heterogeneidade. Normalmente as técnicas de avaliação de projetos apresentadas são determinísticas, isto é, espera-se que os valores projetados realmente ocorram.

Ela surge como técnica usual porque, de acordo com Zhi (1993) citado por Balarine (2004), na análise tradicional de projetos de investimentos as variáveis de entradas a serem submetidas aos critérios do cálculo são representadas por valores fixos, excluindo as incertezas futuras. A fim de verificar a sensibilidade do projeto a flutuações nessas variáveis, toma-se um critério de análise tradicional (como por exemplo o VPL) , verificam-se as variáveis chave que influenciam de forma mais intensa os resultados do projeto (como por exemplo a Taxa de Desconto) e observa-se o efeito que alterações nos valores destas variáveis produzem no resultado do projeto.

Uma variação da Análise de Sensibilidade é indicada por Mohamed & McCowan (2001), citados por Balarine (2004). Trata-se da **Análise de Probabilidade** que, segundo aqueles autores, é uma técnica mais elaborada, a qual adota a simulação de Monte Carlo para modelar os efeitos combinados dos diversos fatores de risco, conforme suas frequências relativas.

Conforme afirma Ramos (2004), para avaliação do risco de um projeto, é necessário analisar a distribuição de probabilidade dos resultados possíveis do investimento. Para este fim serão utilizados dois métodos de estimativa de probabilidade, um analítico e outro empírico.

**O Método Analítico: O método de Hillier**

Para Anton (2000), o método de Hillier parte da premissa de que é possível, a partir de determinadas hipóteses sobre a natureza dos fluxos de caixa relacionadas a um projeto de investimento e sobre a forma de suas inter-relações, calcular as características da distribuição dos resultados possíveis desse projeto.

Ainda segundo Anton, Hillier aponta três casos típicos de correlação entre os fluxos de caixa de um projeto:

- Fluxos de caixas mutuamente independentes;
- Fluxos de caixas perfeitamente correlacionados entre si;
- Fluxos de caixa de natureza intermediária, nem perfeitamente independentes e nem perfeitamente correlacionados.

As críticas em relação a este método são a dificuldade em obter as informações necessárias a sua utilização e as hipóteses são muito restritivas para representar os problemas reais.

Anton cita ainda o método empírico: O método de Hertz. Segundo este autor, o nível de rentabilidade de um projeto deve ser avaliado levando-se em consideração as seguintes variáveis:

- O atual tamanho do mercado de produtos alimentícios,  $M_0$ ;
- A taxa anual de crescimento desse mercado,  $g$ ;
- A participação da firma nesse mercado,  $MS$ ;
- O preço do produto,  $P$ ;
- O investimento inicial do projeto,  $I_0$ ;



- Os custos operacionais variáveis.  $V$ ;
- As despesas com publicidade e promoção de vendas associadas ao lançamento do produto,  $F$ ;
- A vida econômica do investimento realizado,  $T$ ;
- O valor residual do investimento realizado ao final de sua vida econômica,  $S_T$ .

No caso dos projetos serem avaliados pelo Valor Presente Líquido, é possível formular o problema da seguinte forma:

$T$

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - D_t}{(1 + K)^t} + \frac{S_T - I_0}{(1 + K)^T}$$

onde:  $R_t - D_t = [P_t - V_t] [M_0 (1 + g)^t \times MS_t] - F_t$

A avaliação de tal projeto pressupõe a estimativa de cada uma das variáveis que tem impacto na realidade potencial.

A principal contribuição desse método é que ele possibilita considerar tantas combinações de variáveis quantas necessárias para termos uma avaliação precisa da distribuição de um projeto de investimento e sua importância relativa.

### 3.2 OPÇÕES: OPÇÃO AMERICANA VERSUS OPÇÃO EUROPÉIA

Existem dois tipos de opções: a americana e a européia. A opção americana permite ao proprietário exercer a opção em qualquer data antes da expiração ou na própria expiração, já na opção européia o proprietário só pode exercer a opção na data de expiração. Ou seja, a opção

americana é mais valiosa do que a européia porque pode fazer tudo que esta pode e mais alguma coisa. Somente na data de expiração a opção americana tem o mesmo valor que a opção européia.

O fato de que em uma opção européia o detentor da mesma só pode exercê-la em uma data específica e na opção americana ele pode vir a exercê-la em qualquer data antes da expiração, faz com que o detentor da opção americana possua um problema adicional: decidir qual é a data ótima de exercício da opção.

No caso de uma opção européia, que só pode ser exercida na data de expiração, o problema é mais fácil de ser solucionado uma vez que só precisamos saber o valor do ativo base na data de expiração. Uma solução para a precificação desse tipo de opção foi dada pela equação de Black & Scholes & Merton (B&S&M), que fornece o valor de uma opção de compra antes do vencimento.

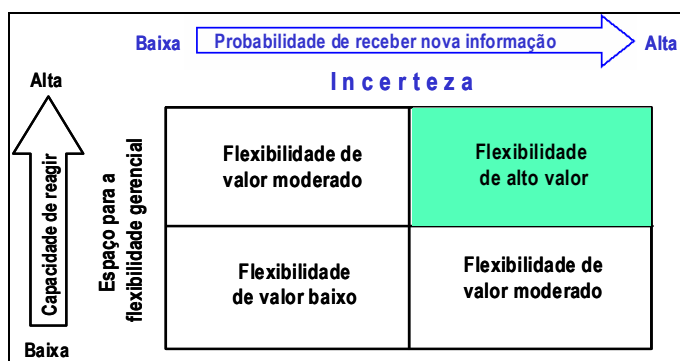
No caso de opções americanas, que podem ser exercidas em qualquer momento antes da expiração, o problema é bem mais complexo. A metodologia empregada é a Simulação de Monte Carlo. Para usar este método precisamos saber previamente as distribuições de entradas (*inputs*), sendo assim é necessário saber qual o melhor **processo estocástico** que representa seu comportamento. Também há que se saber a relação entre as variáveis de entrada e as de saída.

Na prática de investimentos, uma das diferenças importantes de OR e o método tradicional do VPL clássico, é que OR incentiva a realização de investimentos por fases, pois valoriza a aprendizagem entre elas. A informação obtida numa fase serve para decidir otimamente sobre o projeto da fase subsequente. O VPL clássico não valoriza esse efeito, enquanto que OR o faz. Além disso, o investimento em fases é visto nas empresas como mais prudente do que uma aposta alta num projeto ignorando a incerteza e o valor do aprendizado (DIAS, 2005).

Ainda, de acordo com Dias (2005), esta flexibilidade nas decisões gerenciais tem sempre um valor positivo e é importante saber valorá-la. Um bom exemplo é o do veículo que pode usar dois combustíveis: um veículo que é capaz de utilizar dois combustíveis (álcool ou gasolina) é mais

flexível e, portanto, de valor mais alto que um veículo que só pode usar um combustível. Porém o custo adicional (acrescentado no preço do veículo) da possibilidade de alternar os combustíveis poderia ser maior que o valor da capacidade de alternância que o cliente usufruiria na prática, sendo que nesse caso seria preferível ficar com o veículo com motor mais simples, mais barato, que utiliza só gasolina. Assim sendo, só o fato de possuir flexibilidade não necessariamente acrescenta valor ao projeto, o importante é saber quantificá-la e comparar o custo desta flexibilidade com os retornos adicionais que gerará.

No caso em questão será feito uma análise similar. Uma planta capaz de utilizar dois *inputs* (Gás Natural ou Nafta) e que tenha mais de uma combinação possível de produção (flexibilidade de *output*) é mais flexível. Portanto, possui um valor agregado maior. Porém precisa-se verificar se o custo adicional é maior ou menor do que o valor da capacidade de alternância que os investidores usufruíam na prática. Caso o custo adicional seja maior do que o valor da flexibilidade, o melhor é ficar com uma planta que utilize só um insumo e possua só uma combinação possível de produção. De acordo com Mulherin (2004), as opções reais terão um maior valor quando se combinam três fatores: a incerteza (que podem ser de mercado, técnica ou em relação aos outros *players*); a flexibilidade (para reagir à incerteza), e, um VPL sem flexibilidade próximo de zero. A Figura 13 a seguir apresenta como estes três fatores interagem no valor de um projeto.



**Figura 3 - Quando a flexibilidade gerencial é valiosa**

Fonte: Copeland e Antikarov (2001)

Com um VPL alto a maioria das opções que oferecem flexibilidade terão pouca probabilidade de serem exercidas e, portanto, terão baixo valor relativo. Por outro lado, se o VPL for muito negativo, nenhuma flexibilidade será capaz de salvar o projeto. Só quando o VPL se encontra próximo de zero, não sendo óbvio se o projeto é bom ou ruim (quadro sombreado da figura 13).

### **3.3 AS OPÇÕES REAIS E O VALOR DA FLEXIBILIDADE GERENCIAL**

Para Cardoso (2000), uma opção é um derivativo (aquele cujo fluxo de caixa depende funcionalmente de um outro ativo, chamado de ativo base) escrito sobre um ativo base. Quando se compra uma opção adquire-se um direito (de comprar ou vender um ativo  $V$ , por um determinado valor  $K$ , até certa data  $T$ ), mas não uma obrigação de se executar uma ação no futuro. As opções são avaliadas quando existem incertezas em relação ao preço do ativo base e em relação ao período que pode ser exercida (no caso de uma opção americana) (LOBO, 2007).

O comportamento das opções reais é visto como uma extensão da teoria das opções financeiras. As opções financeiras são detalhadas no contrato, enquanto que as opções reais são vistas em estratégias de investimento. As principais diferenças entre as opções reais e as financeiras são as seguintes: em opções financeiras o tempo de expiração é geralmente de curto prazo (menor do que 1 ano) e as opções reais podem ser até perpétuas; outra diferença é tempo de construção do bem real (que não existe em opções financeiras, e existe em opções reais); a regra de decisão (se exerce ou não a opção) é muito mais importante em opções reais do que em opções financeiras. Ativos financeiros, tais como as ações, não podem ter valores negativos, já um projeto pode ter valor negativo, por último; as opções reais são mais complexas que as financeiras: preço de exercício

pode ser incerto, é comum haver opções reais compostas, presença de incertezas técnicas além da incerteza de mercado, e interações estratégicas com outras firmas.

Opção Financeira	Opção Real
Preço da Ação	Valor do Projeto (V)
Preço de Exercício da Opção	Custo de Investimento do Projeto (I)
Stock Dividend Yield	Fluxo de Caixa gerados pelo Projeto (V)
Taxa livre de Risco	Taxa livre de Risco (r)
Volatilidade da Ação	Volatilidade do Valor do Projeto ( $\sigma$ )
Tempo de Expiração da Opção	Tempo de expiração da Oportnidade de Investimento (T)

**Tabela 13 -Opção Financeira × Opção Real**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)

A Tabela 13 acima faz uma comparação entre opções financeiras de compra de ações e opções reais, para projetos de investimento.

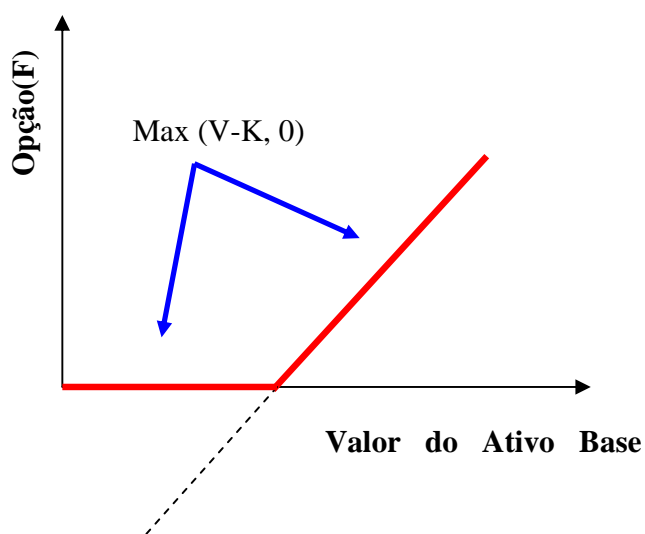
Toda negociação feita com opções é uma *call option* ou uma *put option*. O proprietário de uma *call option* tem o direito de comprar um determinado ativo a um preço específico (chamado de preço de exercício), dependendo de quando o proprietário pode exercer esse direito, essa opção de compra será americana ou européia.

Onde:

V: Valor do Ativo Base;

F: Valor da Opção e

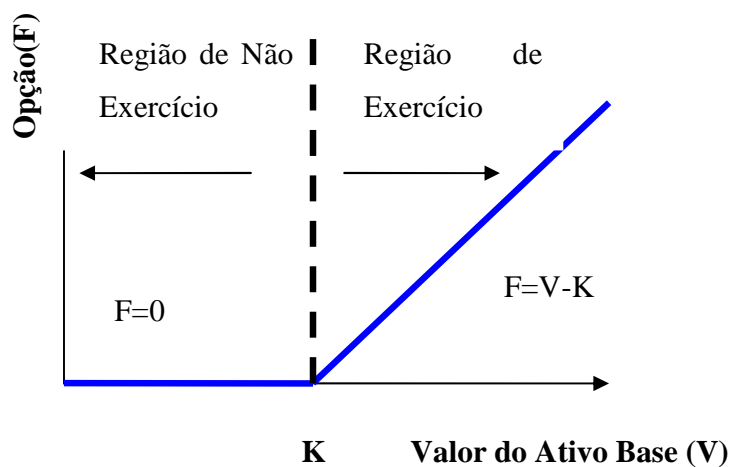
K: Preço de exercício.



**Gráfico 8 - Uma opção de compra**

Fonte: Adaptado de CARDOSO (2005)

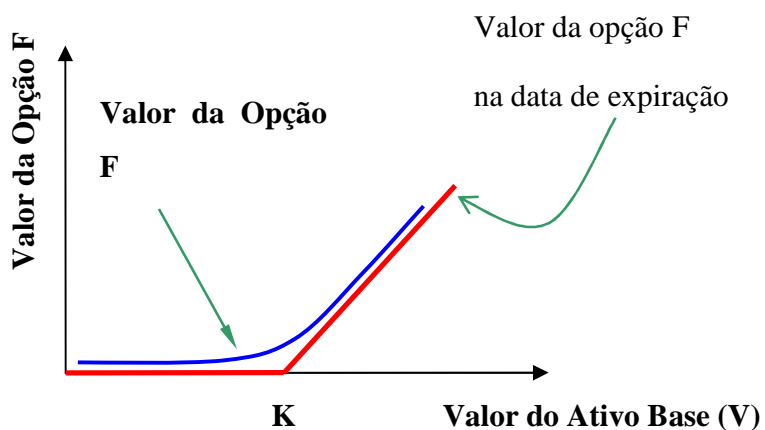
Pela Figura 7 vemos que o valor de uma opção de compra é:  $\text{Max}(V-K, 0)$ . Seu valor nunca será negativo, pois uma opção representa um direito e o máximo que pode ocorrer é o detentor desta decidir, caso não seja vantajoso, não exercê-la. Como uma opção representa um direito, o proprietário desta só irá exercê-la caso seja vantajoso. Ou seja, no caso de uma opção de compra, só irá exercê-la caso o valor do ativo base na data de expiração seja maior do que o preço de exercício da opção ( $V > K$ ), caso contrário a opção não será exercida. A próxima figura ilustra esse conceito.



### Gráfico 9 - Região de exercício de uma opção de compra

Fonte: Adaptado de PAMPLONA (2003)

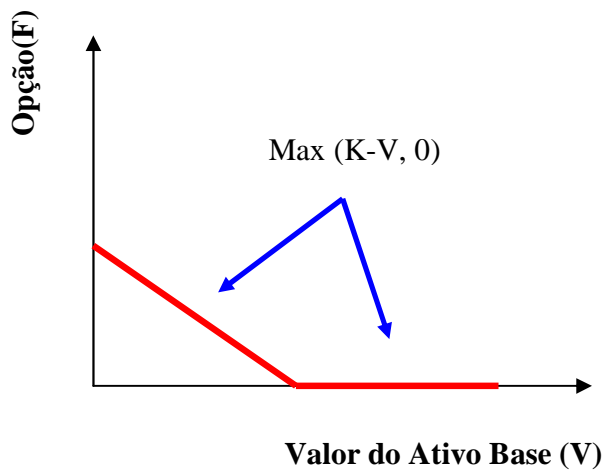
Um ponto importante a ser ressaltado é o de que antes da expiração a opção tem valor positivo ( $> 0$ , esse valor positivo reflete a chance de essa opção se tornar valiosa), mesmo que o preço do ativo base seja menor que o preço de exercício da opção  $K$ , isso ocorre devido à incerteza do valor  $V$  na data de vencimento. A figura abaixo representa o **valor da opção de compra** antes do vencimento.



### Gráfico 10 - Opção de compra antes de expiração

Fonte: Adaptado de PAMPLONA (2003)

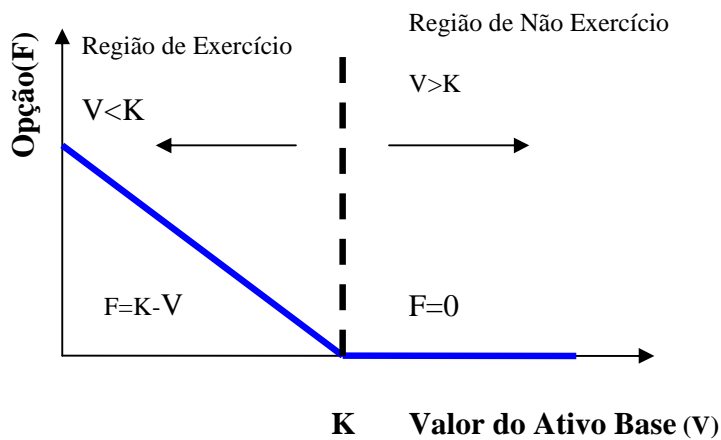
O proprietário de uma *put option* tem o direito de vender um determinado ativo a um preço específico, mais uma vez dependendo de quando o proprietário pode exercer esse direito, essa opção de venda será americana ou européia.



**Gráfico 11 - Uma opção de venda**

Fonte: Adaptado de PAMPLONA (2003)

No caso de uma *put* o detentor da opção só irá exercê-la caso o valor do ativo base seja menor do que o preço de exercício. O gráfico abaixo representa a região de exercício de uma *put*, ou seja, para valores de  $K$  superiores a valores de  $V$  o proprietário de opção irá exercê-la, caso contrário a opção morrerá (não será exercida).

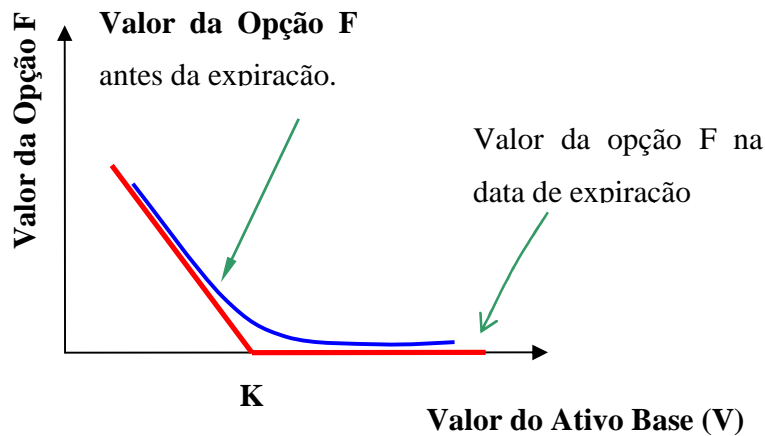


**Gráfico 12 - Região de exercício de uma Opção de Venda**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)



Analogamente o valor da opção de venda antes da expiração vale mais do que na expiração, o que pode ser visto No Gráfico 13 a seguir.



**Gráfico 13 - Opção de Venda antes da expiração**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)

### 3.4 PRINCIPAIS TIPOS DE OPÇÕES REAIS

Existem diversos tipos de opções reais operacionais. Trigeorgis (1996) lista alguns que ocorrem naturalmente nos investimentos (opções de adiar, contrair, fechar e abandonar o investimento) e outros que podem ser planejados e empreendidos a um custo adicional (opções de expandir e **trocar de uso**, por exemplo). Os principais tipos são vistos a seguir.

#### 3.4.1 Opção de Adiar um investimento (opção de espera)

Suponhamos que a Petrobras tenha direitos exclusivos sobre o projeto GN durante os próximos N anos, e que o valor presente dos fluxos de caixa pode variar ao longo do tempo. Se o investimento para o projeto GN tiver um VPL negativo ou positivo mas não o suficiente para ser

ótimo o exercício imediato, existe a possibilidade de esperar até  $N$  anos para executá-lo caso ele se torne suficientemente atrativo.

Devido à incerteza em relação aos fluxos de caixa futuros (decorrente das incertezas em relação aos preços futuros dos *inputs* e *outputs*), este investimento pode tornar-se um projeto economicamente viável (ou de maior valor) se a firma esperar para realizar o projeto, quando os cenários do mercado sejam mais favoráveis. Nesta dissertação não será considerada a opção de espera no projeto GN.

### **3.4.2 Opção de Expansão**

Como exemplo assume-se que o valor presente do projeto GN seja  $V$ , e que existe no futuro a possibilidade de seu valor ser aumentado em um fator “ $z$ ” ( $z > 1$ ) (atendendo possivelmente a uma maior demanda), mas é necessário um investimento  $K$  para poder fazer essa ampliação. Assim, na data futura quando se decida ampliar ou não, a empresa aproveitará a oportunidade de investir só se o valor presente dos fluxos de caixa esperados excede o custo de investimento.

### **3.4.3 Opção de Redução**

Caso as condições de mercado se tornem desfavoráveis, o gerente do projeto pode optar por reduzir a escala das operações, diminuindo assim os custos necessários para operar o projeto. O projeto GN para a região do PIM é inovador no Brasil, e conseqüentemente deverá ser adaptado para possuir uma grande flexibilidade tanto de redução como de expansão de escala. Por exemplo, poderia ser preferível construir uma planta com custos mais baixos de construção e custos maiores de manutenção, com o objetivo de adquirir a flexibilidade de reduzir as operações (e a subsequente redução nos custos de manutenção) no caso de cenários desfavoráveis de mercado.

#### **3.4.4. Opção de Paralisação Temporária das Operações**

Em determinadas circunstâncias, pode ser apropriado suspender temporariamente as operações, principalmente se os custos de troca entre os modos de operação e de suspensão das operações são pequenos. Se os preços dos produtos finais aumentarem o suficiente (ou das matérias primas baixarem), as operações podem ser retomadas.

#### **3.4.5. Opção de Abandono**

Outra opção real existente em alguns projetos é a opção de abandono, que é exercida quando os fluxos de caixa gerados pelo projeto não atendem às expectativas iniciais. Nesse caso, ao abandonar o projeto, a empresa recupera parte do investimento inicial realizado. Digamos que em algum cenário o projeto GN se torne antieconômico, então seria interessante avaliar a alternativa de vender os ativos. Talvez aquela venda seja mais rentável do que manter o projeto vivo.

#### **3.4.6. Opção de Troca de Uso**

Uma planta pode vir a ser projetada para operar usando diferentes *inputs*. No caso do projeto GN pode trabalhar com diferentes matérias primas tais como:

- Gás natural,
- Óleo-pesado;
- Glicerina;
- Resíduo de vácuo; e
- Nafta.

O fato de a planta ter flexibilidade na utilização dos diferentes *inputs* agregara valor ao projeto, uma vez que vai permitir escolher, nos diferentes períodos, aquele que esteja mais barato. De fato, a empresa deve estar disposta a pagar um determinado prêmio positivo para ter direito a esta flexibilidade, que pode representar uma vantagem competitiva significativa.

Existe flexibilidade quanto à produção dos produtos finais, que permite à empresa escolher entre as diferentes combinações de produção aquela que é a mais lucrativa em um determinado período, seja porque seu preço no mercado aumentou ou porque houve um incremento na demanda (LOBO,2007).

Esta opção é mais valiosa em setores industriais onde o preço das matérias primas possui grande volatilidade ou em casos aonde exista o risco de uma determinada matéria prima faltar no mercado, que é o caso o Gás Natural. Nesses casos, pode ser mais rentável instalar uma fábrica com maior investimento inicial, mas que tenha uma flexibilidade na entrada que permita alterar entre diferentes *inputs*.

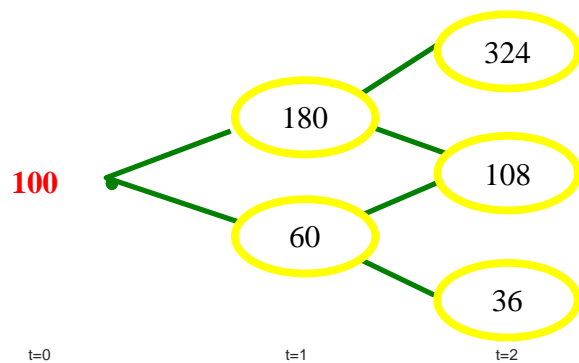
O exemplo de Dias (2005), a seguir ilustra o caso de uma planta com a possibilidade de alternar seu modo de operação (ou usa a tecnologia A ou a tecnologia B) em determinados pontos de decisão ( $t=0, 1,2$ ).

Dados:

- Taxa livre de risco: 8% a.a,
- Probabilidade artificial neutra ao risco dos preços subirem: 40% a.a e
- Probabilidade artificial neutra ao risco dos preços caírem: 60% a.a.
- Não existe custo ao se trocar de insumo.

Considera-se primeiro o caso em que os projetos são rígidos, ou seja, ou usa-se a tecnologia **A** ou a **B**.

Suponha que a tecnologia **A** gere os seguintes fluxos de caixa em cada ano:



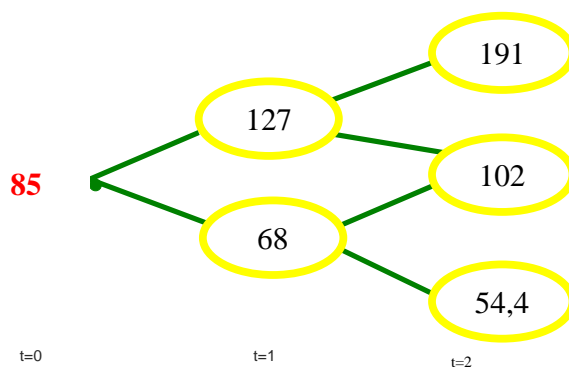
**Figura 4 -Fluxo de caixa gerado pela tecnologia A**

Fonte: Adaptado de DIAS (2005)

$$NPV (A) = 100 + E [t1] * (1,08)^{-1} + E [t2] * (1,08)^{-2}$$

$$NPV (A) = 100 + 100 + 100 = 300$$

Suponha que a tecnologia **B** gere os seguintes fluxos de caixa em cada ano:



**Figura 5 -Fluxo de caixa gerado pela tecnologia B**

Fonte: Adaptado de DIAS (2005)

$$\text{NPV (B)} = 85 + E[t_1] \cdot (1,08)^{-1} + E[t_2] \cdot (1,08)^{-2}$$

$$\text{NPV (B)} = 85 + 85 + 85 = 255$$

Considere agora a flexibilidade de operação, na qual se pode trocar tecnologia A pela B e vice versa, qual será o valor da nova planta?

O valor da nova planta (com flexibilidade,  $\text{NPV}_{\text{expandido}}$ ) será maior do que o maior valor das plantas sem flexibilidade:

$$\text{NPV}_{\text{expandido}} \geq \text{Max} [\text{NPV (A)}, \text{NPV (B)}]$$

Onde:

$$\text{NPV}_{\text{expandido}} = \text{NPV (A)} + \underbrace{F(A \rightarrow B)}$$

*Valor da flexibilidade  
de trocar de A para B*

As opções de troca de uso nesse caso serão européias, pois só podem ser exercidas em determinados períodos. E o valor da opção de troca de uso será a soma das 3 opções européias de trocar de A para B denotadas por nos anos 0, 1 e 2  $S_t(A \rightarrow B)$  respectivamente.

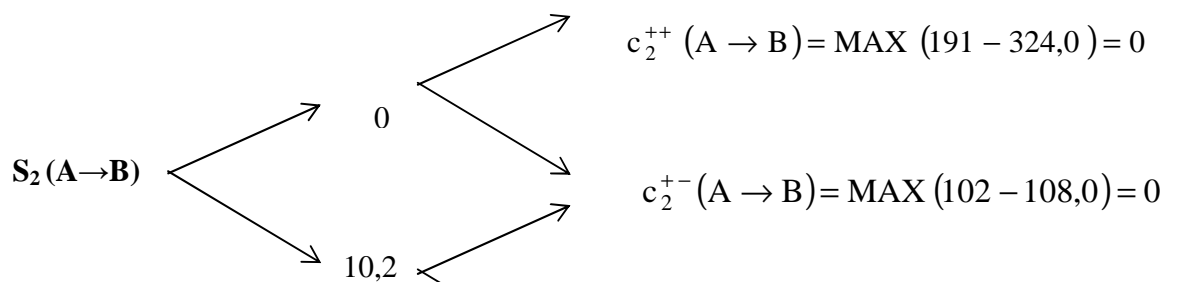
$$F(A \rightarrow B) = S_0(A \rightarrow B) + S_1(A \rightarrow B) + S_2(A \rightarrow B)$$

$$S_0(A \rightarrow B) = \text{MAX} (85 - 100, 0) = 0$$

$$S_1(A \rightarrow B) \begin{cases} \nearrow c_1^+(A \rightarrow B) = \text{MAX} (127,5 - 180, 0) = 0 \\ \searrow \end{cases}$$

$$c_1^-(A \rightarrow B) = \text{MAX}(68-60,0) = 8$$

$$S_1(A \rightarrow B) = \frac{pc_1^+(A \rightarrow B) + (1-p)c_1^-(A \rightarrow B)}{1+r} = \frac{0,4 \times 0 + 0,6 \times 8}{1,08} = 4,4$$



Sendo assim, o valor da opção de *swith use* será:

$$F(A \rightarrow B) = S_0(A \rightarrow B) + S_1(c_2^-(A \rightarrow B))$$

$$F(A \rightarrow B) = 0 + 4,4 + 5,7 = 10,1$$

E o valo da nova planta:

$$NPV_{\text{expandido}} = 300 + 10,1 = 310,1$$

### 3.4.7 Opção de Investimento em Informação

No setor de petróleo e Gás Natural, por exemplo, as duas principais fontes de incerteza são:  
- Incerteza com relação ao mercado, representada principalmente pelo preço do petróleo e  
- Incerteza técnica, que se refere basicamente ao volume e à qualidade da reserva.

Neste cenário, o investimento em informações adicionais é uma alternativa bastante interessante tanto para o desenvolvimento de campos de petróleo como para a espera por melhores condições de mercado.

### 3.5 OPÇÕES FINANCEIRAS, OPÇÕES REAIS E VPL

As opções financeiras são originadas por meio de ativos derivativos e por si só não possuem um valor efetivo, seu valor deriva de outro ativo, denominado “ativo subjacente, como exemplo: preço das ações, índices de ações, taxas de juros, taxas de câmbio e commodities” (HULL, 1996).

Os ativos derivativos são utilizados como forma de atenuar a incerteza e os riscos que ocorrem na flutuação dos ativos subjacentes, por apresentarem um comportamento de alta instabilidade no mercado, sofrendo influência de algumas variáveis.

Para se analisar os ativos derivativos usa-se a teoria das opções, que tem por característica dar ao detentor da opção o direito, mas não a obrigação, de exercer uma atividade no futuro. Sendo assim, o detentor opta por exercer ou não o seu direito, de acordo com o seu interesse. Nessa modalidade, comumente, as opções exigem um pagamento antecipado, denominado de prêmio, que tem por finalidade refletir o valor de sua flexibilidade.

De acordo com Lobo (2007), um dos principais problemas que as organizações enfrentam no seu dia a dia é o de decidir se investem ou não em determinados projetos. E muitas vezes a permanência de tais firmas no mercado depende destas conseguirem responder a essa questão de forma correta. Sendo assim, surge o problema, como uma organização toma a decisão de investir ou não em um projeto?

O método de análise clássica pode levar a um resultado errôneo, uma vez que não leva em conta a flexibilidade gerencial e todas as opções que existem em um projeto. A seguir será feita uma breve descrição de como essa análise é feita:

- Projeta-se o fluxo de caixa futuro esperado do projeto;
- Determina-se a taxa de desconto apropriada (que leve em conta o risco e a estrutura e capital do projeto) para trazer os fluxos de caixa a valor presente;



-Calcula-se o Valor Presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto; e

-Subtrai-se do valor presente dos fluxos de caixa o custo de implementação, e assim obtemos valor presente líquido (VPL) do investimento.

Caso o VPL seja maior do que zero o investimento será feito, caso contrário o investimento não será feito.

$$VPL = \sum_{K=1}^N \frac{E(FC_K)}{(1+\mu)^K} - I$$

Onde:

N= número de períodos;

$\mu$  = taxa de desconto ajusta ao risco; e

$E(FC_K)$  = valor esperado do fluxo de caixa líquido no período K.

Porém esta regra do VPL não captura pontos importantes, entre eles a flexibilidade gerencial de rever e adaptar suas decisões após o investimento em resposta a variações inesperadas do mercado. Ou seja, a teoria clássica supõe que o investidor inicia o projeto imediatamente (não captura a opção de esperar) e que o opera continuamente (não captura a opção de abandonar) a uma dada escala (não captura a opção de contrair ou expandir) até o fim da sua vida útil (LOBO,2007).

Pela análise clássica quanto maior for o nível de incerteza mais baixo será o valor do ativo. Com a teoria das OR o oposto ocorre, o aumento da incerteza pode levar a um alto valor do ativo caso os gerentes sejam capaz de identificá-las.

Aqui fica claro como a teoria das OR pode auxiliar na análise de investimento, uma vez que através desta teoria o gerente é capaz de capturar todas essas opções existentes em um projeto que a teoria clássica não captura. Ou seja, a teoria das OR captura a flexibilidade gerencial, a capacidade

dos gerentes se adaptarem as novas informações que chegam com o passar do tempo. Essa flexibilidade gerencial de se adaptar ao futuro introduz uma assimetria na distribuição de probabilidade do VPL, essa flexibilidade aumenta o valor verdadeiro da oportunidade de investimento, uma vez que aumenta o potencial de ganhos e limita as perdas. Na ausência dessa assimetria a distribuição do VPL é simétrica.

Uma das questões mais importantes da teoria das OR é como ela fornece uma imediata e importante perspectiva do valor criado em um mundo incerto.

Nesse ponto surge a seguinte questão: como analisar um investimento com todos esses aspectos importantes? Como fazer uma análise de investimentos levando em conta todas as flexibilidades existentes no projeto?

Segundo os estudos de Lobo (2007), pode-se fazer isso pensando em uma oportunidade de investimento como uma coleção de opções reais. O proprietário de uma oportunidade de investimento tem o direito, mais não a obrigação de investir no projeto, ele também tem o direito de esperar e investir mais tarde, ele tem a opção de expandir a escala de produção ou de contrair, ele tem a flexibilidade de abandonar o projeto, ou de fazer uma parada temporária e pode também trocar por uma alternativa melhor. A tabela abaixo faz uma síntese das diversas opções existentes em um projeto.

<b>OPÇÕES</b>	<b>PUT/CALL</b>
Diferir	Call option
Abandonar	Put option
Contraír	Put option
Expandir	Call option
Switch Use	Put option

**Tabela 14 - Opções Existentes em um projeto de Investimento**

Fonte: Adaptado de Lobo (2007) r do projeto considerando todas as opções existentes será:

$$\text{NPV}^* = \text{NPV} + \text{Prêmio da Opção}$$

De acordo com os ensinamento de Hubbrd (2000), as OR possuem 2 componentes que os gerentes estão acostumados a usar.

1. As opções são decisões *contingentes*. Uma opção representa a oportunidade de tomar uma decisão após se ver como os eventos desdobraram-se. Caso o evento tenha se desdobrado bem o gerente irá tomar uma decisão e caso ele tenha-se desdobrado mal, a decisão tomada será outra. Isso faz com que o *payoff* de uma opção seja não linear, ele muda de acordo com as suas decisões. O oposto ocorre com as decisões fixas (o que ocorre no caso clássico), aonde não importa como os eventos se desdobrem, o gerente sempre toma as mesmas decisões.

2. As opções como uma forma de pensar podem ser usadas para projetar e organizar estratégias de investimento. O *payoff* não linear também pode ser uma ferramenta. Como o investidor pode reduzir sua exposição ao risco? Como o investidor pode aumentar seu *payoff* caso tenha uma produção boa? O primeiro passo é identificar e avaliar as opções em uma estratégia de investimento. O segundo passo é reprojeter o investimento usando as opções e o terceiro passo é organizar o investimento através das opções criadas.

### **3.6 ASPECTOS METODOLÓGICOS: PROCESSOS ESTOCÁSTICOS E SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO**

Para que tal estudo seja feito, os preços dos inputs e *outputs* serão modelados através de um processo estocástico, no caso o Movimento Geométrico Browniano (MGB), serão calculados os parâmetros ( *drift* e volatilidade) de cada série de preços e em seguida será feito sua Simulação por Monte Carlo (SMC). O valor da opção se *swite use* dos inputs e dos *outputs* da planta de gás natural é a diferença entre o VPL de uma planta com flexibilidade e o VPL de uma planta sem flexibilidade, sendo assim, o próximo passo é calcular o valor de ambos os VPLs e achar a diferença entre eles.

Optou-se pelo método da SMC, pois esta representa um antídoto para os problemas que envolvem dimensionalidade (problemas com um grande número de incerteza) e aos que se referem à modelagem (HUBBARD,2000).

O uso pelas OR se justifica pelo fato desta ferramenta representar um avanço em relação à análise clássica, uma vez que leva em consideração todas as opções e incertezas (que podem ser de mercado, técnicas ou em relação a outros *players*) existentes no projeto (LOBO,2007).

### 3.6.1 Processos estocásticos

Para Dias (2005), um processo estocástico  $X = \{ X(t), t \in T \}$  é uma coleção de variáveis aleatórias. Ou seja, para cada  $t$  no conjunto de índices  $T$ ,  $X(t)$  é uma variável aleatória. Geralmente  $t$  é interpretado como tempo e  $X(t)$  é chamado de estado do processo no tempo  $t$ . Quando  $X(t)$  ocorre é chamado de amostra de caminho (*sample path*).

Quando o conjunto de índices  $T$  é um conjunto contável, temos um processo estocástico em tempo discreto. Se esse conjunto for contínuo, o processo será um processo estocástico contínuo.

Nos ensinamentos de Fan (2002), os processos estocásticos podem ser classificados da seguinte maneira: processos estacionários: as propriedades estatísticas, média e variância, da variável são constantes; processos não estacionários: o valor esperado da variável aleatória pode crescer sem limite e sua variância,  $T$  anos a frente, aumenta com  $T$ .

Uma definição mais formal poderia ser dada da seguinte forma: um processo estocástico é definido por uma lei de probabilidade de evolução da variável  $X(t)$ , a variável  $X$  a cada tempo  $t$ .

Ou seja, para os tempos  $t_1 < t_2 < t_3$ , etc., é possível calcular a probabilidade correspondente aos valores  $x_1, x_2, x_3$ , etc., estarem em um intervalo específico, por exemplo:  $\text{prob} (a_1 < x_1 \leq b_1, a_2 < x_2 \leq b_2, \dots)$ . Sendo assim, quando o tempo  $t_1$  chegar e o

atual valor de  $X_1$  for observado, é possível ter a condição de probabilidade de futuros eventos com essa informação. Pode-se ver um processo estocástico  $X(t)$  como uma previsão de  $E[X(t)]$  mais um erro dessa previsão, ou seja:  $X(t) = E[X(t)] + \text{erro}(t)$ . Com isso faz-se necessário calcular para cada processo estocástico que será visto nesse artigo sua tendência e sua volatilidade (IBIDEM, p.58).

### 3.6.2 Principais Processos Estocásticos

#### 3.6.2.1 Processo de Markov

Este é um tipo de processo estocástico onde somente o valor corrente de uma variável é relevante para prever o futuro, a propriedade de Markov nos diz que a distribuição de probabilidades dos preços em qualquer tempo no futuro depende única e exclusivamente do preço atual. Sua vantagem é que ele simplifica a análise de processos estocásticos.

Uma definição mais formal: considere um processo em tempo discreto  $\{X_1, X_2, \dots, X_t\}$  com distribuição de probabilidade conjunta  $F(x_1, x_2, \dots, x_t)$ . Este processo é considerado de Markov se as suas probabilidades condicionais satisfazem as seguintes propriedades:

$$P(X_{t+S} \leq x_{t+S} / x_t, \dots, x_1) = P(X_{t+S} \leq x_{t+S} / x_t)$$

Onde,  $P(\cdot / I_t)$ , representa a probabilidade condicional ao conjunto de informações  $I_t$ .

Esse processo é considerado importante para o mercado financeiro, pois neste ambiente considera-se que todas as informações passadas sobre o preço de um determinado ativo estão contidas no valor atual do mesmo. Sendo assim qualquer previsão do futuro será baseada somente no valor corrente do ativo, desconsiderando os valores anteriores.

Será visto que o Random Walk, o AR (1) e o Processo de Wiener são chamados de processo de Markov, pois satisfazem sua propriedade.

### 3.6.2.2 Random Walk

Este é um processo em tempo discreto e estado discreto, nesse tipo de processo  $X_t$  é uma variável aleatória e  $X_0$  é conhecida em  $t=0$ .

O comportamento se  $X_t$  pode ser descrito da seguinte forma:  $X_t$  assume saltos de tamanho 1 para cima ou para baixo, sempre com probabilidade  $1/2$ , e estes são independentes entre si.

Como os saltos são independentes pode-se descrever a dinâmica de  $X_t$  da seguinte forma:

$$X_t = X_{t-1} + \varepsilon_t$$

Onde  $\varepsilon_t$  é uma variável aleatória com a seguinte distribuição de probabilidade:

$$\text{prob}(\varepsilon_t = 1) = \text{prob}(\varepsilon_t = -1) = \frac{1}{2}$$

A distribuição de probabilidade de  $X_t$  pode ser encontrada na distribuição binomial. Onde para  $t$  passos a probabilidade de se terem  $n$  saltos negativos e, conseqüentemente,  $t-n$  saltos positivos é:

$$\binom{t}{n} \left(\frac{1}{2}\right)^n \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{t-n} = \binom{t}{n} 2^{-t}$$

Se  $x_0 = 0$  então o valor esperado de  $X_t$  é igual à zero, pois a probabilidade de subida e descida é a mesma:

$$E_0(x_t) = 0.$$

Podemos verificar pela equação (1) que esse processo satisfaz a propriedade de Markov, pois a distribuição de probabilidade de  $X_{t+1}$  depende somente da distribuição de  $X$  no tempo  $t$ . Por exemplo, se  $X_t = 6$ , então  $X_{t+1}$  só poderá ser 5 ou 7, tendo cada possibilidade iguais chances de ocorrer. Os valores  $X_{t-1}$ ,  $X_{t-2}$ , etc., são irrelevantes uma vez que sabemos  $X_t$ .

Uma possível generalização desse processo poderia ser feita alterando os valores de  $p$  e  $q$ , onde  $q = 1 - p$ . Caso  $p > q$ , ter-se-ia um *random walk* com *drift*, e  $E_0(x_t) > 0$ .

Outra generalização seria fazer com que o tamanho do salto em cada  $t$  fosse uma variável aleatória contínua. Caso esse salto tenha uma distribuição normal com média zero e desvio padrão  $\sigma$ , o processo é conhecido como processo estocástico em tempo contínuo e estado discreto, e um exemplo desse tipo de processo será visto a seguir.

### 3.6.2.3. Processo Autoregressivo de Primeira Ordem (AR 1)

Esse tipo de processo estocástico é em tempo discreto e variável contínua, e é um processo de Reversão à Média, pois  $X$  no longo prazo tende a um valor constante.

A dinâmica de  $X_t$  pode ser escrita da seguinte forma:

$$x_t = \delta + \rho x_{t-1} + \xi_t$$

Onde:

$\rho$  e  $\xi$  são constantes,

$$-1 < \rho < 1,$$

$$\xi \sim N(0,1).$$

Pela equação (2) podemos verificar que esse processo satisfaz a propriedade de Markov de maneira similar a que foi vista no processo Random Walk.

O valor esperado de  $X_t$  de longo prazo será:

$$E_0(X_n) = \frac{\delta}{1-p}$$

#### 3.6.2.4. Processo de Wiener

O Processo de Wiener, também conhecido como Movimento Browniano, é um processo de tempo contínuo e possui 3 propriedades importantes:

- É um processo de Markov (mais adiante será visto o porquê dessa afirmação), assim tudo o que se precisa saber para fazer uma boa previsão do valor futuro da variável é a sua distribuição de probabilidade e o seu valor atual;

- Possui incrementos independentes; e

- Mudanças sobre qualquer intervalo de tempo são normalmente distribuídas, com uma variância que aumenta linearmente com o intervalo de tempo, ou seja é um processo estocástico não estacionário.

Mais formalmente, seja uma variável aleatória  $Z$  que segue um processo de Wiener, então ela possui as seguintes propriedades:

- A relação entre  $\Delta Z$  e  $\Delta t$  é dada por:  $\Delta Z = \varepsilon \sqrt{\Delta t}$ , onde  $\varepsilon_t \sim N(0, 1)$ ; e

- A variável aleatória  $\varepsilon_t$  não possui correlação serial, ou seja,  $E(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0$ , para  $t \neq s$ .

Dessa forma, os valores de  $\Delta Z$  para quaisquer intervalos diferentes são independentes, de forma que  $Z(t)$  segue um processo de Markov.



Dessa propriedade segue que,  $\Delta Z$  tem distribuição normal com média 0 e variância igual a  $\Delta t$ , ou seja, pode-se concluir que os incrementos seguem uma distribuição normal com os parâmetros,  $\Delta Z \sim N(0, \Delta t)$ .

Se considerarmos um intervalo de tempo  $\Delta t \rightarrow 0$ , o incremento do processo de Wiener pode ser representado em tempo contínuo:

$$dz = \varepsilon_t \sqrt{dt}$$

$$E(dz) = 0$$

$$\text{Var}(dz) = dt \quad \Leftrightarrow \quad dz \sim N(0, dt)$$

$$\sigma(dz) = \sqrt{dt}$$

Uma observação importante é o fato desse processo não possuir derivada em relação ao tempo no sentido convencional; ou seja:

$$\frac{\Delta Z}{\Delta t} = dz = \varepsilon_t \sqrt{dt} = \varepsilon_t (dt)^{-1/2} \rightarrow \text{que tende ao infinito}$$

quando  $\Delta t$  se aproxima de 0

### 3.6.2.5 Movimento Browniano com *drift* ou movimento de wiener generalizado (movimento aritmético browniano)

O processo de Wiener Generalizado, também conhecido como Movimento Browniano com drift para uma variável  $x$  pode ser definido em termos de  $dz$  pela seguinte expressão:

$$dx = \alpha dt + \sigma dz$$

Onde:

$dz$ : é o incremento de Wiener, definido acima;

$\alpha$  : é a tendência do processo, que representa a certeza, pois surge do produto de dois valores conhecidos (que nesse caso é constante); e

$\sigma$  : é a volatilidade do parâmetro, que representa a incerteza, pois resulta da multiplicação de um valor conhecido por um valor aleatório (que também é constante).

A mudança em X, denotada por dx, no intervalo de tempo  $\Delta t$ , é normalmente distribuída e tem  $E(\Delta x) = \alpha \Delta t$ , e a variância é  $V(\Delta x) = \sigma^2 \Delta t$ .

Assim:

$$\Delta x \sim N(\alpha \Delta t, \sigma \sqrt{\Delta t})$$

### 3.6.2.6 Movimento browniano generalizado - o processo de ito

No Movimento Browniano estudado acima, o  $\alpha$  e o  $\sigma$  eram constantes. Porém o que ocorreria caso esses parâmetros não fossem constantes? Como ficaria a média e a variância desse processo?

A generalização do Movimento Browniano é dada pela equação abaixo:

$$dx = a(x, t) dt + b(x, t) dz \quad (5)$$

Onde:

$dz$  : incremento de Wiener,

$a(x, t)$  e  $b(x, t)$  :funções (não-aleatórias) conhecidas.

$a$  e  $b$ : são respectivamente do *drift* e a variância, porém agora são funções do tempo e do estado atuais.

A média e a variância de  $dx$  são calculadas a seguir:

$$E(dx) = a(x, t)$$

$$\text{Var}(dx) = [b(x, t)]^2 dt$$

Os parâmetros  $a(x, t)$  e  $b(x, t)$  são respectivamente, a taxa instantânea de crescimento esperada e a taxa instantânea de variância esperada.

### 3.6.2.7 Movimento Geométrico Browniano (MGB)

É um caso particular de Processo de Ito, geralmente é o processo utilizado para modelar preço de ações, taxas de juros, preços de produtos e outras variáveis financeiras e econômicas.

Uma importante generalização da equação é vista a seguir:

$$dx = \alpha x dt + \sigma x dz$$

Onde são  $\alpha$  e  $\sigma$  constantes.

Foi visto no processo de Wiener Generalizado que as mudanças em  $x$ ,  $dx$  tem distribuição Normal com parâmetros  $(\alpha, \sigma)$ . No MGB qual será a distribuição de  $dx$ ?

Dividindo o MGB por  $x$  vamos obter o processo de Wiener Generalizado (ou Movimento Aritmético Browniano-MAB):

$$dx = \alpha x dt + \sigma x dz$$

$$\frac{dx}{x} = \alpha dt + \sigma dz$$

$$\frac{\Delta x}{x} \cong \alpha \Delta t + \sigma \Delta z$$

Disto decorre que  $\frac{\Delta x}{x}$  segue um MAB e sendo assim tem uma distribuição Normal. Pode-

se verificar que:  $\frac{d}{dx}(\ln x) = \frac{1}{x} dx = \frac{dx}{x}$ , Ou seja,  $\Delta x/x$  é o incremento de  $\ln x$  e tem distribuição

normal, pois seu processo é um MAB, sendo assim pode-se concluir que se  $\ln x$  tem distribuição

normal,  $x$  terá distribuição log-normal. Se  $x(t)$  tem distribuição log-normal, então  $F(x) = \ln x$  terá uma distribuição normal. Expandindo  $F$  por Taylor:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} dx^2 \quad (8)$$

Onde :

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{1}{x} \quad (9) \qquad \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -\frac{1}{x^2} \quad (10) \qquad \frac{\partial F}{\partial t} = 0 \quad (11)$$

Substituindo (9), (10) e (11) em (8) teremos :

$$dF = \frac{1}{x} dx - \frac{1}{2x^2} (dx)^2 \quad (12)$$

$$\text{Onde : } dx = (\alpha x dt + \sigma x dz) \quad (13)$$

$$dF = \frac{1}{x} (\alpha x dt + \sigma x dz) - \frac{1}{2x^2} (\alpha x dt + \sigma x dz)^2$$

$$dF = \alpha dt + \sigma dz - \frac{1}{2x^2} (\alpha^2 x^2 dt^2 + 2\alpha\sigma dt dz + \sigma^2 x^2 dz^2)$$

$$dF = \alpha dt + \sigma dz - \frac{1}{2} \sigma^2 dt$$

$$dF = \left( \alpha - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dz$$

Lembrando que :

$$(dz)^2 = (\varepsilon \sqrt{dt})^2 = \varepsilon^2 dt$$

$$\text{Var}(\varepsilon) = E(\varepsilon^2) - E^2(\varepsilon) = 1$$

$$\text{Pois } \varepsilon \sim N(0,1)$$

$$E(\varepsilon^2 dt) = dt E(\varepsilon^2) = dt$$

$$\text{Var}(\varepsilon^2 dt) = dt^2 \text{Var}(\varepsilon^2) = 0$$

Considerando o seguinte intervalo de tempo (0, T), fazendo:

$$x(T) = x_T$$

$$x(0) = x_0$$

Em seguida substituindo no valor de F(x), encontra-se:

$$F(x_t) - F(x_0) \sim N \left[ \left( \alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma^2 T \right]$$

$$F(x_t) \sim N \left[ F(x_0) + \left( \alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma^2 T \right]$$

Como:  $F(x_t) = \ln x$ ,

$$\ln x_t \sim N \left[ \ln x_0 + \left( \alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma^2 T \right]$$

Após algumas substituições de variáveis chega-se ao valor esperado de  $X_T$  e a sua variância:

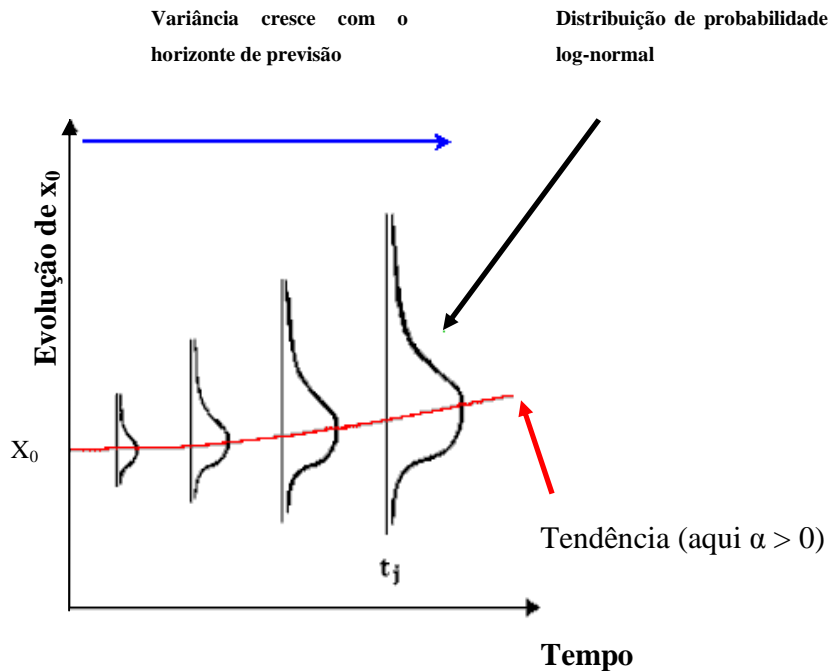
$$E(x_T) = x_0 e^{\alpha T}$$

$$Var(x_T) = x_0^2 e^{2\alpha T} \left( e^{\sigma^2 T} - 1 \right)$$

Uma observação importante é que a variância cresce (sem limites) com o horizonte temporal, ou seja, se  $T \rightarrow \infty \Rightarrow Var(x_T) \rightarrow \infty$ . E a tendência é exponencial de crescimento ou de queda.

$\alpha$ : é a tendência do processo (que nesse caso é constante); e

$\sigma$ : é a volatilidade do parâmetro (que também é constante).



**Gráfico 14 - Variância no Movimento Geométrico Browniano**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)

Vamos ver um exemplo usando uma série de preços de óleo pesado. A série foi dividida em trimestre e compreende o período que vai do 3º trimestre de 1987 até o 2º trimestre de 2006, ou seja, são ao todo 76 dados.

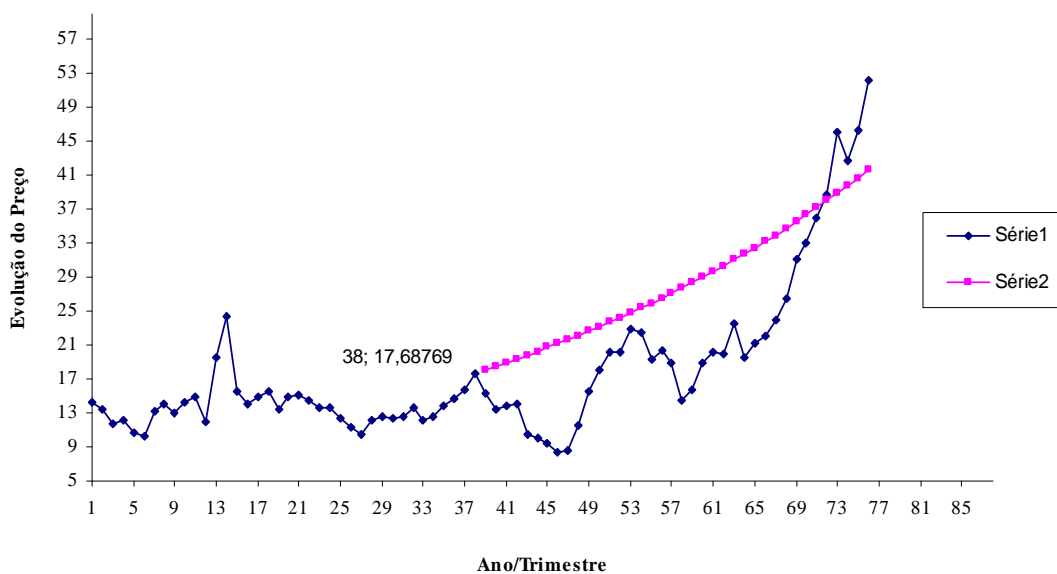
Vamos supor que:

$\alpha$  = tendência = 9% p.a (adiante será visto como calcular esse parâmetro); e

$\sigma$  = volatilidade = 20% p.a (também será visto adiante como calcular esse parâmetro).

Com esses dados montamos a equação de previsão:

$$E(x_T) = x_0 e^{\frac{0,09}{4} * T} = x_0 \left( e^{0,0225} \right)^T = x_0 (1,02275)^T$$



**Gráfico 15 - Série de preços do óleo pesado**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Onde:

A série 1 representa os dados observados e

A série 2 representa os dados previstos de acordo como MGB.

Pode-se observar como foi dito acima, que os dados previstos apresentam uma tendência exponencial de crescimento.

Uma outra análise importante é a construção do intervalo de confiança para os dados previstos. O tamanho da nossa amostra é igual a 76, sendo assim podemos supor que esta segue uma distribuição Normal.

$$x_{2006/2} e^{\alpha t} \pm Z_{5\%} \sqrt{x_{2006/2}^2 e^{2\alpha t} (e^{\sigma^2} - 1)}$$

$$x_{2006/2} e^{\alpha t} \left( 1 \pm Z_{5\%} \sqrt{e^{\sigma^2} - 1} \right)$$

Porém :

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Fazendo  $x = \sigma^2 t$

$$e^{\sigma^2 t} = 1 + \sigma^2 t + \frac{\sigma^4 t^2}{2!} + \frac{\sigma^6 t^3}{3!} + \dots$$

$$e^{\sigma^2} = 1 + \sigma^2 t$$

$$e^{\sigma^2} - 1 = \sigma^2 t$$

Substituímos a (17) na (16) :

$$x_{2006/2} e^{\alpha t} \left( 1 + Z_{5\%} \sqrt{\sigma^2 t} \right)$$

Passando o  $\sigma$  para fora da raiz :

$$x_{2006/2} e^{\alpha t} \left( 1 \pm Z_{5\%} \sigma \sqrt{t} \right)$$

Atenção :

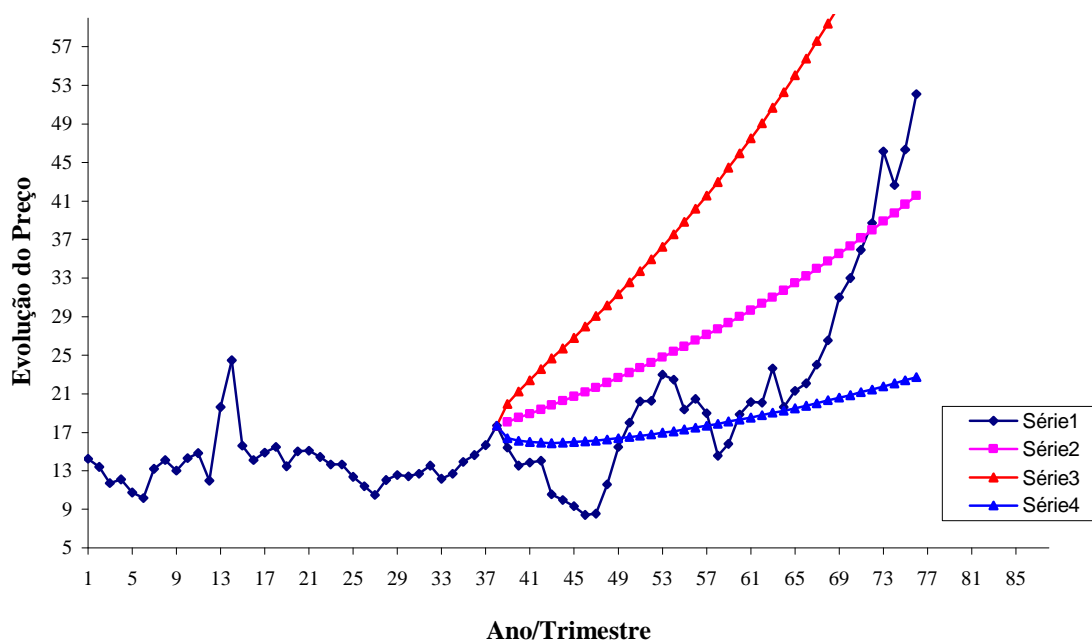
$$e^{\pm Z_{5\%} \sigma \sqrt{t}} = 1 \pm Z_{5\%} \sigma \sqrt{t}$$

$$x_{2006/2} e^{\alpha t} e^{\pm Z_{5\%} \sigma \sqrt{t}}$$

Substituindo valores de  $\sigma$ ,  $\alpha$  e  $Z_{5\%}$  :

$$x_{2006/2} e^{\frac{0,09}{4} t} e^{1,96 * 0,05 \pm \sqrt{t}}$$





**Gráfico 16 - Intervalo de Confiança para a série de Óleo Pesado**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Onde a série 1 representa os dados observados, a série 2 representa os dados previstos de acordo com MGB, a série 3 representa o limite superior do intervalo de confiança e a série 4 o limite inferior.

### 3.6.2.8 Processo de Reversão à Média

Pelo MGB visto acima o valor previsto tende a divergir do seu valor original, dado que o processo apresenta uma tendência exponencial de crescimento ou de queda. Existem processos que podem ser modelados por esse movimento, um deles é o preço de ativos especulativos.

A equação que define esse processo é dada por:

$$dx = \eta (\bar{x} - x)dt + \sigma dz$$

Onde:

$dz$ : incremento de Wiener;

$\eta$ : velocidade de reversão à média, este parâmetro indica a velocidade com que o processo tende a voltar para o valor médio; e

$\bar{x}$ : nível normal de  $x$  (o nível para o qual  $x$  tende a reverter).

Este processo também é um processo de Markov, porém não possui incrementos de Wiener (dado que a variância de  $x$  depende da diferença entre  $\bar{x}$  e  $x$ ).

O valor esperado de  $x$  é:

$$E(x_t) = \bar{x} - (x_0 - \bar{x})e^{-\eta(t-t_0)}$$

A variância é dada pela seguinte equação:

$$\text{Var}(x_t) = \frac{\sigma^2}{2\eta} \left( 1 - e^{-2\eta(t_0-t)} \right)$$

O próximo passo é verificar o que ocorre com a variância e o valor esperado de  $x$  quando  $t \rightarrow \infty$ :

$$\begin{aligned} \lim E(x_T) &= \lim \left[ \bar{x} - (x_0 - \bar{x}) \frac{1}{e^{\eta T}} \right] \\ &= \bar{x} - (x_0 - \bar{x}) \lim \left[ \frac{1}{e^{\eta T}} \right] \end{aligned}$$

Quando  $T \rightarrow \infty$ ,  $e^{\eta T} \rightarrow \infty$  e  $(x_0 - \bar{x}) \frac{1}{e^{\eta T}} \rightarrow 0$ .

$$\lim_{T \rightarrow \infty} E(x_T) = \bar{x}$$

### 3.7 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

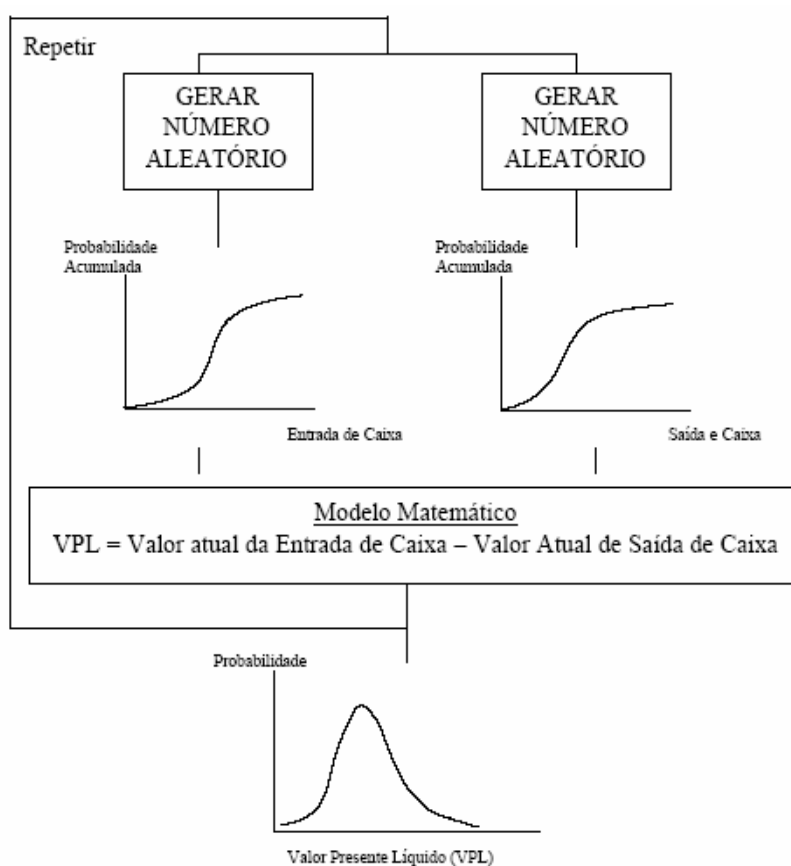
O método de Monte Carlo é uma expressão muito geral, onde as formas de investigação estão baseadas no uso de números fortuitos e estatística de probabilidade. Pode-se verificar a utilização de tal método em diversas áreas, como economia, física, química, medicina entre outras. Para que uma Simulação de Monte Carlo esteja presente em um estudo basta que este faça uso de números aleatórios na verificação de algum problema (LOBO, 2007).

O método leva este nome devido à famosa roleta de Monte Carlo, no Principado de Mônaco. Seu nome bem como o desenvolvimento sistemático do método data de 1944, quando da Segunda Grande Guerra, época em que foi usado como ferramenta de pesquisa para o desenvolvimento da bomba atômica. Porém, existem alguns registros isolados de sua utilização em datas bem anteriores; por exemplo: pela segunda metade do século XIX várias pessoas executaram experiências nas quais lançavam setas, de uma maneira fortuita, sobre uma tábua onde havia um conjunto de linhas paralelas e deduziram o valor de  $Pi = 3,14\dots$ , observando o número de interseções entre as setas e linhas. Os primeiros estudos envolvendo Simulação de Monte Carlo e avaliação de investimentos de capital foram feitos por David B. Hertz e publicados em um artigo na revista Havard Business Review em 1964.

Para Pamplona (2005), para a construção de um modelo do fluxo de caixa, fazendo uso da Simulação de Monte Carlo, segue-se uma seqüência lógica, conforme abaixo:

- Construir um modelo básico das variações dos fluxos de caixa futuros, provocados pela variação dos preços dos insumos e produtos finais.
- Para toda a variável que puder assumir diversos valores elaborar sua distribuição de probabilidade acumulativa correspondente.

- Especificar a relação entre as variáveis de entrada a fim de se calcular o VPL do investimento.
- Selecionar, ao acaso, os valores das variáveis, conforme sua probabilidade de ocorrência, para assim, calcular o valor presente líquido.
- Repetir esta operação muitas vezes, até que se obtenha uma distribuição de probabilidade do VPL.



**Gráfico 17 - Ilustração da SMC**

Fonte: PAMPLONA et al. (2005)

Para o caso específico do Projeto GN, as simulações são realizadas sobre a incerteza dos preços futuros dos *inputs* (gás natural, nafta, biomassa, óleo pesado, resíduo de vácuo) e dos *outputs*

(diesel, nafta, parafina, lubrificante). Essas são as variáveis que afetam as receitas e custos do processo e definem o VPL a ser obtido a partir do investimento realizado.

A diferença entre o VPL calculado com flexibilidade (considerando os processos estocásticos e a SMC) e o VPL sem flexibilidade será o valor da opção existente de *switch* use dos *inputs* e *outputs*.

Dado que conhecemos os processos estocásticos adequados para a projeção dos preços futuros de *inputs* e *outputs*, podemos realizar as simulações para o cálculo do VPL com flexibilidade e, assim, determinar o valor das opções de troca (*switch*) de *inputs*, *outputs* ou de ambos simultaneamente.

Para tal, os passos percorridos foram os seguintes:

- Simular um caminho possível para os preços dos *inputs*, *outputs* ou ambos através do processo estocástico selecionado (MGB).

- Calcular o VPL para o período de tempo escolhido (vida útil do projeto é de 20 anos), considerando receitas e custos para cada período (trimestre) através dos preços obtidos no passo anterior para cada *input* e *output* disponíveis.

- Avaliar a cada trimestre o *input*, *output* ou a combinação de ambos que trazem o melhor VPL dentre as possibilidades que se apresentam. Esse será o VPL com flexibilidade, considerando que o usuário poderá escolher, dentre os *inputs* e *outputs* existentes, aqueles que resultam no melhor resultado financeiro possível a partir de seus investimentos (receitas – custos).

- O valor da opção de troca (*switch*) será a diferença entre o VPL com flexibilidade e o valor do VPL obtido no passo 2 para um cenário escolhido (*input* e *output* determinados). Se for permitida a troca apenas do *input*, a opção será de *switch* na entrada. Se for permitida a troca apenas do *output*, a opção será de *switch* na saída. Se forem permitidas as trocas tanto de *input* quanto de

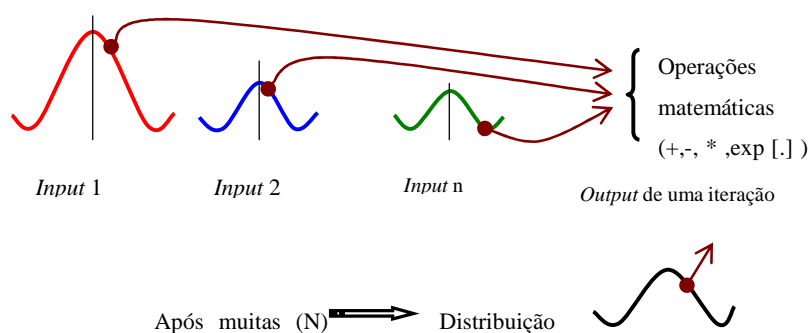
*output*, na busca do melhor VPL possível a cada trimestre, a opção será de *switch* na entrada e na saída.

### 3.7.1 Simulação de Monte Carlo na Precificação de Opções

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é um método crescentemente popular para valorar derivativos complexos, inclusive Opções Reais (OR). Usando-se essa ferramenta, consegue-se resolver o problema pela simulação direta do processo físico, de forma que não necessite escrever a equação diferencial da opção real.

É portanto, uma ferramenta flexível para manusear detalhes específicos de problemas da vida real, incluindo várias restrições, *payoffs* complexos e várias fontes de incertezas. Ou seja, é um antídoto para o problema da dimensionalidade (que ocorre quando se tem um número grande de fontes de incerteza) e do problema da modelagem, que dificultam a solução de problemas reais complexos (JUNQUEIRA *et al.*,2002).

O método de Monte Carlo consiste basicamente em: especificação da distribuição das variáveis de entrada (incluindo seqüências temporais de distribuições, ou seja, processos estocásticos) e suas correlações, operações matemáticas com as amostras dos *inputs* para calcular o resultado (*output*) gerado por essa amostra, repetição N vezes dos passos acima, gerando N *outputs*; e cálculo da média, da variância, do intervalo de confiança e outras probabilidades estatísticas da distribuição de *output* que foi gerada. Esses passos podem ser ilustrados na Figura 7, da seguinte forma:



**Gráfico 18 - Ilustração dos passos da SMC**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)

No caso de precificação de opções os passos acima se resumem a: simulação do preço do ativo básico, preço sobre o qual a opção foi escrita (aqui surge a seguinte questão: qual o melhor processo estocástico que devemos adotar para modelar o preço de uma ação?) e outros parâmetros como taxa livre de risco (essa taxa é usada na precificação de opções uma vez que não se sabe a sua taxa de desconto) e volatilidade, determinação do *payoff* do ativo, e precificação da opção (através da média da simulação) e determinação da precisão do resultado (através do cálculo do desvio padrão de do intervalo de confiança).

Fisher em 1907 foi um dos precursores dos métodos de avaliação econômica de investimento, suas técnicas baseiam-se no cálculo de fluxo de caixa descontado para um ambiente de certeza, ou seja, a taxa de desconto do fluxo de caixa representava apenas o valor do dinheiro no tempo. Foi somente nos anos 60 que os modelos foram adaptados para um ambiente de incerteza, a taxa de desconto foi feito um acréscimo chamado de “ajusto ao risco”. Entre 1964/65 surgiu o modelo chamado de “*Capital Asset Pricing Model*” (CAPM), através do qual foram introduzidos termos como risco diversificável e risco não diversificável .

O grande avanço na avaliação de opções foi feito no início da década de 1970 por Fisher Black, Myron Scholes e Robert Merton, que com seu importante trabalho no sentido de avaliar as opções financeiras deram o início a uma centena de artigos teóricos e empíricos nessa área.

O professor Stewart C. Myers, em 1977, caracterizou as oportunidades de investimento das firmas em ativos reais (ex.: projetos de investimento) como sendo análogas a opções de compra sobre esses ativos reais. Assim, a teoria das Opções Reais (OR) reconhece e valoriza o fato de que as firmas têm o direito, mas não a obrigação, de investir  $I$  num projeto que vale  $V$ . O brasileiro Tourinho (1979) foi o primeiro a aplicar as idéias da teoria das opções para valorar reservas de recursos naturais.

A Petrobras já aplicou a análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais em alguns projetos, a seguir serão dados alguns exemplos: relativo à tarifa de gás do gasoduto Bolívia-Brasil (Gasbol) em 2000 e 2001 - conforme tese de doutorado de Marco Antonio Dias.

De acordo com Alves *et al.*, (2007), em 2006, o projeto GN a ser disponibilizado a partir de 2009, nos remete a discussão da necessidade de ser avaliado por OR, no qual serão examinadas as diversas flexibilidades na utilização de matérias primas e fabricação dos produtos finais. A flexibilidade cria opções e conseqüentemente aumenta o valor do projeto “sem flexibilidade” analisado com a metodologia clássica do Valor Presente Líquido (VPL). Uma opção é um derivativo (aquele cujo fluxo de caixa depende funcionalmente de um outro ativo, chamado de ativo base) escrito sobre um ativo base. Quando se compra uma opção adquire-se um direito (de comprar ou vender um ativo  $V$ , por um determinado valor  $K$ , até certa data  $T$ ), mais não uma obrigação de se executar uma ação no futuro. As opções são avaliadas quando existem incertezas em relação ao preço do ativo base e em relação ao período que pode ser exercida (no caso de uma opção americana)(LOBO,2007) .Ainda, de acordo com Lobo (2007), o comportamento das opções reais é visto como uma extensão da teoria das opções financeiras. As opções financeiras são detalhadas no contrato, enquanto que as opções reais são vistas em estratégias de investimento. As principais diferenças entre as opções reais e as financeiras são as seguintes:

-Em opções financeiras o tempo de expiração é geralmente de curto prazo (menor do que 1 ano) e as opções reais podem ser até perpétuas; outra diferença é tempo de construção do bem real (que não existe em opções financeiras, e existe em opções reais); a regra de decisão (se exerce ou não a opção) é muito mais



importante em opções reais do que em opções financeiras. Ativos financeiros, tais como as ações, não podem ter valores negativos, já um projeto pode ter valor negativo, por último; as opções reais são mais complexas que as financeiras: preço de exercício pode ser incerto, é comum haver opções reais compostas, presença de incertezas técnicas além da incerteza de mercado, e interações estratégicas com outras firmas. A tabela a seguir faz uma comparação entre opções financeiras de compra de ações e opções reais, para projetos de investimento.

<b>OPÇÃO FINANCEIRA</b>	<b>OPÇÃO REAL</b>
Preço da Ação	Valor do projeto (V)
Preço de Exercício da Opção	Custo de Investimento do Projeto (I)
Stock Dividend Yield	Fluxos de Caixa gerados pelo Projeto (V)
Taxa livre de Risco	Taxa livre de Risco (r)
Volatilidade da Ação	Volatilidade do Valor do Projeto ( $\sigma$ )
Tempo de Expiração da Opção	Tempo de expiração da Oportunidade de Investimento(T)

**Tabela 15. Opção Financeira × Opção Real**

Fonte: Adaptado de LOBO (2007)

## CAPÍTULO 4 - INDÚSTRIA GÁS-QUÍMICA NO PIM

Considera-se como premissa para este estudo a disponibilidade de 5,0 MM m<sup>3</sup>/dia de gás natural e de 84.000 m<sup>3</sup>/mês de nafta. A essas matérias primas podem ser acrescentados os gases de refinaria, o propano do GLP e ainda o condensado do gás natural. Entretanto, dado o porte da Refinaria de Manaus (REMAN), os volumes a serem acrescentados não alterarão a disponibilidade de forma expressiva. Além disso, a utilização dos gases de refinaria implicaria o remanejamento da corrente de gás natural para uso energético na refinaria (PETROBRAS, 2007).

De acordo com Petrobrás (2007), o condensado do gás natural é incorporado ao petróleo de Urucu e se encontra portanto na nafta produzida. Assim, aqui é considerado como matérias-primas disponíveis o gás natural e a nafta. No caso do gás natural, é importante tanto a confirmação dos volumes disponíveis para transformação química quanto a análise do custo de oportunidade de utilização do gás.

Que usos alternativos ao uso petroquímico podem ser considerados? Poderia ser caracterizado como o que tem sido chamado de “*stranded gas*”, isto é, um gás que não teria condições de ser monetizado pelas soluções tecnológicas tradicionais, como transporte em gasodutos ou na forma de GNL para uso energético direto?(RIVAS *et al.*, p. 10).

No caso da nafta, deveriam ser considerados o seu destino atual e a possibilidade de revertê-lo para uso petroquímico local. Pelas razões mencionadas acima, seria muito difícil motivar investidores sem um panorama atraente bem definido em termos de matérias-primas (IBIDEM, p.11).

#### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PRODUTOS DENTRO DA CADEIA PETROQUÍMICA

Segundo os estudos de Rivas *et al.* (2006), os produtos da cadeia petroquímica são habitualmente classificados como produtos de 1ª, 2ª ou 3ª geração. Esta classificação sugere a posição do produto na cadeia em relação ao número de transformações que a matéria-prima inicial (nafta ou gás natural) teria sofrido. Entretanto, como essa classificação tem também o objetivo de reunir sob a mesma denominação produtos com características técnico-econômicas semelhantes, nem sempre o número de transformações da matéria-prima é tomado de forma absoluta.

Os produtos de 1ª geração reúnem os produtos petroquímicos básicos e intermediários. Em sua maioria, são obtidos por meio de uma única etapa de transformação química a partir das matérias-primas petroquímicas. O principal exemplo é o eteno, que é obtido pela pirólise do etano (gás natural) ou da nafta. Entretanto, alguns produtos básicos e intermediários exigem mais de uma etapa de reação na sua obtenção, como, por exemplo, o estireno, que deriva do eteno e do benzeno (ABIQUIM, 2006).

Se fosse tomada rigorosamente a noção de número de transformações, o estireno poderia ser considerado como de 2ª geração. Mas sua inserção na cadeia petroquímica, do ponto de vista técnico-econômico, se dá no mesmo nível do eteno. Em outras palavras, o estireno, assim como o eteno, serve de matéria-prima para a produção de produtos petroquímicos finais como poliestireno (polímero derivado do estireno) ou polietileno (polímero derivado do eteno) (RIVAS *et al.*, 2006).

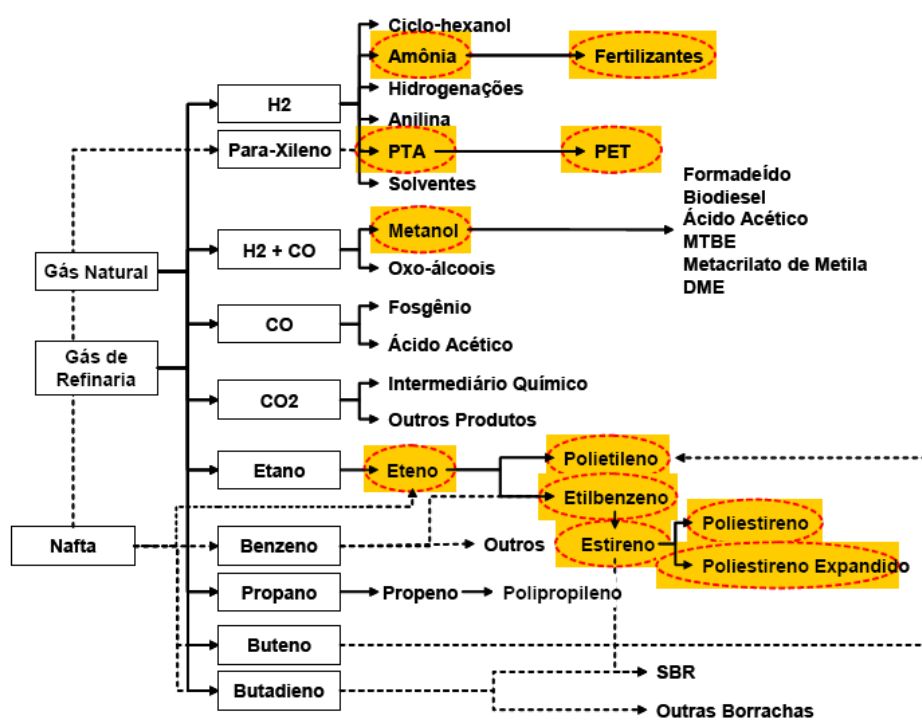
Os produtos de 2ª geração reúnem os produtos petroquímicos finais. Em sua maioria, são obtidos por meio de duas etapas de transformações químicas a partir das matérias primas de base. As resinas plásticas, tais como os polietilenos, o polipropileno, o PVC, os poliestirenos entre outras, são exemplos de produtos petroquímicos finais. Alguns deles exigem mais de duas etapas de transformação, mas costumam ser considerados de 2ª geração pela sua característica comum de

serem finais do ponto de vista petroquímico. A partir daí, serão submetidos apenas a transformações físicas para a produção dos bens de consumo final. Ainda de acordo com Rivas *et al.*, (2006), os produtos de 3<sup>a</sup> geração reúnem os produtos que resultam da transformação de petroquímicos finais em artefatos transformados, destinados a outras indústrias para a produção de bens de consumo final. Muitos produtos de 3<sup>a</sup> geração são realmente obtidos em 3 etapas a partir da matéria-prima de base. Entretanto, sua característica principal, do ponto de vista técnico-econômico, é o fato de representarem a primeira transformação não química na cadeia produtiva como um todo.

A indústria de 3<sup>a</sup> geração é a indústria de transformação de plásticos e outros polímeros e se situa a jusante da petroquímica. Sua atuação concentra-se na aquisição e conformação dos produtos petroquímicos finais de modo a colocá-los na forma adequada para serem utilizados pelo consumidor final ou incorporados por outras indústrias (por exemplo, alimentos) como componente de bens finais (por exemplo, alimentos embalados) (ABIQUIM, 2006).

#### **4.2 PRODUTOS PETROQUÍMICOS DE 1A E 2A GERAÇÃO NO PIM**

A Figura 1 apresenta a linha de derivação dos produtos petroquímicos a partir de gás natural e nafta. Para efeito da identificação de oportunidades, o ponto inicial que deve ser analisado é a geração de petroquímicos básicos ou produtos de 1<sup>a</sup> geração. Uma variedade de petroquímicos finais (2<sup>a</sup> geração) poderia ser sugerida a partir da disponibilidade desses petroquímicos básicos. Assim, deve ser examinado o potencial para produção de hidrogênio, gás de síntese ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), eteno, propeno e aromáticos (benzeno, tolueno, xileno).



**Figura 6 - Árvore dos produtos petroquímicos derivados de gás natural e nafta**

Fonte: ABIQUIM (2004)

Como derivados básicos do gás natural serão considerados a amônia (consumo do hidrogênio produzido), o metanol (consumo do gás de síntese produzido) e o eteno, derivado das frações etano (C<sub>2</sub>) e propano (C<sub>3</sub>) do gás natural. Amônia, metanol e eteno são os produtos básicos mais importantes em termos de volume produzido derivados do gás natural na indústria petroquímica mundial ( RIVAS *et al.*,2006)

No Quadro 1 encontra-se a composição do gás natural considerada na análise. Do ponto de vista dos derivados petroquímicos, todos os componentes contribuem para a geração de H<sub>2</sub> e de gás de síntese e a partir daí metanol e amônia. Para a geração de eteno, as frações C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> são as relevantes.

COMPONENTES	M <sup>3</sup> /DIA	TON/DIA
C1	3.444.000	2.302
C2	610.000	769
C3	259.500	484
C4	90.000	224
C5	21.500	ND
C6+	9.000	ND
N2	556.000	648
CO2	10.000	18

**Quadro 2 - Composição do gás de Urucu (gás rico).**

Fonte: Petrobrás ( 2007)

Segundo dados da Petrobras ( 2007), considerando-se o volume de gás de 5,0 MM m<sup>3</sup>/dia, condições médias de conversão e as tecnologias habitualmente utilizadas, podem ser obtidos os seguintes volumes de produtos básicos:

- 1.269 t/dia de amônia
- 5.000 t/dia de metanol
- 215.000 t/ano de eteno

As produções de amônia e metanol são mutuamente exclusivas nas escalas indicadas acima. A produção de eteno consome as frações C2 e C3 e poderia ser feita mantendo-se a produção de amônia ou metanol com uma pequena redução da escala de produção.

A produção de eteno, portanto, pode ser combinada com a produção de amônia ou metanol. A competitividade das escalas será analisada para cada produto no segmento econômico-financeiro deste estudo.

Entretanto, deve ser registrado desde já que enquanto as escalas teoricamente possíveis para amônia e metanol situam-se na faixa das escalas mundiais praticadas, a escala possível em eteno situa-se muito distante das escalas atualmente praticadas nos projetos petroquímicos.

No caso da nafta, trabalhando com uma composição média típica, poderiam ser obtidos, por meio da pirólise e posterior separação dos aromáticos, os seguintes produtos apresentados no Quadro 2:

<b>PRODUTOS</b>	<b>TON/ANO</b>
Butadienos	27.362
Butenos	38.509
Eteno	189.000
Propeno (GQ)	73.979
Propeno (GP)	28.375
Resíduo aromático	34.456
Resina	5.067
Pentenos	33.442
C9-pirólise	25.335
Benzeno	74.485
Tolueno	9.121
Xilenos	26.855
o-Xileno	20.268
C9 - aromáticos	6.587
Outros (GC+H <sub>2</sub> +CH <sub>4</sub> )	163.158

**Quadro 3 - Produtos derivados da nafta**

Fonte: ABIQUIM (2006)

Destacando-se os produtos de maior volume e mais facilmente valorizáveis na síntese de petroquímicos, nota-se a produção potencial de 189.000 t/a de eteno e de 74.000t/ano de benzeno.

No Estudo de Viabilidade para Implantação de Empreendimentos Petroquímicos no Pólo Industrial de Manaus coordenado por Rivas *et al.* (2006), apresenta e analisa do ponto de vista técnico e organizacional os produtos derivados dos petroquímicos básicos acima identificados. Como primeira aproximação, os produtos que podem ser identificados para o empreendimento petroquímico no PIM são metanol e amônia/uréia com base na disponibilidade matéria-prima, no caso gás natural. No caso, o metanol seria comercializado na forma de produto básico tendo como

alvo os mercados consumidores da indústria. Quanto à amônia, a comercialização seria feita principalmente na forma de uréia e destinada ao mercado de fertilizantes.

De acordo com Rivas *et al.* ( 2006), passando à segunda geração petroquímica, a posição em matéria-prima é nitidamente mais fraca, o que sugere a consideração de critérios complementares para a escolha inicial dos produtos. Assim, os polietilenos – principal família de produtos consumidores e eteno - podem ser descartados pela impossibilidade de encontrar escalas compatíveis com a economicidade do processo. Logo, a competitividade da produção seria difícil. Os dados do PIM sugerem que o consumo no pólo é pequeno, não havendo integração com as cadeias produtivas existentes. Além disso, existe um fluxo de investimentos nas regiões ao sul que se voltam ao atendimento do mercado nacional.

O critério de integração com as cadeias produtivas no PIM, pode-se considerar a cadeia dos estirênicos. Essa família de produtos incluiria o estireno, o poliestireno (PS) comum (impacto e cristal) e o poliestireno expandido. Os principais fatores que sugerem a consideração mais aprofundada dos produtos estirênicos são:

- A existência da produção de PS pela Videolar no PIM, a partir de matéria-prima importada,
- O consumo elevado da resina na indústria eletroeletrônica instalada,
- A existência de um parque transformador de 3<sup>a</sup> geração de bom nível que fornece peças e componentes para as empresas do pólo

Algumas considerações adicionais devem ser feitas sobre a produção de estireno no PIM em relação à questão de disponibilidade de matérias-primas. Para a obtenção de estireno as matérias-primas iniciais seriam eteno e benzeno para produção de etilbenzeno que, por desidrogenação, seria convertido em estireno. O benzeno viria da pirólise de nafta; o eteno teoricamente viria também da



pirólise da nafta ou das frações etano e propano do gás natural. Os coeficientes de conversão seriam:

1,02 t Etilbenzeno/t de estireno

0,265 t eteno/t etilbenzeno

0,739 t benzeno/t d etilbenzeno.

Supondo-se uma planta de 250.000 t/a de estireno (relativamente pequena em relação aos projetos internacionais anunciados), seriam necessários  $250.000 \times 1,02 = 255.000$  t etilbenzeno o que por sua vez exigiria:

$255.000 \times 0,265 = 67.575$  t de eteno

$255.000 \times 0,739 = 188.445$  t de benzeno.

Segue-se a análise dos produtos candidatos pré-selecionados: metanol, amônia, estireno e poliestirenos.

### **4.3 VARIÁVEIS CONSIDERADAS PARA PRODUTOS POTENCIAIS**

No estudo de Rivas *et al.*, (2006), para cada produto foi desenvolvida uma análise que levou em conta, além da descrição das tendências de evolução do mercado e principais aplicações, um conjunto de variáveis estruturais de forma a permitir uma caracterização inicial da dinâmica competitiva dos negócios considerados. Foram também identificados os produtores internacionais e nacionais e suas capacidades instaladas, o que permitiu avaliar as escalas praticadas na indústria e, por aproximação, os níveis de concentração de mercado. A identificação dos projetos anunciados, principalmente no mercado internacional, permite reforçar o estudo das escalas econômicas praticadas.

#### 4.4 DIFERENCIAÇÃO E PRODUTOS QUÍMICOS

O nível de diferenciação dos produtos petroquímicos pode ser interpretado a partir da chamada classificação de Kline. Segundo essa classificação, os produtos químicos podem ser especificados pelos compradores de duas formas: pelas suas características químicas ou pelo desempenho de uma função (ABIQUIM,2007).

No primeiro caso, os produtos são destinados quase sempre a outras transformações químicas. Os compradores são, com frequência, outras empresas da indústria química que vão utilizar os produtos em seus processos químicos. Nesse caso, os compradores especificam o que desejam adquirir no nível das características químicas do produto. São especificados dessa forma os produtos químicos básicos e intermediários – as *commodities* químicas – e os produtos de química fina – fármacos e princípios ativos para farmácia e agroquímica. No primeiro grupo, as escalas de produção e os volumes comercializados são grandes e os preços unitários são baixos.

No segundo grupo, os lotes produzidos e comercializados são pequenos e os preços unitários são altos. Entretanto, nos dois casos a possibilidade de diferenciação está limitada pela natureza da especificação que está baseada nas características químicas do produto. No caso das *commodities*, as condições de competitividade serão fortemente condicionadas pelos fatores que permitem a produção a baixo custo, tais como fontes favoráveis de matérias-primas, grandes escalas de produção, estrutura logística eficiente ,etc.

Por sua vez, os produtos que são especificados pelo desempenho são em geral produtos químicos finais. Os compradores na maioria dos casos são empresas não químicas que vão incorporar o produto químico em seus produtos finais. Nesse caso, os compradores especificam o que querem comprar com base na função a que se destina o produto, independente da sua composição química particular. Ao especificar um produto para uma embalagem, um produtor de

alimentos exige que o produto preencha as características que ele deseja para a sua embalagem. Isso poderia ser preenchido por diversos materiais ou no caso dos petroquímicos, por diversos plásticos diferentes.

Ainda, de acordo com Abiquim (2007), os produtos especificados dessa forma são as chamadas pseudocommodities (por exemplo, resinas plásticas) e as especialidades (por exemplo, aditivos). Os primeiros são produzidos e comercializados em grandes volumes a preços unitários baixos. Os segundos são produzidos em escalas menores, comercializados em volumes mais baixos e a preços unitários mais elevados. Em comum, nos dois casos, existe a possibilidade de diferenciação dos produtos que pode ser construída pelos fornecedores com base em diversos vetores. No caso das pseudo-commodities, as condições de competitividade dependem igualmente da produção a baixo custo, mas incorporam também as competências em diferenciação de produtos, em particular o desenvolvimento de aplicações e a assistência técnica aos setores de 3ª geração e utilizadores finais.

Assim, os produtos analisados nesse estudo são classificados como commodities (metanol, amônia e estireno) e pseudocommodities (poliestireno e poliestireno expandido).

#### **4.5 DIFERENCIAÇÃO DOS PRODUTOS ESTUDADOS**

**Metanol:** é considerado uma commodity química. Em seus principais usos a especificação é química e o produto não está em competição direta com outros produtos químicos nesses usos. Isso reduz enormemente o espaço para diferenciação.

A competição é baseada em custo. Alguns usos potenciais do metanol tais como os usos energéticos têm como referência os preços dos combustíveis, o que reforça a dimensão custo na

competitividade. Isso tem levado a duas tendências fortes na indústria: a utilização de fontes de gás natural de baixo valor (custo de oportunidade baixo) e o aumento de escala das plantas.

**Amônia/uréia:** também é considerada uma *commodity*. O espaço para diferenciação é muito pequeno. A utilização direta como fertilizante abre algumas oportunidades nesse sentido, mas a competição continua fortemente baseada em custos. A existência de fontes favoráveis de matérias-primas e a escala das plantas são igualmente os fatores de competitividade mais importantes.

**Estireno:** igualmente uma *commodity*. Sua produção é mais complexa do que a do metanol e da amônia, se consideramos o número de etapas de reações químicas. Os volumes de produção e comercialização são inferiores aos de metanol e amônia, mas os compradores de estireno não podem substituí-lo por outros produtos químicos para as finalidades a que se destina. A força de produtos substitutos é indireta, derivando da substituição de produtos finais que utilizem o estireno. A competição é, portanto, baseada em custos, o que valoriza a disponibilidade de matérias-primas, a escala da planta, a logística, etc.

**Poliestireno e Poliestireno Expandido:** são classificados como pseudocommodities. Isto quer dizer que são vendidos pelo desempenho que oferecem. Suas aplicações estão em competição com outros materiais, em particular com outros plásticos. O poliestireno, por exemplo, tem disputado diversos mercados com o polipropileno. Nesses mercados, como é o caso de algumas aplicações em eletro-eletrônicos, os dois materiais preenchem as exigências técnicas de base para a aplicação. Na busca desses mercados, além do preço competitivo, os esforços de desenvolvimento e assistência técnica têm papel decisivo. Isso quer dizer que nesses produtos a diferenciação tem um papel importante na estratégia competitiva dos produtores. Além de produzir a custos competitivos, os produtores devem se capacitar para conhecer e explorar as possibilidades de mercado dos materiais. Nesse esforço de desenvolvimento de novas oportunidades, as relações com os segmentos a jusante na cadeia produtiva, tanto com a 3ª geração (indústria de transformação de plásticos)

quanto com a indústria utilizadora final dos transformados, tornam-se importantes como fonte de vantagens competitivas para os produtores de resinas poliestirênicas.

#### **4.6 MERCADOS DE DESTINO DOS PRODUTOS CANDIDATOS**

De acordo com os estudos de Rivas *et al* (2006), apresentamos a seguir os mercados de destino dos produtos escolhidos como base de análise dos mercados. Para identificação das condições de mercado é importante perceber a inserção na cadeia das diversas gerações de produtos petroquímicos. Os produtos de 1<sup>a</sup> geração podem estar na origem de diferentes produtos de 2<sup>a</sup> geração que, a seu turno, se dirigirão a diferentes mercados finais. Em outras palavras, na consideração das estimativas de mercado, as demandas são derivadas dos usos finais. Isso quer dizer que idealmente os mercados analisados são os finais (o mais perto possível do bem final consumido) dos quais derivam as demandas dos petroquímicos de 2<sup>a</sup> geração e, a partir daí, as dos petroquímicos básicos.

##### **4.6.1 Metanol**

No mercado internacional, cerca de 35% do metanol é usado para produzir formaldeído, 27% para MTBE e 9% para ácido acético. Existe a tendência de queda no uso para MTBE em função das restrições ambientais na Califórnia e outros estados americanos ao uso desse produto como aditivo da gasolina. Como essa restrição não se verifica no leste da Europa e na Ásia, globalmente a queda do consumo de metanol para MTBE pode não se verificar. O uso como intermediário para a produção de DMT é declinante em função da preferência pela rota via PTA para a produção de poliéster.

O formaldeído, principal mercado do metanol, destina-se principalmente à produção de resinas fenólicas que consomem cerca de 66% do produto. As resinas fenólicas são usadas predominantemente em produtos de madeira como adesivos.

Quanto ao ácido acético, trata-se de um produto químico intermediário e solvente com variadas aplicações industriais. O principal mercado, cerca de 34% do mercado mundial, é a produção de monômero acetato de vinila (MAV), o qual é usado em tintas, adesivos, têxteis, papéis, filmes e gomas de mascar. Muitas plantas de MAV são integradas com a produção de ácido acético.

A produção de ácido tereftálico (PTA) é o segundo mercado consumidor, correspondendo a cerca de 18% da produção de ácido acético. Trata-se de um segmento em crescimento em razão da forte demanda pelas embalagens PET. Há centenas de outras aplicações, de fragrâncias a alimentos, de corantes a detergente.

Deve ser sublinhado que a produção de ácido acético pode ser feita por diversas rotas tecnológicas. Apesar de dominante, a produção a partir do metanol corresponde a não mais que 65% da produção mundial.

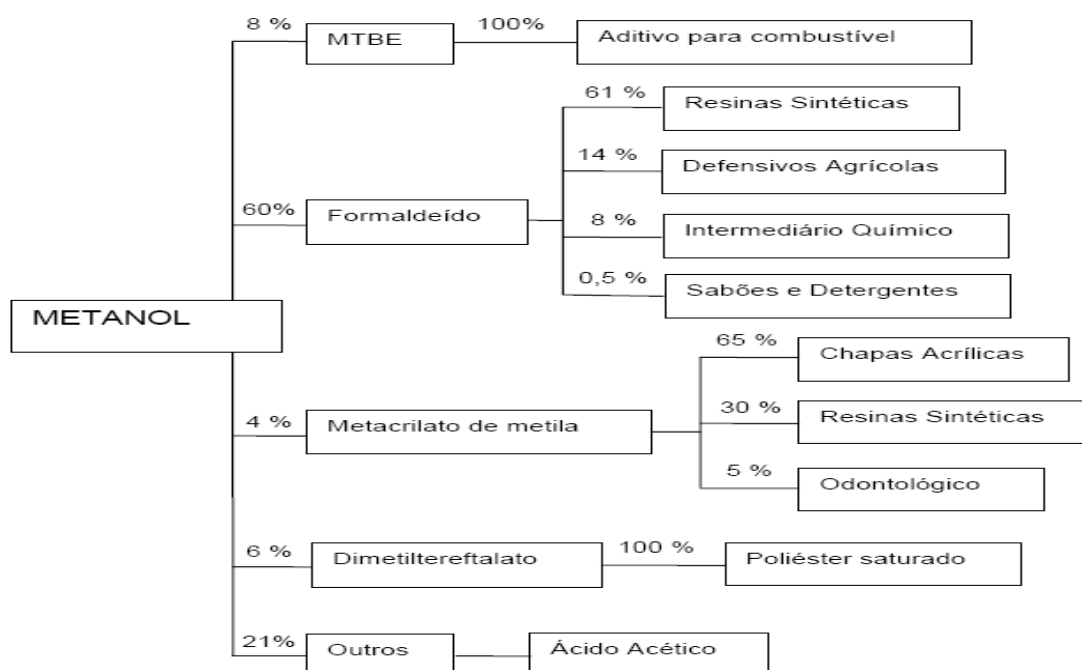
Alguns novos usos do metanol podem vir a ter importância no futuro, considerando que a tecnologia tem se tornado mais competitiva. Aumentos de escala das plantas podem vir a reduzir o custo de produção e tornar o metanol um produto importante na valorização do gás natural. Entre esses usos citam-se a produção de DME (dimetiléter), a produção de hidrogênio, a produção de olefinas (o chamado MTO, *methanol to olefins*), o próprio uso como combustível e a produção de biodiesel.

O desenvolvimento de células a combustível a metanol para automóveis, a geração estacionária e as aplicações em equipamentos eletrônicos portáteis poderiam representar um grande aumento no consumo de metanol no final desta década.

Em particular, no caso brasileiro, o potencial do consumo do metanol na produção de biodiesel deve ser avaliado com atenção. Segundo o Programa Nacional de Biodiesel, com a mistura de 2% de biodiesel no diesel, entre 2008 e 2012, serão consumidos cerca de 1 bilhão de litros de biodiesel por ano. A partir de 2013, percentual de biodiesel passará a 5%, elevando o consumo para 2,4 bilhões de litros anuais. Na produção de biodiesel, a reação de esterificação pode ser feita com metanol, consumindo 12% em massa de metanol. Com base nesse consumo existiria um mercado potencial de cerca de 200.000 t/ano de metanol a ser conquistado pelo eventual produtor de metanol (PETROBRAS, 2007)

Chega-se a esse valor considerando o consumo de cerca de 14 kg de metanol/barril de biodiesel. Deve ser destacado que a produção de biodiesel deve se desenvolver na Região Norte onde não existe disponibilidade de etanol que poderia ser utilizado na reação de produção do biodiesel no lugar do metanol. Alguns analistas do setor de biodiesel estimam que o Brasil poderia se tornar um grande exportador de biodiesel se desenvolvesse a exploração do óleo de palma na região norte, o que ampliaria o mercado potencial do metanol na Região Norte (IBIDEM, 2007).

Tratando-se de um petroquímico básico, as diversas aplicações identificadas desdobram-se em diversos outros mercados que influenciam a demanda final de metanol. A Figura 19 apresenta a árvore das aplicações do metanol no mercado brasileiro, identificando os mercados finais reponsáveis pelo consumo do produto.



**Figura 7 - Árvore de aplicações do metanol no mercado brasileiro**

Fonte: Adaptado de RIVAS e FREITAS (2006)

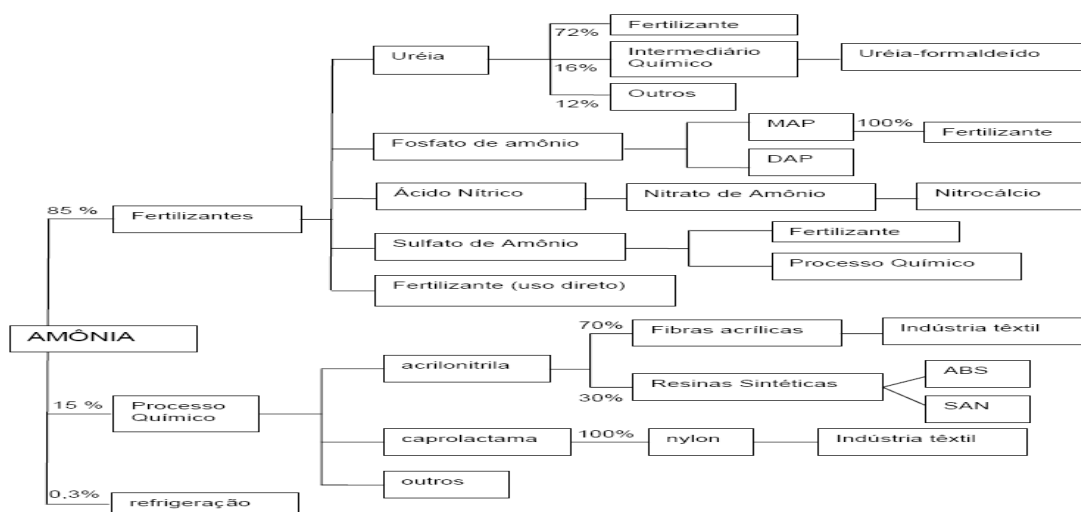
#### 4.6.2 Amônia/uréia

O uso principal da amônia é como fonte de nitrogênio em fertilizantes, podendo ser aplicada diretamente ou na forma de compostos nitrogenados como uréia, nitrato de amônio, fosfato de amônio e sulfato de amônio. A amônia tem também aplicações como intermediário químico: na produção de hexametileno diamina, que é matéria-prima para o nylon, na produção de acrilonitrila e de caprolactama. No mercado internacional, os principais usos da amônia são na forma de uréia (20%), fertilizante em uso direto (20%) e fosfato de amônio (18%). O principal uso da uréia (cerca de 90%) é como fertilizante. Da mesma forma, o fosfato de amônio tem também o mercado de fertilizantes como sua aplicação quase única. Outros usos importantes são: ácido nítrico (11%) e nitrato de amônio (7%). Seguem outros usos químicos (5%) e sulfato de amônio (4%). Em muitos



desses produtos, o uso como fertilizante é a principal aplicação final. Uma série de usos diversos, individualmente pequenos, atinge 13%. (ABIQUIM, 2005).

As diversas aplicações identificadas para amônia/uréia podem ser melhor visualizadas por meio da Figura 20 na qual são identificados os diversos mercados em que se desdobram os usos de amônia/uréia, compondo a demanda final de amônia/uréia.



**Figura 8 - Árvore de aplicações da amônia e uréia no mercado brasileiro**

Fonte: Adaptado de RIVAS e FREITAS (2006)

### 4.6.3 Estireno

O estireno é um intermediário químico que, na forma de diversos produtos petroquímicos finais, tem uma ampla gama de usos, tais como embalagens, construção, pneus, peças técnicas, utilidades domésticas, eletrodomésticos, eletroeletrônicos e produtos descartáveis, como copos, talheres e outros itens. No mercado internacional, 62% do estireno é utilizado como monômero para a produção de poliestireno. A produção de ABS, também um plástico, consome 11% do estireno.

Seguem os elastômeros com 14%, as resinas poliésteres com 7% e outros usos com 6%. No Brasil, como mostra o Quadro 3, o peso dos plásticos no consumo de estireno é ainda maior.

APLICAÇÕES	%
Plásticos	79,1
Resinas sintéticas	11
Borrachas	6,5
Tintas e vernizes	2,4
Outras	1

Quadro 4 - Mercados do estireno

Fonte: ABIQUIM, 2005

Tratando-se de um petroquímico básico, as diversas aplicações identificadas para o estireno dirigem-se para diversos produtos petroquímicos que, por sua vez atendem uma série de mercados finais. A Figura 6 apresenta a árvore das aplicações do estireno no mercado brasileiro, permitindo a identificação da cadeia produtiva que se constroi a partir do estireno.

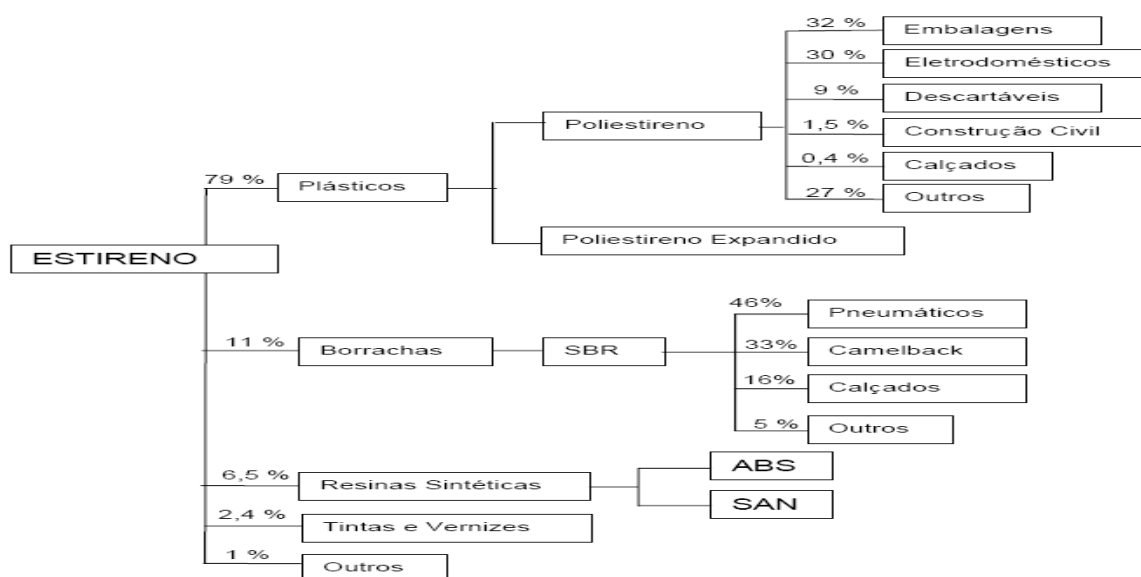


Figura 9 - Árvore de aplicações do estireno e derivados no Brasil

Fonte: Adaptado de RIVAS *et al.* (2006)

#### 4.6.4 Poliestireno (cristal e alto impacto)

O consumo de poliestireno destina-se principalmente ao mercado de embalagens, atingindo cerca de 31% no mercado mundial e quase 50% no mercado americano, incluindo os descartáveis. O segundo principal mercado, com cerca de 16% do consumo, é o de eletrodomésticos e eletroeletrônicos. Construção e produtos relacionados representam cerca de 13%. Produtos de consumo, incluindo brinquedos e artigos para lazer representam 10%. Produtos médicos contam 10% do mercado.

No mercado brasileiro, conforme o Quadro 4, os mercados de embalagem e eletroeletrônico estão na faixa de 30% do mercado total, cada um. O mercado brasileiro utiliza proporcionalmente mais poliestireno nos eletroeletrônicos do que na média do mercado mundial. O pequeno uso na construção civil é outra característica do consumo brasileiro.

APLICAÇÕES	%
Embalagens	32,1
Eletrodomésticos	30
Descartáveis	8,9
Construção civil	1,5
Calçados	0,4
Brinquedos	0,3
Outras	26,8

**Quadro 5 - Mercados do poliestireno**

Fonte: ABIQUIM, 2004

#### 4.6.5 Poliestireno expandido (PSE)

O poliestireno expandido (PSE) é um material em forma celular rígida com boas propriedades de isolamento térmico, absorção de choque, alta resistência à compressão, muito leve e resistente à umidade. O PSE tem aplicações no isolamento de calor e som na construção civil,

*containers* descartáveis, embalagens e decoração. Em particular, as propriedades de absorção de choque fazem do PSE um material de escolha para a embalagem de equipamentos delicados como televisões e instrumentos.

No mercado internacional, o principal mercado é o de embalagem e descartáveis que consome cerca de 53% do PSE. Em seguida, tem-se a construção civil que representa 33% da demanda. Outras utilizações (14%) completam o consumo.

#### **4.6.6 Estrutura dos mercados: escalas e concentração**

A análise das escalas de produção é feita em 3 tempos. Consideram-se inicialmente as 10 maiores plantas existentes. Em seguida, consideram-se todas as plantas identificadas no mercado internacional segundo algumas estatísticas que permitem deduzir uma faixa de escala dita competitiva. Finalmente, consideram-se os projetos anunciados ao lado das plantas existentes, o que permite perceber as tendências de evolução das escalas das plantas.

Quanto à concentração de mercado, o estudo é feito utilizando os índices C4 e C8 de forma aproximada, já que os dados utilizados referem-se às capacidades instaladas dos produtores e não às quantidades efetivamente produzidas e vendidas. Se a indústria tiver mantido níveis de utilização das capacidades aproximadamente iguais, os resultados obtidos podem ser considerados bastante próximos dos que seriam obtidos pelo cálculo habitual.

#### **4.7 CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO DE SWITCH USE DOS INPUTS E/OU OUTPUTS**

Para que o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs* seja calculado primeiramente deve-se calcular o valor de uma planta de processamento de petróleo leve/pesado

sem flexibilidade, ou seja, calcular o valor de uma planta que somente utilize um tipo de *input* e que somente possua uma combinação possível de produção.

O próximo passo para o cálculo do valor da flexibilidade **só** de *input* é calcular o valor de uma planta que possa utilizar como matéria-prima tanto o GN quanto o OP e que só possua uma combinação de produção. O valor da opção de *switch use* dos *inputs* será a diferença entre o valor da planta com flexibilidade e o valor da planta sem flexibilidade. Este valor representa o quanto o investidor estaria disposto a pagar para possuir uma planta com essa flexibilidade.

Para calcular o valor da opção de *switch use* **só** dos *outputs* o processo é semelhante, a única diferença encontra-se no fato de que a flexibilidade será na saída. Ou seja, deve-se calcular o valor de uma planta que opera somente com um tipo de *input* (GN) e possua mais de uma combinação possível de produção. O valor da opção de *switch use* dos *outputs* será a diferença entre valor da planta com flexibilidade e o valor da planta sem flexibilidade. Neste caso o valor da opção irá representar o quanto o investidor estaria disposto a investir para que a planta tivesse a flexibilidade de *output*.

Nos casos citados acima foi feita um apreçamento da opção de *switch use* ou dos *inputs* ou dos *outputs*. Porém também pode existir uma planta que possua ambas as flexibilidades, ou seja, o investidor poderá escolher a cada trimestre o insumo que tiver o menor custo e a combinação de produção que tiver a maior receita. O valor desta planta menos o valor da planta sem flexibilidade representará o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e *outputs* ao mesmo tempo. Que neste caso representaria o quanto valeria a pena investir para que a planta possua ambas as flexibilidades. Em ambos os casos, opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*, as opções são do tipo européias, pois só podem ser exercidas a cada trimestre. Um dado importante na análise de uma opção diz respeito à taxa de desconto que deve ser usada no seu apreçamento. O risco de uma opção (opção de *switch use* dos *inputs* e/ou dos *outputs*) escrita sobre um ativo básico está vinculado ao risco deste, porém

não é igual. Essa é uma questão de grande importância, pois a taxa de desconto utilizada pela análise clássica no cálculo do VPL do projeto (que é representativa do seu risco e da sua estrutura de capital) não pode ser utilizada no cálculo do valor da opção.

Em resumo, a taxa de desconto da opção não é igual à taxa de desconto do ativo básico. Uma maneira de contornar este problema é o método da neutralidade ao risco, onde se penaliza o valor esperado dos preços subtraindo-se um prêmio de risco de sua tendência. Com isso pode-se usar a taxa livre de risco para calcular o VPL da planta e o valor das opções.

#### **4.8 .Estimação dos parâmetros (*drift* e *volatilidade*) das séries de preços dos *inputs* e *outputs***

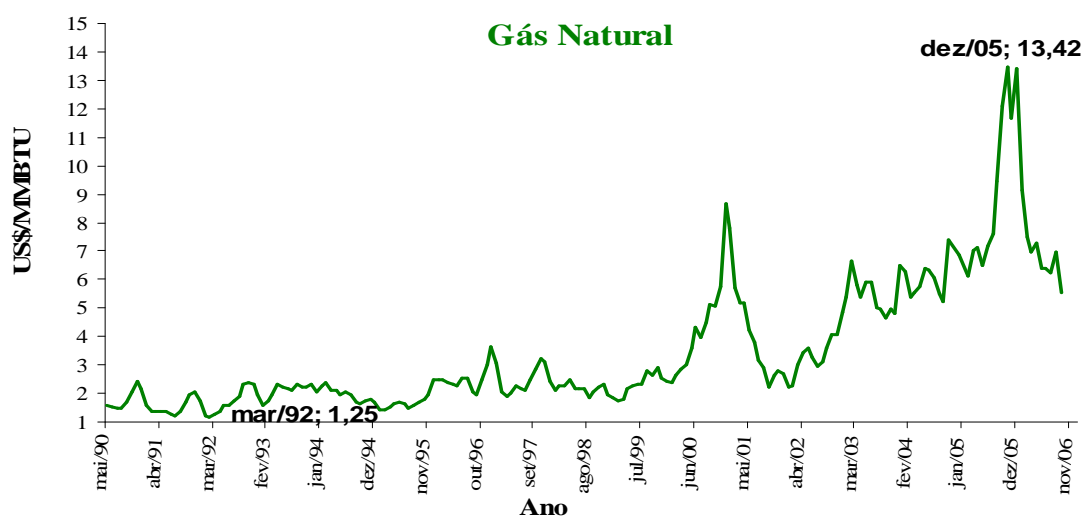
A partir da série histórica dos preços dos *inputs* e *outputs* foram obtidos os parâmetros de tendência e volatilidade do processo estocástico que representa o comportamento dessas variáveis. O processo estocástico é utilizado para a obtenção de preços futuros para esses *inputs* e *outputs*, considerando as informações existentes em suas séries históricas. Esses parâmetros foram calculados para o tipo de processo estocástico utilizado nesse estudo (MGB). Tais parâmetros são aqueles que fazem com que as séries de preços calculadas a partir dos processos estocásticos mais se aproximem aos valores reais para os preços dos *inputs* e *outputs*, conhecidos através de suas séries históricas. No cálculo dos parâmetros dos processos estocástico as seguintes séries de preços foram usadas:

INPUT/OUTPUT	TAMANHO DA AMOSTRA (DADOS MENSAIS)	UNIDADE
Gás Natural	193	US\$/MMBTU
Óleo Pesado	4.868	US\$/bbl
Nafta	297	UC\$/Gal
Diesel	249	US\$/ton
Parafina	53	R\$/l
Lubrificante	54	R\$/l

**Quadro 6 - Tamanho da amostra e unidade de medida dos preços**

Fonte: Petrobrás (2007a)

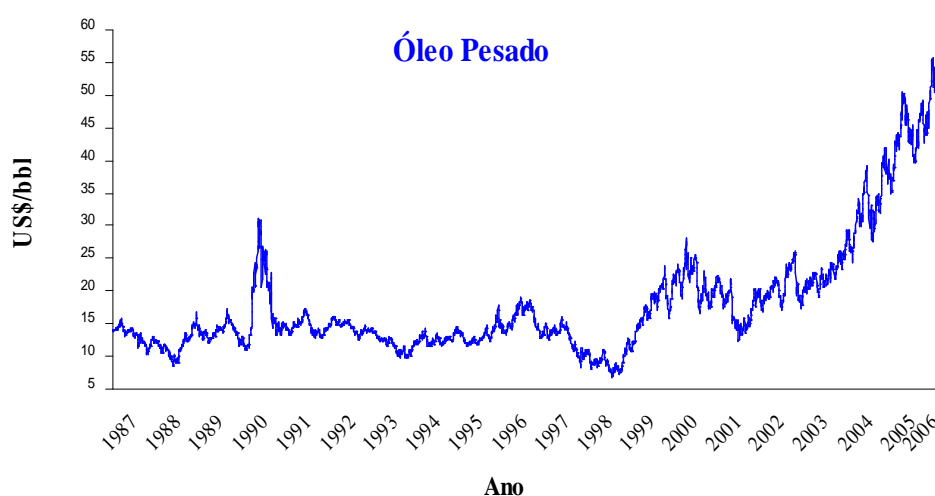
Os gráficos a seguir mostram a evolução dos preços ao longo do tempo. A série do Gás Natural apresenta dados mensais (a unidade dos preços é US\$/MMBTU) e compreende o seguinte período: maio de 1990 até setembro de 2006. Nesse caso o número de dados usados foi de 195. A figura a seguir representa a evolução dos preços nesse período. Onde: MM: milhão e UC\$: centavos de dólar



**Gráfico 19 - Evolução da série de preços do GN**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O maior preço que o GN alcançou no período estudado foi de 13,42 US\$/MMBTU e ocorreu em dezembro de 2005, o menor preço que ele obteve foi de 1,25 US\$/MMBTU e ocorreu em março de 1992. A série usada para modelar o preço do Óleo Pesado é a única que apresenta dados diários, e por consequência é a que possui o maior tamanho de amostra. A série abrange o seguinte período: janeiro de 1982 até junho de 2006.



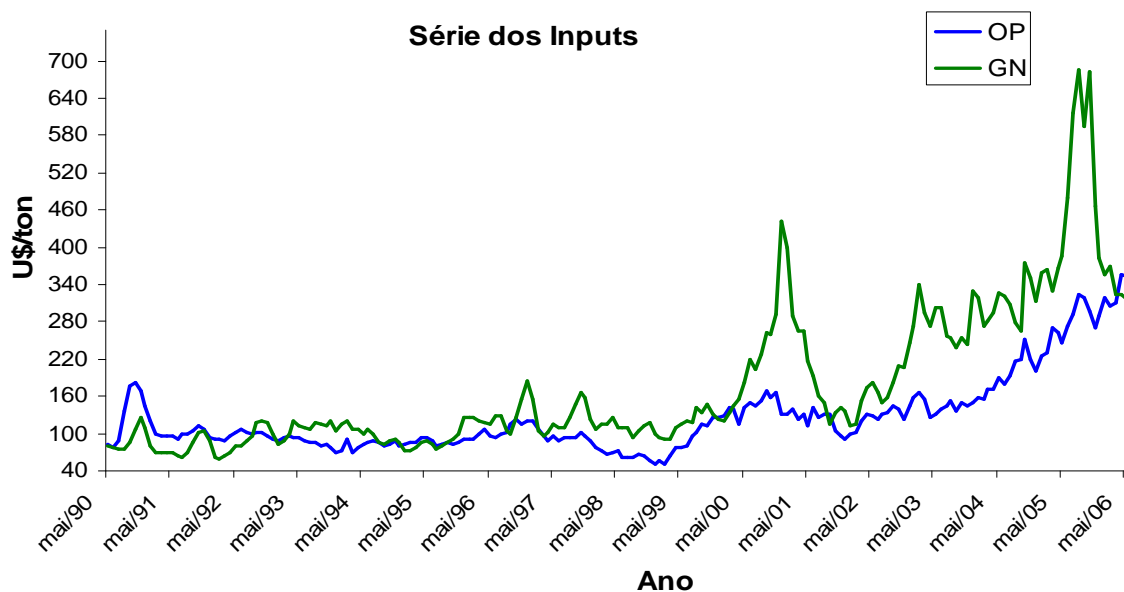
**Gráfico 20 - Evolução da série de preços do OP**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O maior preço que o OP alcançou no período estudado foi de 55,83 US\$/bbl e ocorreu em 02/05/2006, o menor preço que ele obteve foi de 6,82 US\$/bbl e ocorreu em 10/12/1998.

Com o objetivo de se ter uma visão conjunta da evolução dos preços do GN e do OP foi feito um gráfico com as duas séries de preços.





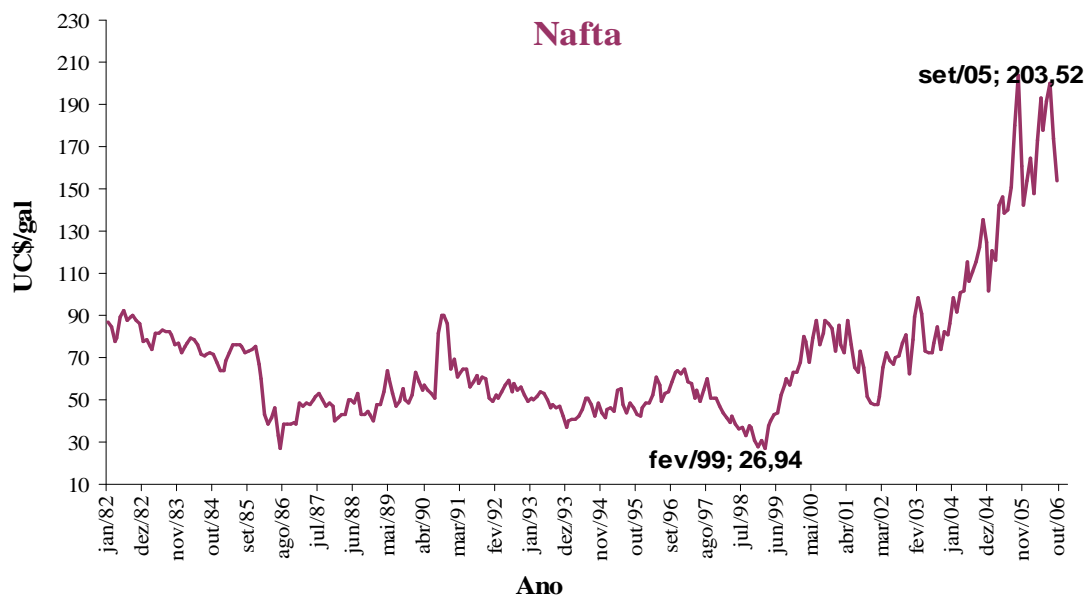
**Gráfico 21 - Evolução das séries de preços dos Inputs**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para que o gráfico acima fosse feito foram necessárias as seguintes conversões:

- O preço do GN que estava na unidade de US\$/MMBTU para US\$/ton e
- O preço do OP que estava na unidade de US\$/bbl para US\$/ton.

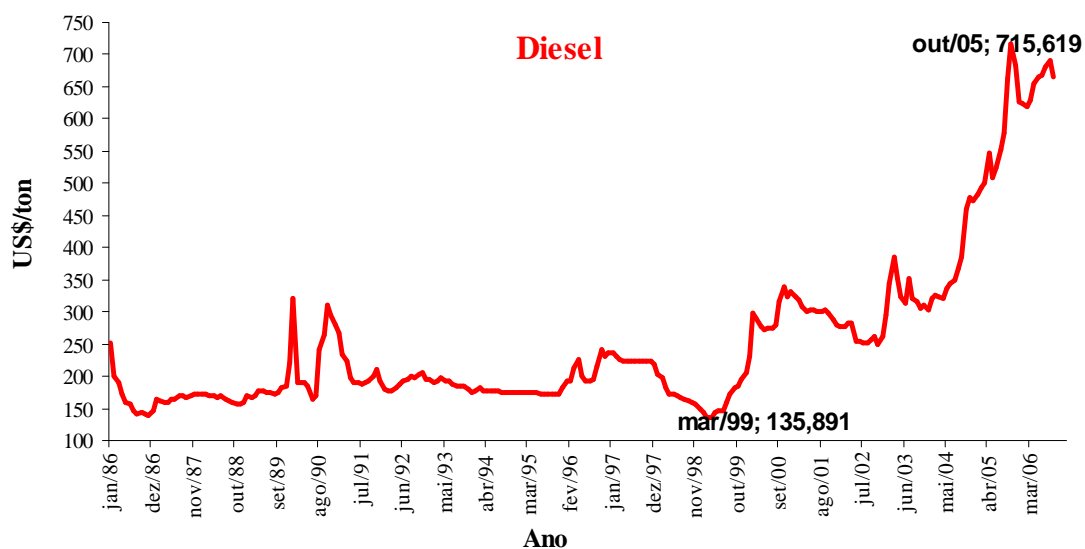
Os dados usados para modelar a série de preços da Nafta são mensais (a unidade dos preços é US\$/gal) e abrangem o seguinte período: janeiro de 1982 até setembro de 2006. Sendo assim foram usados ao todo 297 dados para calcular o *drift* ( $\alpha$ ) e a volatilidade ( $\sigma$ ) desta série. O gráfico a seguir representa a evolução dos preços nesse período.



**Gráfico 22 - Evolução dos preços da Nafta**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

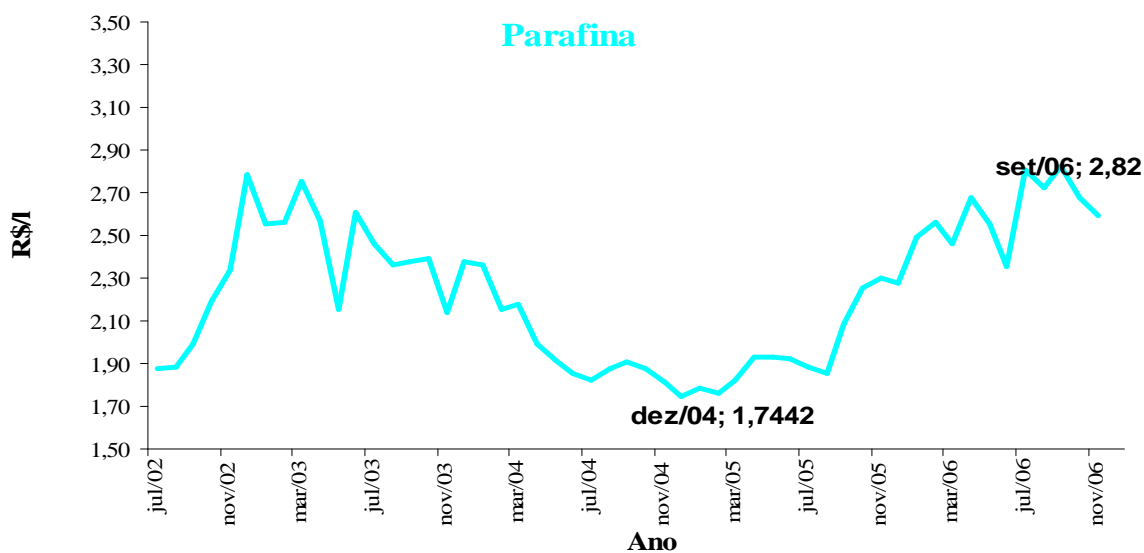
Em relação à Nafta o maior preço ocorreu em setembro de 2005 (203,25 UC\$/ gal), tendo o menor ocorrido em fevereiro de 1999 (26,94 UC\$/gal). Em relação à série de Diesel, os dados também são mensais (a unidade dos preços é por US\$/ton) e abrangem o seguinte período: janeiro de 1986 até setembro de 2006. Foram usados 249 dados para calcular seus parâmetros. O Gráfico 12 representa a evolução dos preços nesse período.



**Gráfico 23 - Evolução dos preços do Diesel.**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

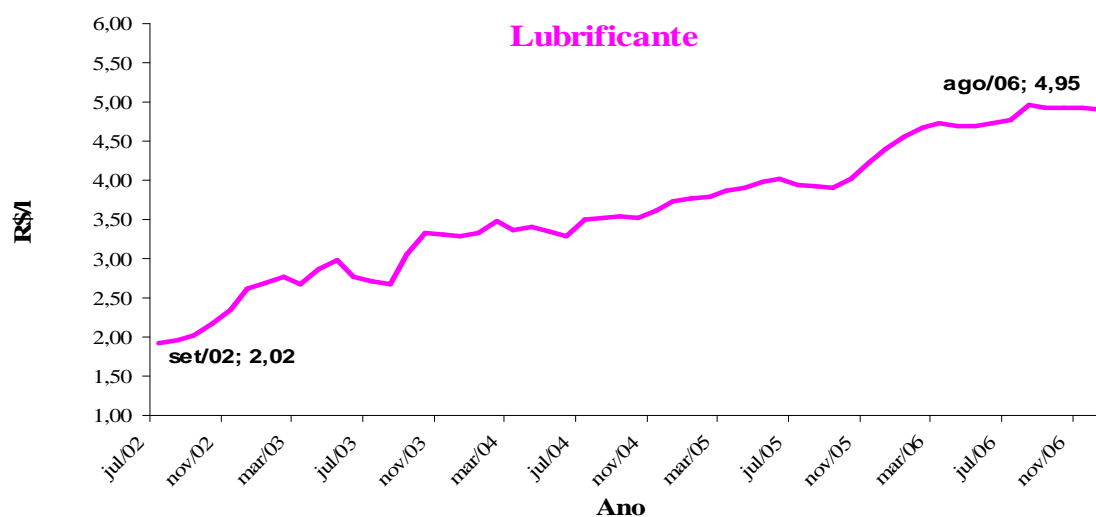
Em relação aos dados usados para modelar a série de preços da Parafina (a unidade dos preços é R\$/l).



**Gráfico 24 - Evolução dos preços da Parafina.**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

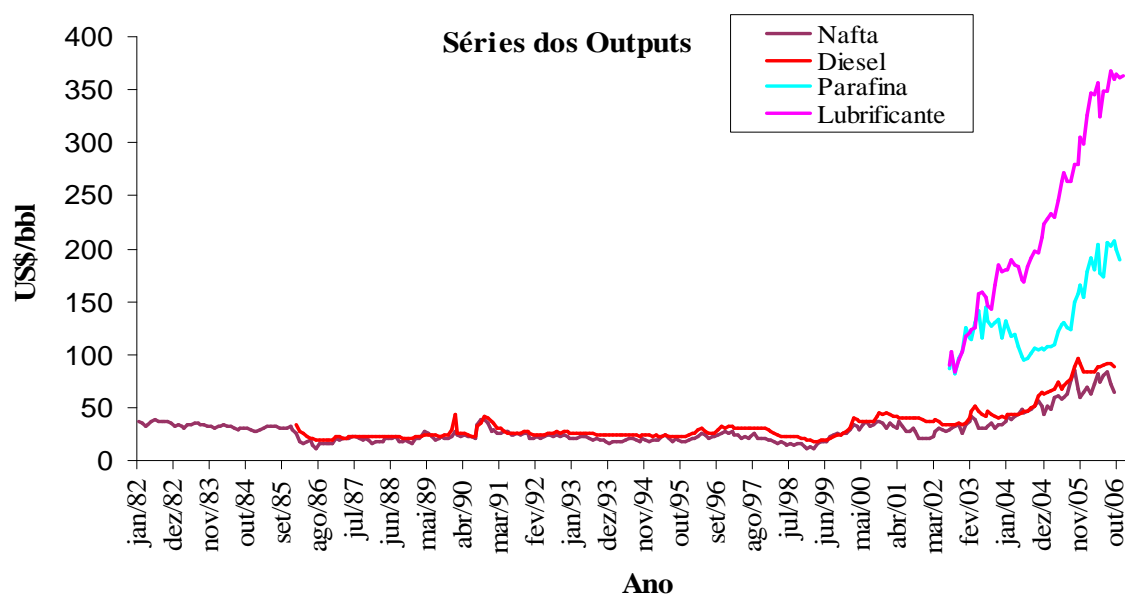
A série de preços do Lubrificante possui dados mensais (a unidade dos preços é US\$/bbl) e abrange o seguinte período: julho de 2002 até dezembro de 2006. Foram usados ao todo 54 dados.



**Gráfico 25 - Evolução dos preços do Lubrificante**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O Gráfico 15 pretende dar uma visão conjunta da evolução dos preços de todos *outputs*



**Gráfico 26 - Evolução das séries de preços dos Outputs**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O Quadro a seguir contém os parâmetros calculados para as sete séries modeladas:

<b>INPUT/ PARÂMETROS</b>	<b>DRIFT (A) (% P.A)</b>	<b>VOLATILIDADE (Σ) (% P.A)</b>
<b>Gás Natural</b>	18,46	46,23
<b>Óleo Pesado</b>	14,25 .	37,82
<b>Nafta</b>	9,95 .	36,88
<b>Diesel</b>	7,84 .	25,22
<b>Parafina</b>	23,77	33,47
<b>Lubrificante</b>	34,75	24,18

**Tabela 16 - Parâmetro do modelo MGB**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

#### 4.9 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO DOS PREÇOS DOS *INPUTS* E *OUTPUTS*

Considera-se que os preços dos *inputs* e *outputs* seguem o MGB, e como foi visto no item 4.1.4.1. a equação que descreve esse processo é a seguinte:

$$dP = \alpha P dt + \sigma P dz \quad (1)$$

O retorno de um investimento é composto por duas parcelas: uma representa o ganho de capital e a outra os dividendos distribuídos:

$$\mu = \alpha + \delta \quad (2)$$

Onde:

$\mu$  = taxa de retorno total,

$\alpha$  = taxa de ganho de capital e

$\delta$  = taxa de dividendo.

Outra forma de representar o retorno total de um investimento é dada pelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM). Segundo este modelo o retorno total possui dois componentes: um deles é

a taxa livre de risco e o outro é o prêmio de risco (parcela a mais de rendimento que o investidor ganha por estar investindo em um ativo com risco).

$$\mu = r + \beta(r_m - r) \quad (3)$$

Onde:

$r$  = taxa livre de risco,

$\pi = \beta(r_m - r)$  = prêmio de risco.

Igualando-se as equações (2) e (3), a seguinte relação é obtida:

$$\alpha - \pi = r - \delta \quad (4)$$

Onde  $(\alpha - \pi)$  e  $(r - \delta)$  são chamados de tendência neutra ao risco.

Usando a equação do retorno total de investimento representada pela equação (2), pode-se escrever a equação estocástica (1) como:

$$dP = (\mu - \delta) P dt + \sigma P dz \quad (5)$$

Para a versão neutra ao risco da equação (5), deve-se substituir a taxa de desconto ajustada ao risco  $\mu$  por uma livre de risco  $r$  para que a equação estocástica neutra ao risco seja obtida:

$$dP = (r - \delta) P dt + \sigma P dz$$

Usando transformação logarítmica e aplicando o Lema de Itô, consegue-se chegar às equações para a simulação dos preços dos *inputs* e *outputs* em ambos os formatos: real e neutro ao risco.

A real simulação de um MGB usa o *drift* real, e o preço  $P_t$  no instante futuro será dado por:

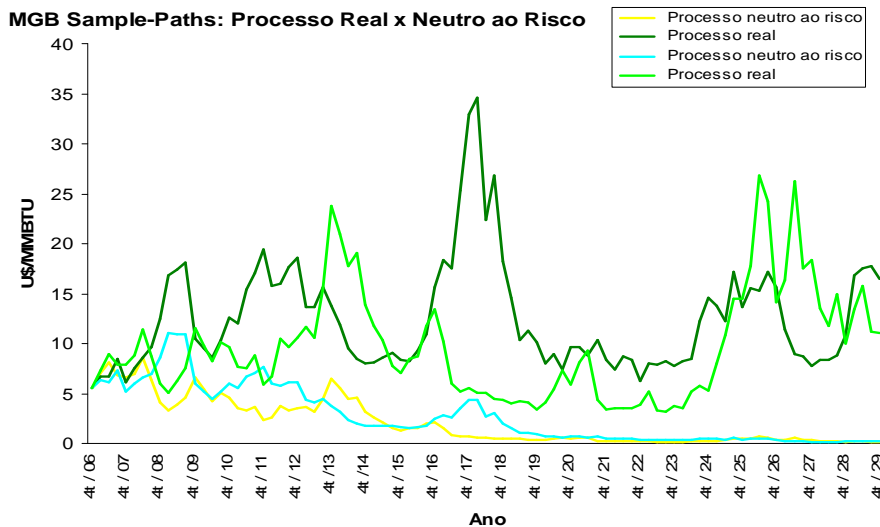
$$P_t = P_0 \text{EXP} \left\{ (\alpha - 0,5\sigma^2) \Delta t + \sigma N(0,1) \sqrt{\Delta t} \right\} \quad (6)$$

A simulação do preço real usando a equação acima será feita por amostragem de um modelo de distribuição normal  $N(0,1)$ . A partir daí obtêm-se os valores correspondentes de  $P_t$ .

Para que a simulação neutra ao risco seja feita (que é a simulação que será usada para calcular o valor das opções reais) basta substituir o *drift* real por uma tendência neutra ao risco.

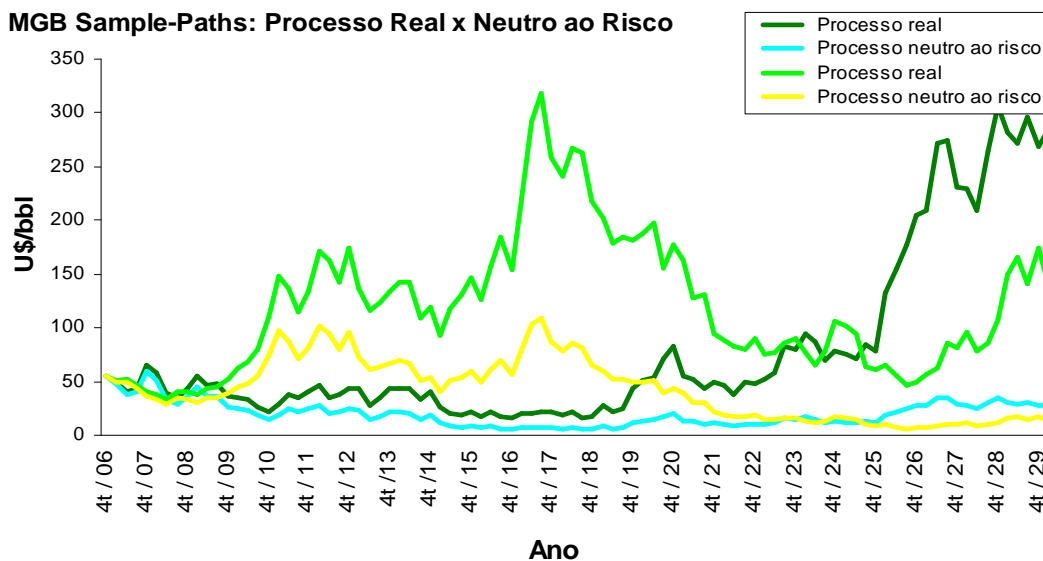
$$P_t = P_0 \text{EXP} \left\{ (r - \delta - 0,5\sigma^2) \Delta t + \sigma N(0,1) \sqrt{\Delta t} \right\} \quad (7)$$

Utilizando as equações (6) e (7) se pode calcular amostras de caminho para as séries. Serão calculadas duas amostras de caminhos para o processo real e duas amostras de caminho para o processo neutro ao risco das séries de preços dos *inputs* e dos preços da nafta e do diesel.



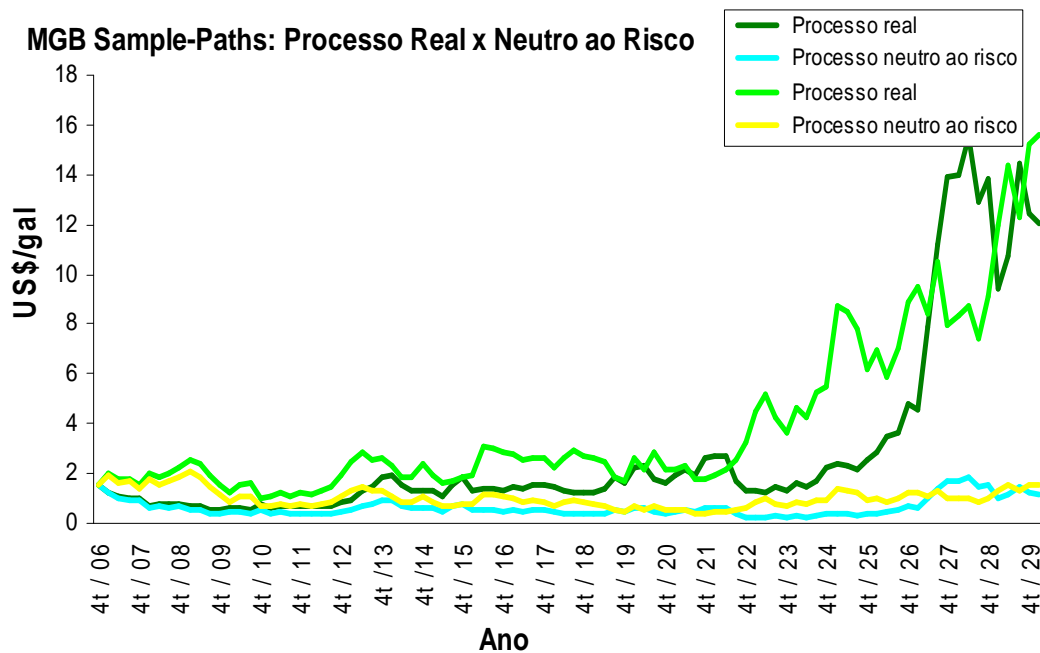
**Gráfico 27 - Sample Paths do processo real e neutro ao risco do GN**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 28 - Sample Paths do processo real e neutro ao risco do OP**

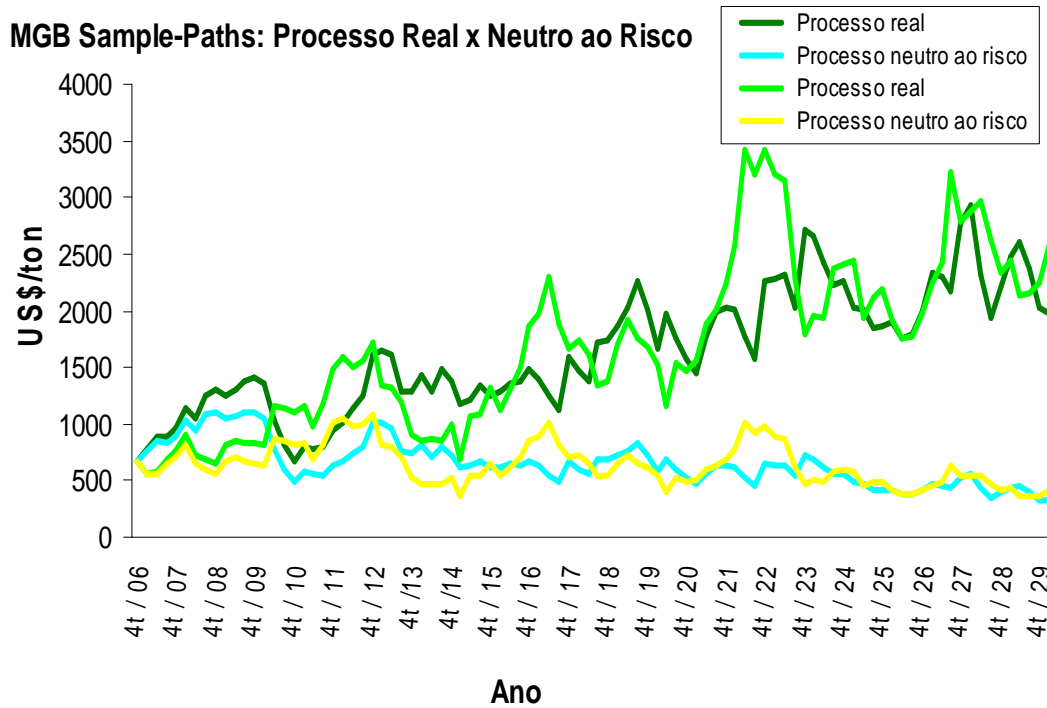
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 29 - Sample Paths do processo real e neutro ao risco da Nafta**

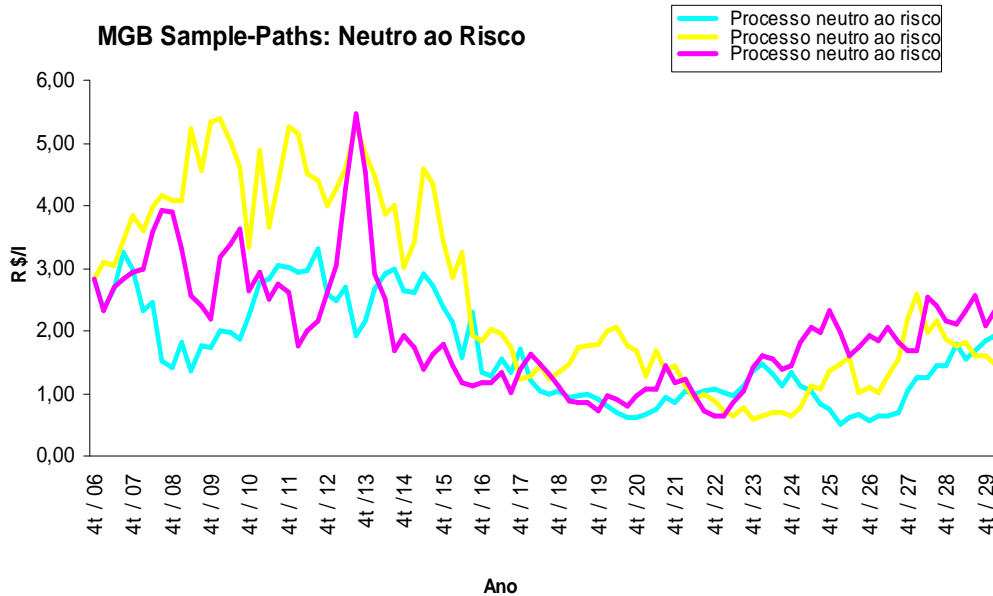
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa





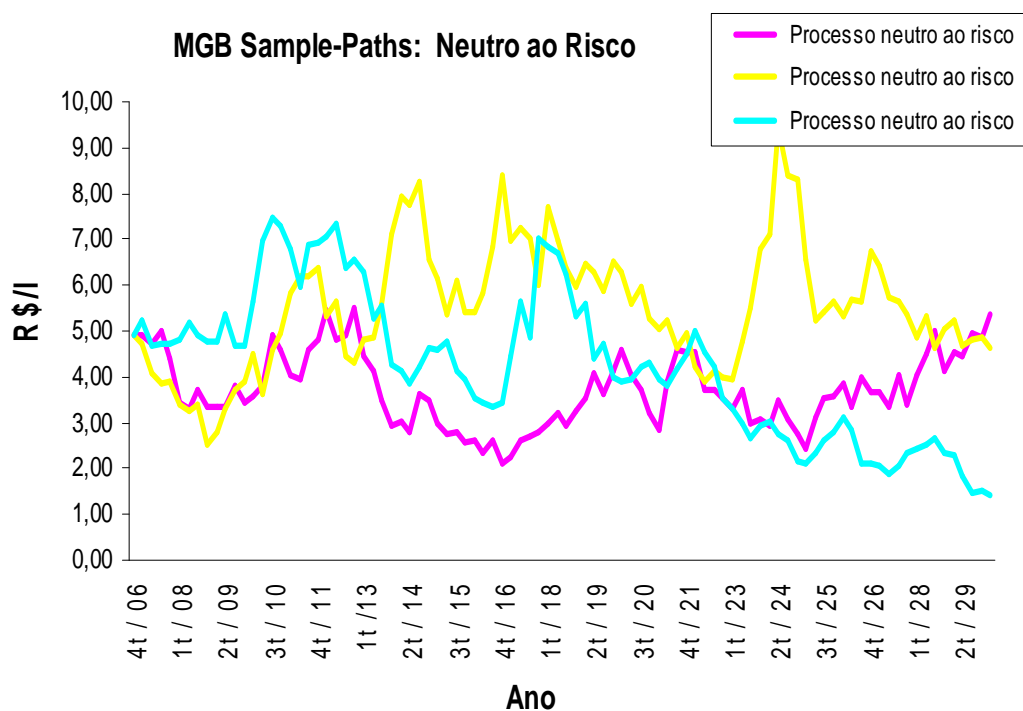
**Gráfico 30 - Sample Paths do processo real e neutro ao risco do Diesel**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 31 - Sample Paths do processo neutro ao risco da Parafina**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 32 - Sample Paths do processo neutro ao risco do Lubrificante**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

#### 4.10 CÁLCULO DO VPL SEM FLEXIBILIDADE

Os seguintes passos devem ser seguidos no cálculo do valor de uma planta GNL sem flexibilidade:

- Escolha do processo estocástico que representa o comportamento das séries de preços (MGB),
- Estimação dos parâmetros, *drift* e volatilidade, de cada série de preços,
- SMC dos preços dos insumos e produtos finais (utilizando os parâmetros achados no passo anterior),
- Cálculo dos custos (operacionais e com matéria prima) e receitas a cada trimestre e
- Trazer o fluxo de caixa obtido a cada período a valor presente e descontar o valor do investimento, achando assim o VPL.

No cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) de uma planta sem/com flexibilidade foram usados os seguintes parâmetros arbitrados:

Taxa de desconto ajustada ao risco	10% p.a.
Taxa de desconto livre de risco	5% p.a.
Taxa de dividendo	5% p.a.
$\Delta t$	0,25 anos
Vida útil do projeto	20 anos
Investimento	Feito ao longo dos 3 primeiros anos
Depreciação	Linear ao longo de 20 <sup>a</sup>
OPEX (para uma planta sem flexibilidade)	2% do CAPEX ao ano
OPEX (para uma planta com flexibilidade)	3% do CAPEX ao ano
Capacidade da planta (1)	35.000 bbl/dia
Capacidade da planta (2)	72.000 bbl/dia
Eficiência	93 %

**Tabela 17 - Dados para o cálculo do VPL**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O *Capital Expenditures* (CAPEX) para uma planta que usa como matéria prima só o GN é:

<i>Input - Gás Natural</i>	
<b>Capacidade Nominal da Planta</b>	<b>CAPEX</b>
<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>25.000 US\$/ bbl</b>
<b>72.000 bbl/dia</b>	<b>20.000 US\$/bbl</b>

**Tabela 18 - CAPEX por barril dia para uma planta que usa como *input* só o GN**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Pela quadro acima se pode verificar a existência de uma economia de escala, o CAPEX para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia é bem inferior ao CAPEX de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.

Os custos dividem-se da seguinte forma:

- Reforma - representa 60% do CAPEX,
- Fischer - Tropsch (FT) - representa 25% do CAPEX e
- Beneficiamento dos Produtos - representa 15% do CAPEX.

Sendo assim o valor total de investimento necessário e sua distribuição para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia é:

<b>INPUT - GÁS NATURAL</b>		
<b>Capacidade Nominal da Planta</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
<b>Investimento Total (US\$)</b>	<b>875.000.000</b>	<b>1.440.000.000</b>
Reforma	525.000.000	<b>864.000.000</b>
FT	218.750.000	360.000.000
Beneficiamento dos Produtos	131.250.000	216.000.000

**Quadro 7 - CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como *input* só o GN**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para o caso da matéria prima ser o OP, o CAPEX fica 25% mais caro na primeira fase. O Quadro a seguir ilustra o valor de investimento total necessário e a sua distribuição para as duas capacidades de planta.

INPUT – ÓLEO PESADO		
<b>Capacidade Nominal da Planta</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
<b>Investimento Total (US\$)</b>	<b>1.006.250.000</b>	<b>1.656.000.000</b>
Reforma	656.250.000	<b>1.080.000.000</b>
<i>Fischer - Tropsch (FT)</i>	218.750.000	360.000.000
Beneficiamento dos Produtos	131.250.000	216.000.000

**Tabela 19 - CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como *input* só o OP**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Pode-se verificar que a distribuição dos custos sofre uma pequena alteração em vista da mudança dos valores referentes as 3 fases, ficando distribuído da seguinte forma:

- Reforma - representa 65% do CAPEX,
- *Fischer - Tropsch (FT)* - representa 22% do CAPEX; e
- Beneficiamento dos Produtos - representa 13% do CAPEX..

O valor do CAPEX por barril para uma planta que usa como matéria prima só o OP:

INPUT - ÓLEO PESADO	
Capacidade Nominal da Planta	CAPEX (US\$)
<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>28.750 US\$/bbl</b>
<b>72.000 bbl/dia</b>	<b>23.000 US\$/bbl</b>

**Tabela 20 - CAPEX por barril dia para uma planta que usa como *input* só o OP**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Como o CAPEX para uma planta que usa como *input* o GN é diferente do CAPEX de uma planta que opera com Óleo Pesado, o custo operacional anual (OPEX) de cada planta também será diferente.

OPEX (anual - US\$)		
INPUT		
Capacidade Nominal da Planta	GN	OP
35.000 bbl/dia	17.500.000	20.125.000
72.000 bbl/dia	28.800.000	33.120.000

**Tabela 21 -OPEX de plantas sem flexibilidade**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

No cálculo do VPL algumas restrições técnicas têm que ser levadas em consideração. Uma dessas restrições técnicas é a que diz que no processo os seguintes produtos sempre serão fabricados: nafta e diesel (nunca se consegue produzir só parafina, ou só lubrificante, ou só diesel, ou só nafta). Sendo assim as combinações possíveis de *outputs* são as seguintes:

- Nafta e diesel;
- Nafta, diesel e parafina;
- Nafta, diesel e lubrificante; e
- Nafta, diesel, lubrificante e parafina.

Outra restrição técnica importante é o fato de que esses produtos só podem ser fabricados em determinadas combinações. As possíveis combinações são expressas pela equação abaixo:

$$W_n = \left[ \frac{(1-\alpha)^2}{2} \right] n \alpha^n$$

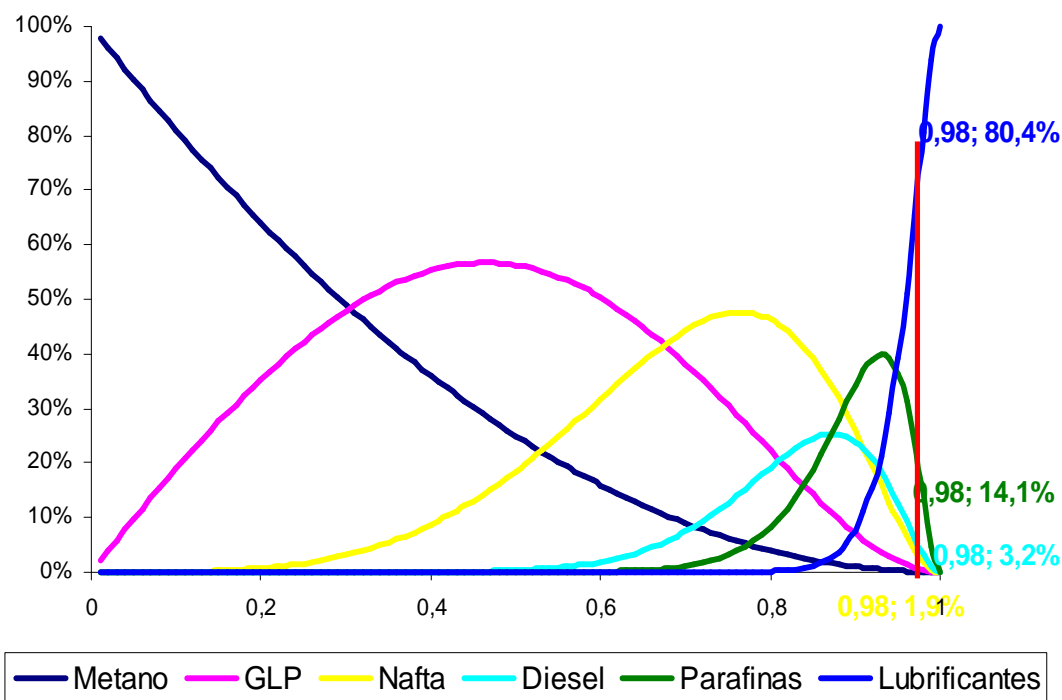
Onde:

W<sub>n</sub>: porcentagem de produção de cada output

n: número de carbonos e

$$\frac{(1-\alpha)^2}{2} = \text{grau de polimerização.}$$

Com base na equação acima se monta o próximo gráfico que expressa as possíveis combinações de produção de *output*.



**Gráfico 33 - Possíveis combinações de produção dos *outputs***  
(Fonte: Petrobras - CENPES)

Pelo Gráfico, para o caso em que  $\alpha = 0,98$  a produção de *outputs* distribui-se da seguinte forma:

- Nafta: 1,9% ,
- Diesel: 3,2% ,
- Parafina: 14,1% e
- Lubrificante: 80,4%.

A combinação acima é uma das  $n$  possíveis que existem. Para o cálculo do VPL da planta GN sem flexibilidade de *output* a combinação escolhida foi a seguinte:

<i>Output</i> / % de produção ( $\alpha=0,99$ )	<b>Nafta</b>	<b>Diesel</b>	<b>Parafina</b>	<b>Lubrificante</b>
Produção sem flexibilidade	0,5%	0,9%	4,7%	93,7%

**Tabela 22 - Porcentagem de produção de cada *output* para uma planta sem flexibilidade**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Esta combinação foi à escolhida, pois é a que possui uma maior proporção de produção de lubrificante, o *output* com o maior preço (o que pode ser verificado olhando a Quadro13).

<b>VPL DE UMA PLANTA SEM FLEXIBILIDADE DE INPUT E OUTPUT- (US\$)</b>	
<b>Capacidade Nominal da Planta</b>	<b>GN</b>
<b>35.000 bbl/dia</b>	14.273.370.000
<b>72.000 bbl/dia</b>	29.679.200.000

**Tabela 23 - VPL de plantas sem flexibilidade**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O V.P.L. da planta GN foi calculado da seguinte forma:

$$V.P.L. = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t}$$

Onde:

I= **875.000.000** para uma planta com capacidade de 35.000 bbl; ou

**1.440.000.000** para uma planta com capacidade de 72.000 bbl;

Distribuídos uniformemente ao longo dos 3 primeiros anos;

$FC_t = \text{Receita obtida no período}$ : a porcentagem de cada produto produzido ao trimestre,

para o caso de uma planta sem flexibilidade ver tabela11).

(-) Despesa total = Gasto com matéria prima :GN ou OP

(+) Gasto com OPEX:

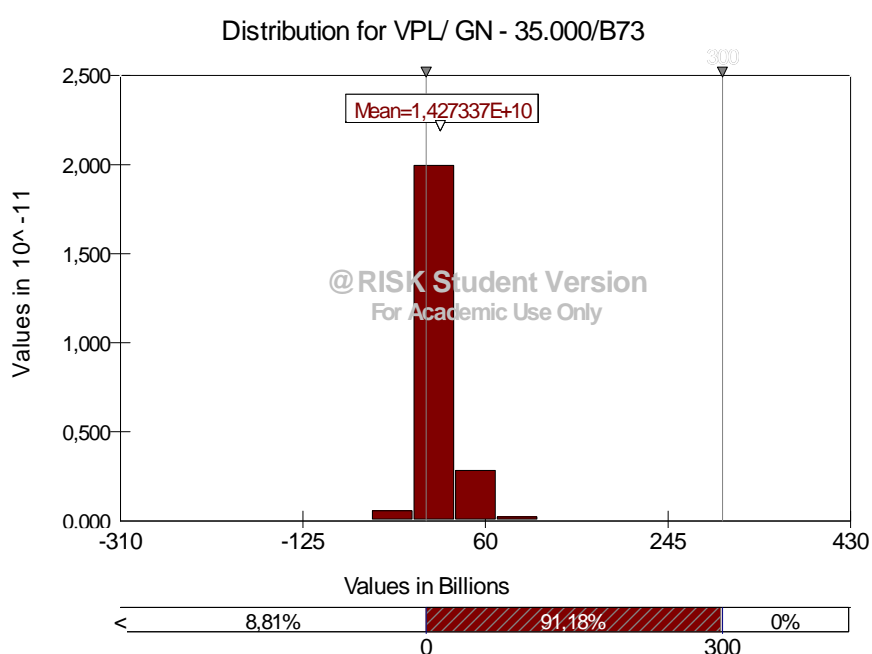


17.500.000, para uma planta com capacidade de 35.000 bbl (anual); ou

28.800.000, para uma planta com capacidade de 72.000 bbl (anual).

(+) Gasto com IR :34%

A Figura 23 a seguir ilustra a distribuição do VPL calculado para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia, foram simulados 10.000 caminhos para os preços dos *inputs* e *outputs* e apenas 8,81 % desses caminhos (881) fizeram com que o VPL apresentasse valor negativo.



**Gráfico 34 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

#### 4.11 CÁLCULO DO VPL COM FLEXIBILIDADE

Para o cálculo do valor da planta com flexibilidade ocorrerá uma pequena mudança (de acordo com a flexibilidade que a planta possuir) em relação aos passos seguidos:

- Escolha do processo estocástico que representa o comportamento das séries de preços (MGB),

- Estimação dos parâmetros, *drift* e volatilidade, de cada série de preços,
- SMC dos preços dos insumos e produtos finais (utilizando os parâmetros achados no passo anterior),
- Para o caso de só existir flexibilidade de *input*: escolha a cada trimestre de que insumo usar.
- Para o caso de só existir flexibilidade de *output*: escolha a cada trimestre de qual combinação de *output* produzir.
- E para o caso da planta possuir ambas as flexibilidades: escolha a cada trimestre de qual insumo usar e de que combinação de *output* produzir, e
- Trazer o fluxo de caixa obtido a cada período a valor presente e descontar o valor do investimento, achando assim o VPLflex.

Para o cálculo do valor da flexibilidade de *output* a cada trimestre o investidor pode escolher dentre as combinações de produção abaixo aquela maximiza o valor da receita:

OUTPUT / % DE PRODUÇÃO	NAFTA	DIESEL	PARAFINA	LUBRIFICANTE
Cenário1 ( $\alpha=0,99$ )	0,5 %	0,9 %	4,7 %	93,7 %
Cenário 2 ( $\alpha=0,98$ )	1,9 %	3,2 %	14,1 %	80,4 %
Cenário3 ( $\alpha=0,96$ )	6,60 %	9,4 %	31,%	51,2 %
Cenário4 ( $\alpha=0,95$ )	9,6 %	12,7 %	36,4 %	39 %
Cenário 5 ( $\alpha=0,94$ )	12,8 %	15,8 5	39,8 %	29,1 %

**Tabela 24 - Porcentagem de produção de cada output para uma planta com flexibilidade**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para uma planta com flexibilidade de *input* o investidor pode a cada trimestre escolher entre usar GN ou OP. Em relação aos custos operacionais a única mudança a ser feita é que agora vão ser incluídos os custos de troca de *input*. Ou seja, a cada trimestre será visto se ocorre à troca no uso dos *inputs* e caso ocorra vai ser incluído no OPEX um custo adicional (este custo adicional só será incluído no OPEX para o caso da flexibilidade de entrada, no caso da flexibilidade de saída o OPEX

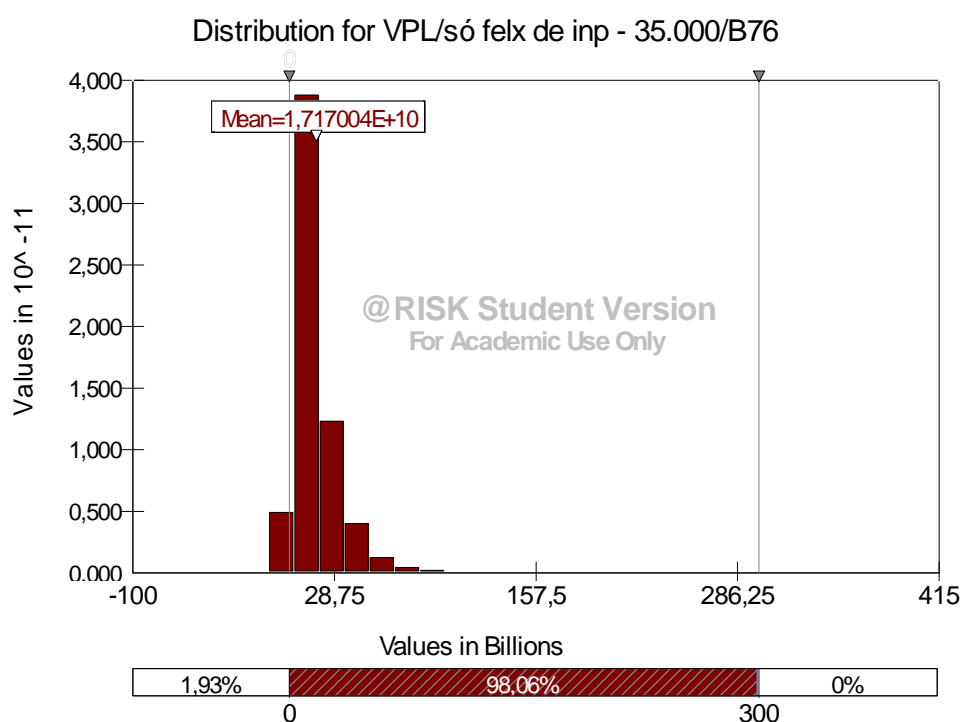
permanece o mesmo). Com base nos dados acima se calcula o valor da plantas com flexibilidade só de *input*, só de *output* e com ambas ao mesmo tempo.

POSSÍVEIS INPUTS - GN OU OP	
35.000 bbl/dia	17.170.040.000
72.000 bbl/dia	35.643.020.000

**Quadro 8 - VPL das plantas com flexibilidade só de *input***

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

A Figura 24 abaixo mostra a distribuição do VPL com flexibilidade só de *input*, novamente foram simulados 10.000 caminhos para os preços dos *inputs* e *outputs*,



**Gráfico 35 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *input* e sem correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Observando as Figuras 23 e 24 é possível verificar que houve uma redução em relação à porcentagem correspondente ao número de VPLs que tiveram valor negativo. Enquanto que no VPL

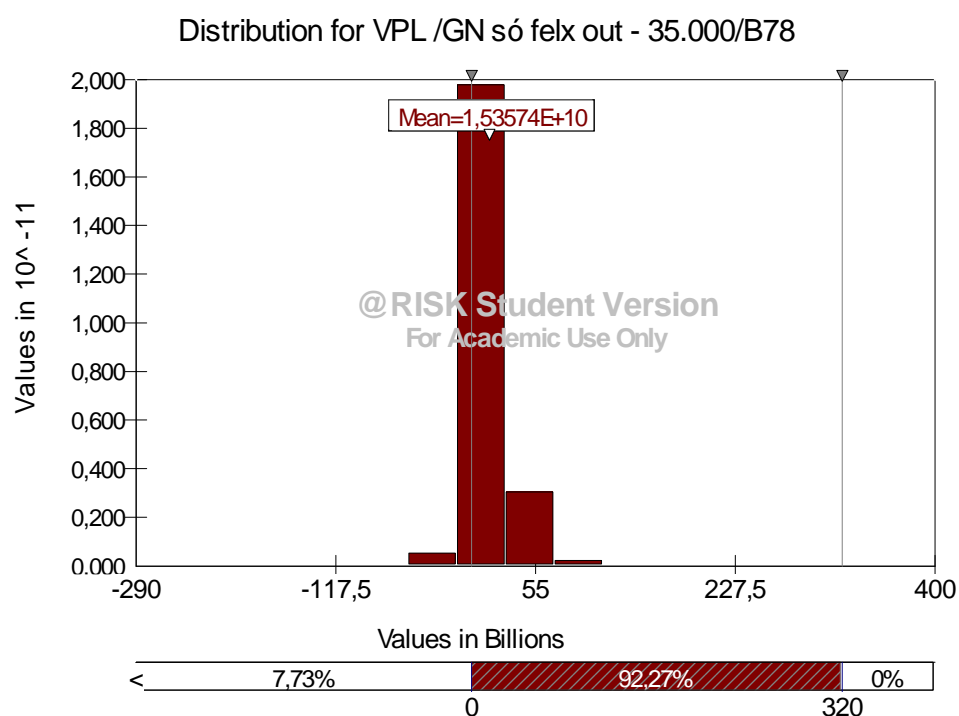
sem flexibilidade essa porcentagem correspondia a 8,81 %, no caso com flexibilidade ela passa para 1,93% (somente 193 caminhos dos 10.000 simulados para os preços dos *inputs* e *outputs* fizeram com que o VPL apresentasse valor negativo).

A seguir será calculado o valor das plantas só com flexibilidade de *output*:

CAPACIDADE NOMINAL DA PLANTA	VPL (US\$)
35.000 bbl/dia	15.357.400.000
72.000 bbl/dia	31.909.210.000

**Quadro 9 - VPL das plantas com flexibilidade só de *output***

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 36 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *output* e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

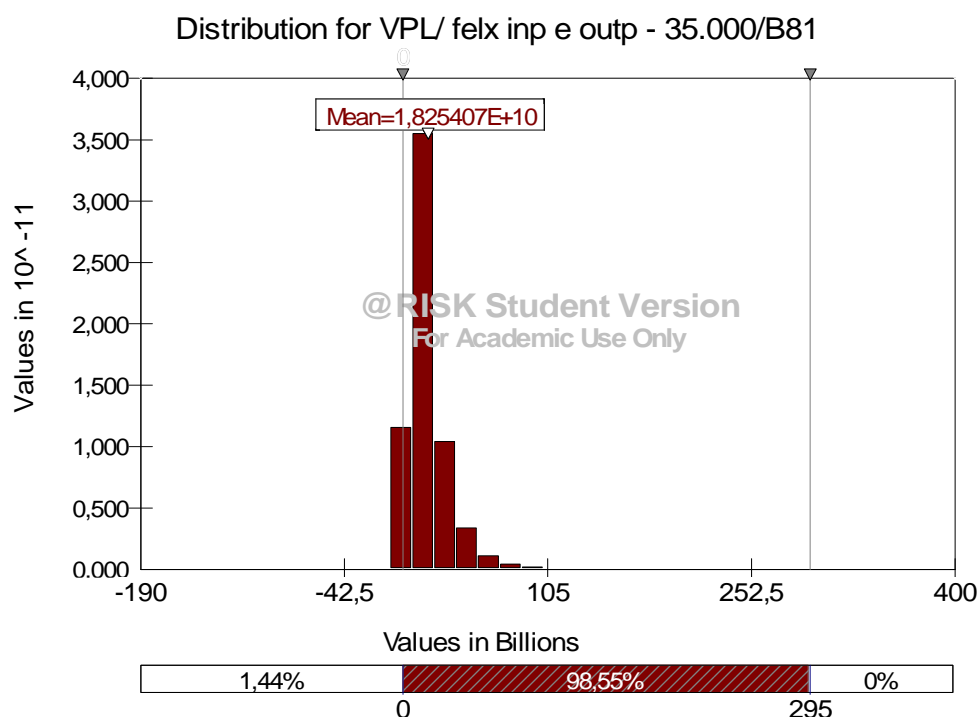
Comparando as Figuras 23 e 25, percebe-se que mais uma vez ocorreu uma redução dos VPLs que apresentaram valores negativos, o que justifica-se pelo fato de que com a presença da flexibilidade as perdas são minimizadas e os ganhos maximizados.

O último cenário é o que possui ambas as flexibilidades, é uma planta que a cada período vai escolher entre que *input* usar e que combinação de *output* produzir.

CAPACIDADE NOMINAL DA PLANTA	VPL (US\$)
35.000 bbl/dia	18.254.070.000
72.000 bbl/dia	37.873.030.000

**Tabela 25 - VPL das plantas com flexibilidade de *input* e *output***

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa



**Gráfico 37 - Distribuição do VPL com flexibilidade de *input* e *output* e sem correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O último cenário estudado é o que possui a menor porcentagem de VPL com valores negativos. Dos 10.000 caminhos simulados para os preços dos *inputs* e *outputs* somente 1,44 % (144) fizeram com que o VPL ficasse com valor negativo.

Comparando as Figuras 23, 24, 25 e 26, verifica-se que o maior percentual de VPLs com valores negativos ocorreu no cenário aonde não existia flexibilidade alguma (7.16), e conforme

foram sendo introduzidas estas flexibilidades essa porcentagem foi diminuindo. O cenário aonde se verificou a menor porcentagem de VPLs negativos ocorreu no VPL com flexibilidade de *input* e *output*.

#### 4.12 VALOR DA OPÇÃO DE SWITCH USE DOS INPUTS E/OU OUTPUTS

Para calcular o valor da flexibilidade só de *input* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade só de *input* o VPL sem flexibilidade.

Em relação ao cálculo do valor de opção de *switch use* só dos *outputs* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade só de *output* o VPL sem flexibilidade. Por fim, para calcular o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e dos *outputs* deve-se subtrair do VPL com flexibilidade de *input* e *output* o VPL sem flexibilidade.

VALOR DA OPÇÃO (US\$)	35.000 BBL/DIA	72.000 BBL/DIA
<i>Switch use</i> dos <i>inputs</i>	2.896.670.000	5.963.820.000
<i>Switch use</i> dos <i>outputs</i>	1.084.030.000	2.230.010.000
<i>Switch use</i> dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	3.980.700.000	8.193.830.000

**Quadro 10 - Valor da opção de *switch* só dos *inputs*, só dos *outputs* e dos *inputs* e *outputs***

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Os valores das opções de *switch* representam até quanto o investidor estaria disposto a investir para obter uma planta com essa flexibilidade, outra questão de grande importância é o gasto extra (em relação à planta sem flexibilidade alguma) que ele teria para construir essa planta. Caso o valor que a opção (de *switch use* só dos *inputs*, ou só dos *outputs* ou de ambas) agrega a planta seja maior do que o custo necessário para implementá-la é válido a construção da planta flexível, caso contrário não.

De acordo com a Quadro acima, o investidor estaria disposto a gastar US\$ 2.896.670.000 para ter uma planta que opere com GN e OP, e estaria disposto a gastar até US\$1.084.030.000 para ter a possibilidade de a cada trimestre escolher qual a combinação de nafta, diesel, parafina e lubrificante produzir (para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia).O cálculo do gasto extra que a Petrobrás teria na construção da planta flexível é feito da seguinte forma:

-Primeiro calcula-se o investimento necessário para a construção de uma planta sem flexibilidade (US\$ 875.000.000 distribuídos entre 3 anos, para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia) e os custos trimestrais com OPEX (US\$ 4.375.000);

-Em seguida calcula-se o investimento extra necessário para a construção da parte referente à reforma do OP;

-Por fim, subtraem-se os custos com OPEX da planta flexível, dos custos com OPEX da planta sem flexibilidade. Trazendo essa diferença a valor presente e somando o gasto adicional referente à reforma do OP obtêm-se o custo extra necessário à construção de uma planta com opção de *switch use* dos *inputs*.

No cálculo CAPEX da planta com flexibilidade a parte referente à Reforma/Beneficiamento deve ser duplicada, e a partir deste achar no novo OPEX (que para uma planta com flexibilidade será igual a 3 % do CAPEX).

<b>PLANTA FLEXÍVEL</b>		
<b>CAPACIDADE NOMINAL DA PLANTA</b>	<b>CAPEX (US\$)</b>	<b>OPEX (ANUAL -US\$)</b>
<b>35.000 bbl/dia</b>	1.531.250.000	61.250.000
<b>72.000 bbl/dia</b>	2.520.000.000	100.800.000

**Quadro 11 - CAPEX e OPEX para uma planta com flexibilidade**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

O Quadro 21 a seguir ilustra os custos extras necessários para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia.

<b>CUSTO EXTRA (US\$)</b>	<b>35.000 BBL/DIA</b>	<b>72.000 BBL/DIA</b>
<i>Switch use dos inputs</i>	967.628.531	1.592.440.097

**Tabela 26 - Custos extras na construção da planta flexível**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Os custos extras do quadro dividem-se da seguinte forma, para a planta com capacidade de 35.000 bbl/dia:

-Uma parte referente ao gasto extra na construção da unidade de reforma – US\$ 656.250.000 e outra parte referente ao gasto extra com custo operacional trazido a valor presente - US\$ 311.378.531.

Para a planta com capacidade de 72.000 bbl/dia:

Uma parte referente ao gasto extra na construção da unidade de reforma – US\$ 1.080.000.000 e

Uma parte referente ao gasto extra com custo operacional trazido a valor presente – US\$. 512.440.097.



Um ponto importante no cálculo do valor das opções de *switch use* são as correlações existentes entre os preços das matérias-primas e as existentes entre os preços dos produtos finais. As correlações são importantes, pois quanto maior for a correlação existente menor será o valor da flexibilidade. Esta relação ocorre pelo fato de que o valor da flexibilidade reside justamente na possibilidade do produtor poder trocar de um *input* para outro (no caso trocar de GN para OP ou vice versa) ou de uma combinação de produção para outra, conforme os preços destes variem. Caso em um período o GN aumente muito de preço o produtor pode operar a planta com OP, caso o preço do OP aumente ele pode operar como GN.

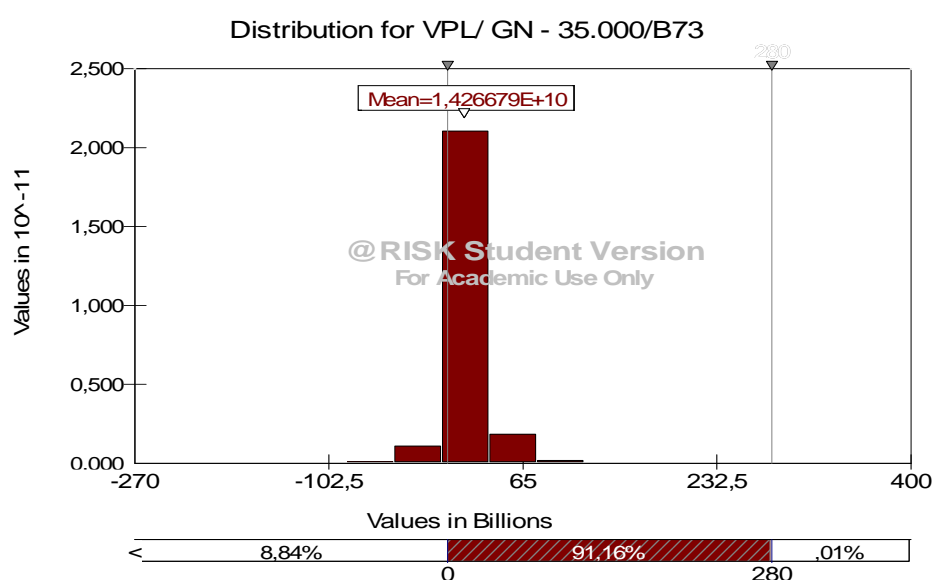
Uma vez que quando o preço do GN aumenta o preço do OP também aumenta (o que ocorre quando as séries são altamente correlacionadas), a flexibilidade de poder trocar de uma matéria prima para outra perde valor dado que ambos os preços ou estão elevados ou estão baixos. Nos cálculos dos valores das flexibilidades feitos acima o valor da correlação entre os *inputs* não foi levado em conta. Porém, devido a sua grande importância para o cálculo do valor da flexibilidade, novas contas levando em esse valor serão feitas. O valor da correlação entre o GN e o OP é da ordem de 0,836, o que indica que os preços desses produtos variam na maioria das vezes na mesma direção.

VPL (US\$)	CORRELAÇÃO ENTRE GN E OP			
	-0,5	0	0,836 (real)	1
VPL s/ flex.	14.297.220.000	14.273.370.000	14.266.790.000	14.391.170.000
VPL c/ flex. <i>Input</i>	17.759.100.000	17.170.040.000	15.065.490.000	14.408.700.000
VPL c/ flex. <i>Input</i> e <i>Output</i>	18.843.130.000	18.254.070.000	16.149.520.000	15.492.730.000

**Quadro 12 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

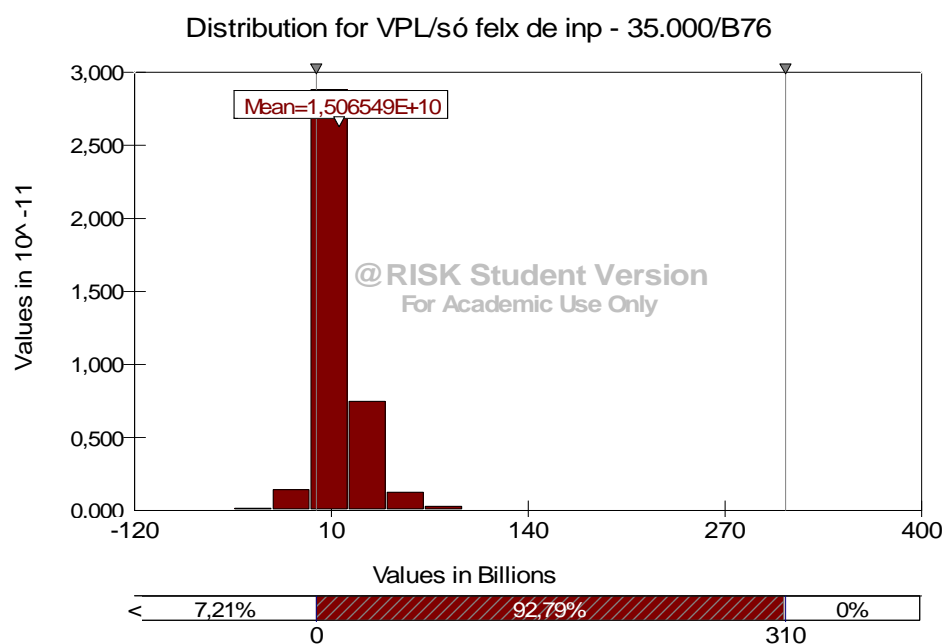
Como pode ser visto pela Quadro 22 o valor do VPL sem flexibilidade quase não varia conforme mudamos a correlação entre os *inputs*, o mesmo não ocorre com o valor do VPL com flexibilidade de *input*, que conforme a correlação aumenta diminui como era de se esperar. Assim como foi feito para o caso em que não foi levada em consideração a correlação, também serão vistos os gráficos com as distribuições do VPL com e sem flexibilidade de *input* e *output*.



**Gráfico 38 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte : Gerado a partir dos dados da pesquisa

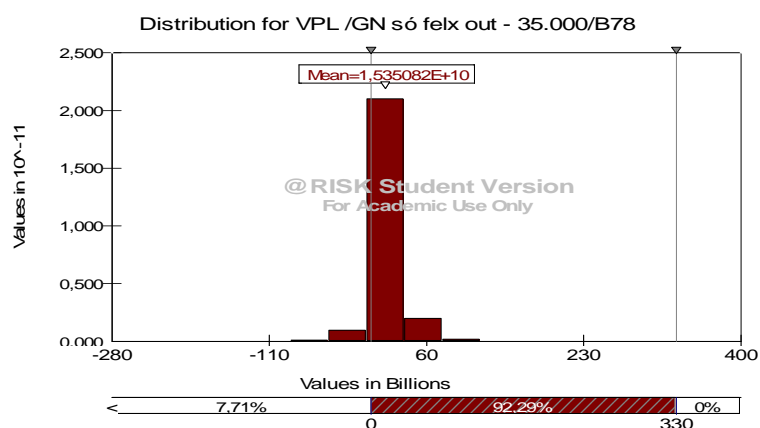
Comparando as Figuras 23 e 25 pode-se verificar que a proporção de VPLs com valores negativos para a planta sem flexibilidade quase não mudou, o que era de se esperar. Para o caso em que a correlação não foi levada em consideração essa proporção é de 8,81% e para o caso em que está foi considerada é de 8,84%. A Figura abaixo ilustra a distribuição do VPL com flexibilidade só de *input*.



**Gráfico 39 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *input* e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte : Gerado a partir dos dados da pesquisa

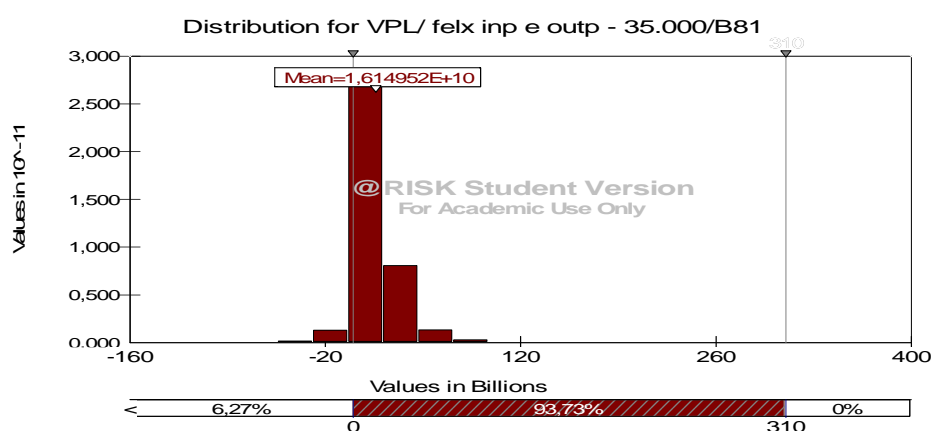
Comparando-se as Figuras 25 e 27, verifica-se que a porcentagem de VPL com flexibilidade só de *input* que tiveram valores negativos sofreu um aumento significativo. Isso se deve ao fato de que na Figura 38 acima as correlações entre os *inputs* estão sendo levadas em consideração e com isso o valor desta flexibilidade se reduz.



**Gráfico 40 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Uma vez que não estão sendo levadas em consideração às flexibilidades entre os *outputs* espera-se que a porcentagem de VPL com flexibilidade só de *output* que apresentaram valores negativos quase não varie. É o que pode ser verificado comparando a Figura 25 com a Figura 29. A porcentagem de VPL com valores negativos para o caso sem correlação entre os *inputs* foi de 7,73% e no caso com correlação foi de 7,71%. O último caso é o que possui ambas as flexibilidades ao mesmo tempo.



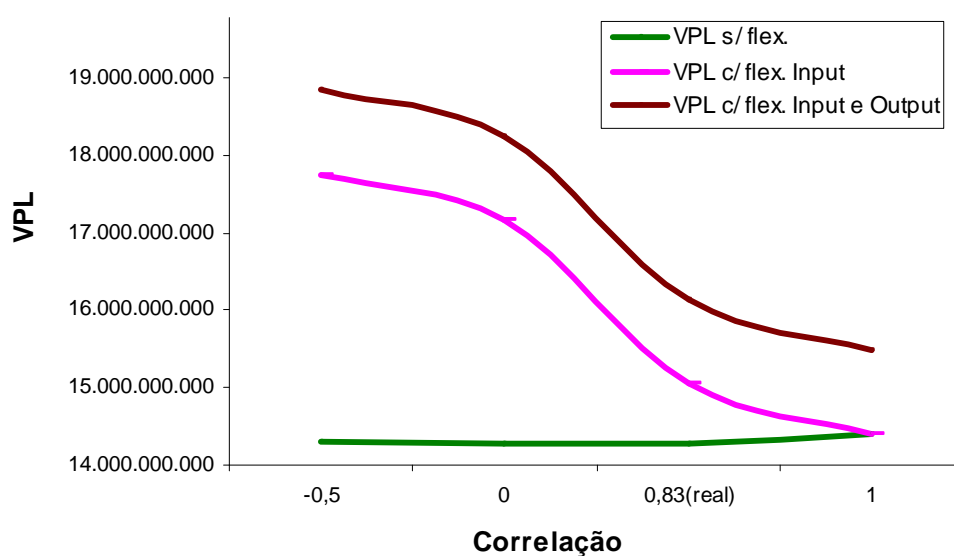
**Gráfico 41 - Distribuição do VPL com flexibilidade de *input* e *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**  
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

VALOR DAS OPÇÕES DE SWITCH USE (US\$)	CORRELAÇÃO ENTRE GN E OP			
	-0,5	0	0,836 (real)	1
Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i>	3.461.880.000	2.896.670.000	798.700.000	17.530.000
Opção de <i>switch use</i> dos <i>outputs</i>	1.084.030.000	1.084.030.000	1.084.030.000	1.084.030.000
Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i> + <i>output</i>	4.545.910.000	3.980.700.000	1.882.730.000	1.101.560.000

**Quadro 13 - Valor da flexibilidade dos *inputs* para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Pode-se verificar pela análise da Quadro 23 que o valor da flexibilidade de *output* não varia (dado que as correlações entre os *outputs* não estão sendo levadas em consideração), o mesmo não ocorre com o valor da flexibilidade de *input* que reduz conforme a correlação entre o GN e o OP aumenta.



**Gráfico 42 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Os dados da Figura 30 estão representados no Quadro 24, o valor do VPL com e sem flexibilidade de *input* no caso dos preços apresentarem uma correlação igual a 1 são quase iguais, ou seja, o valor da flexibilidade de *inputs* é a menor possível.

As mesmas análises podem ser feitas para uma planta com capacidade de 72.000 bbl.

VPL (US\$)	CORRELAÇÃO ENTRE GN E OP			
	-0,5	0	0,836 (real)	1
VPL s/ flex.	<b>30.695.950.000</b>	<b>29.679.200.000</b>	<b>29.665.680.000</b>	<b>29.921.540.000</b>
VPL c/ flex. <i>Input</i>	<b>37.819.050.000</b>	<b>35.643.020.000</b>	<b>31.313.490.000</b>	<b>29.962.180.000</b>
VPL c/ flex. <i>Input e Output</i>	<b>40.049.050.000</b>	<b>37.873.030.000</b>	<b>33.543.490.000</b>	<b>32.192.180.000</b>

**Quadro 14 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

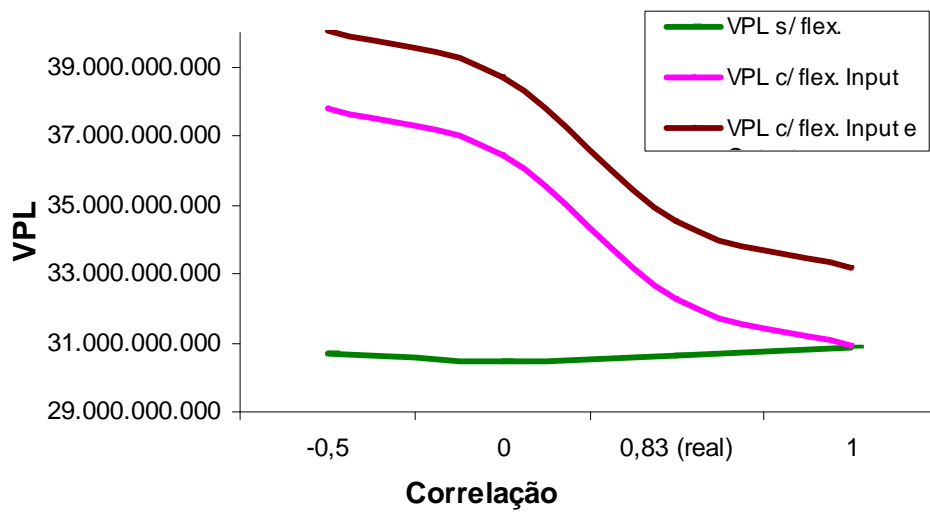
As análises feitas para o Quadro 24 são similares às feitas para o Quadro 25. O VPL da planta sem flexibilidade quase não varia e conforme a correlação entre os *inputs* vai aumentando o valor da opção de *switch use* dos *inputs* vai diminuindo.

VALOR DAS OPÇÕES DE SWITCH USE (US\$)	CORRELAÇÃO ENTRE GN E OP			
	-0,5	0	0,836 (real)	1
Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i>	<b>7.123.100.000</b>	<b>5.963.820.000</b>	<b>1.647.810.000</b>	<b>40.640.000</b>
Opção de <i>switch use</i> dos <i>outputs</i>	<b>2.230.000.000</b>	<b>2.230.010.000</b>	<b>2.230.000.000</b>	<b>2.230.010.000</b>
Opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs + output</i>	<b>9.353.100.000</b>	<b>8.193.830.000</b>	<b>3.877.810.000</b>	<b>2.270.640.000</b>

**Quadro 15 - Valor da flexibilidade dos *inputs* para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

A Figura abaixo ilustra os dados do Quadro 25. Para o caso da correlação entre os *inputs* ser 1 o valor dos VPL com e sem flexibilidade de *inputs* convergem.



**Gráfico 43 - VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia**  
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

## 5 CONCLUSÕES

O trabalho deixa claro a superioridade da Teoria de Opções Reais como ferramenta de decisão sobre investimentos em relação ao tradicional VPL, na medida em que aquela considera variáveis importantes tais como a incerteza, a irreversibilidade, o próprio risco do negócio e garante flexibilidade. Na presença de incerteza e flexibilidades, o investimento/abandono imediato requer um prêmio maior do que o valor da espera pela evolução da incerteza. Ao adiar a decisão de investimento, o decisor renuncia ao retorno mais próximo em troca da opção de investir em um momento seguinte. Contudo, adiar só tem valor caso haja uma probabilidade positiva de uma perda irreversível, situação em que o investimento não deve ser feito imediatamente.

Ademais, observou-se que o MGB pode ser uma aproximação razoável para a modelagem do preço do ativo subjacente a depender dos parâmetros considerados. A simulação, a partir da simulação de Monte Carlo, aponta vantagens em relação à análise clássica, na medida em que identificouse as principais OR existentes no projeto, fazendo desta forma uma análise de investimento precisa e realista.

O Modelo de Negócios tem o mérito de ser de fácil aplicação, o que pode contribuir muito para a implantação da cultura de tomada de decisões com OR. A priorização de investimentos com a elevação da volatilidade em um conjunto de opções de investimento onde os ativos subjacentes dependem de uma mesma variável estocástica é um critério superior em relação aos critérios que se baseiam exclusivamente no fluxo de caixa sem flexibilidades. A elevação da volatilidade implica em selecionar os projetos mais robustos economicamente, em decorrência da elevação do gatilho para o investimento imediato.

Conforme o investidor recebe informações novas (que podem ser tanto sobre a demanda de determinado produto, como sobre os preços das matérias primas, sobre os preços dos produtos



finais) ao longo da vida útil do projeto, ele adapta suas ações de modo a maximizar seus ganhos e minimizar suas perdas. A análise de investimento que leva em conta o fato do investidor agir às informações que recebe é a que usa a Teoria as Opções Reais.

Ao longo da vida útil do projeto GN o investidor obtêm informações novas acerca dos preços dos *inputs* e dos preços dos *outputs*, e a cada trimestre ele pode utilizando essas informações, minimizar seus custos (escolhendo que insumo utilizar, ou seja, o que tiver menor preço) e maximizar suas receitas (escolhendo que combinação de *outputs* produzir, ou seja, a que tiver maior receita). O primeiro caso representa a opção real de troca de uso das matérias primas e o segundo a opção real de troca de uso dos *outputs*. O fato do investidor ter a possibilidade de fazer essas escolhas a cada período agrega valor ao projeto, e uma análise clássica não seria capaz de capturar o valor que essas flexibilidades agregam.

Foram estudadas três possibilidades:

- Na primeira o investidor só poderia escolher a cada período que insumo usar,
- Na segunda ele só poderia escolher a cada período que combinação de *outputs* produzir e;
- Na terceira ele poderia escolher a cada período que insumo usar e que combinação de *outputs* produzir.

Na primeira possibilidade calculou-se o valor da opção de *switch use* só dos *inputs* para diferentes valores de correlação entre o GN e o OP ( para o caso em que a correlação é igual a -0,5; 0; 0,836 e 1 ). No caso real (correlação entre os *inputs* de 0,836) ela agrega ao projeto um valor da ordem de US\$ 798.700.000 para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia. Foi calculado também o gasto que a Petrobras teria para poder usufruir dessa flexibilidade: US\$ 967.628.531 (esse gasto adicional supõe um OPEX mais caro para uma planta com flexibilidade). Ou seja, o valor que a flexibilidade cria no projeto é menor do que o gasto necessário à sua implementação, sendo assim não é vantajosa a construção de uma planta que possa operar com dois insumos.

O mesmo não ocorre para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia, o valor da flexibilidade é US\$ 1.647.810.000, e o custo é de US\$ 1.592.440.097, ou seja, é válida a implementação de uma planta que possa usar dois insumos. No caso da planta GN só possuir a flexibilidade de *output* o valor agregado ao projeto seria de US\$ 1.084.030.000 para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e de US\$ 2.230.010.000 para uma planta que produz 72.000 bbl/dia.

A terceira possibilidade é a que possui ambas as flexibilidades, neste caso o valor agregado ao projeto para uma planta que produz 35.000 bbl/dia é de US\$ 1.882.730.000 e para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia é de US\$ 3.877.810.000.

A planta de GN sem dúvida é de grande importância para o desenvolvimento energético do país, pois é capaz de gerar energia limpa, de alavancar o mercado de GN.

Uma das sugestões de continuação deste estudo seria supor que os preços das matérias primas e dos produtos seguem processos estocásticos diferentes (no estudo feito nessa dissertação se supôs que os preços de todas as matérias primas e de todos os *outputs* seguem o mesmo processo estocástico MGB), um exemplo seria supor que o GN segue o Movimento de Reversão a Média e o Óleo Pesado o MGB.

Como a planta GN possui vários *inputs* além do GN e o OP (resíduo de vácuo, resíduo, coque de petróleo e torta da biomassa) e nesta dissertação se apreçou a opção de troca de uso entre dois *inputs*, outra sugestão para estudos futuros seria fazer uma análise que vislumbrasse a opção de troca de uso entre 3 *inputs* (a cada trimestre o investidor poderia escolher entre usar o GN, o OP e a Nafta, por exemplo).

No estudo feito foi verificado o comportamento da flexibilidade de *input* quando suas correlações variam. Outra sugestão seria verificar o que ocorre com o valor da flexibilidade de *output* quando se consideram as correlações existentes entre estes, e como varia a opção de *input* e

*output* quando se consideram as correlações existentes entre ambos. Ou seja, é uma planta na qual ainda podem ser feitas várias análises usando a teoria das opções reais.

## REFERÊNCIAS

ABIQUIM . **Relatório de atuação responsável**. São Paulo: Ed. ABIQUIM, 27p. 2004.

ABIQUIM . **Relatório de atuação responsável**. São Paulo: Ed. ABIQUIM, 31p. 2005.

ABIQUIM . **Relatório de atuação responsável**. São Paulo: Ed. ABIQUIM, 38. 2006.

ABIQUIM . **Relatório de atuação responsável**. São Paulo: Ed. ABIQUIM, 24p. 2007.

ALVES, A.C; VITAL, M.S; MOTTA, R. R. **A Simulação de Monte Carlo Aplicada a Teoria das Opções Reais**: uma ferramenta de análise de investimentos no setor gás-químico para a região do Amazonas. In XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.Foz do Iguaçu/PR. 2007.

ANTON, C. Vosloo . **Fischer–Tropsch**: a futuristic view, Sasol Technology Research and Development, PO Box 1, Sasolburg 9570, South Africa, 2000.

BACKER BALMANN, Alfons.; MUBHOFF, Oliver. Real Options and Competition: The Impact of Depreciation and Reinvestment. In: **International Annual Conference On Real Options**, 6., jan. 2008, Paphos, Cyprus. Anais eletrônicos. Disponível em:<<http://www.realoptions.org/papers2008>. Acesso em: 20 maio 2008.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Economico e Social.Disponível em:<http://www.bndes.gov.br> Acesso em 10 jun 2007.

BALARINE , P.; KULATILAKA, N.; STORCK, J. Managing information technology investments using a real-options approach. **Journal of Strategic Information Systems**, USA, 2000, ano 9, p. 39-62.

BLACK, F.; Scholes, M.: The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, nº 81, p. 637-659, 1973.

BRAGA , Luiz. **Prospecção de novos negócios**. Ed. Campus. RJ.(2007).

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. London: Unwin Hyman, 1989

BRIGHAM , H.M., HOUSTON, Northon. **Research Methods Studies**. Bélgica. 1999.

CHEMICAL MARKET ASSOCIATES, INC (2004). **Global styrenics/ PET market review**. Houston: CMAI. (Material apresentado em palestra.) Disponível em: <http://www.cmaiglobal.com>. Acessado em: 14 de set. de 2007.

CASAROTO FILHO, Nelson, KOPITTKÉ, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 9 ed. São Paulo: Atlas. 2000.

CASTRO, Pedro M. **Optimal Short-Term Scheduling of Large-Scale Multistage Batch Plants**. Submitted to Ind. Eng. Chem. Res. 2001.

CLARE, Mark. **Solving the Knowledgevalue equation (part one)**: How to estimate the value of the intangible benefits of KM. Article in Knowledge Management Review, 2002.

CARDOSO, Douglas. **O Uso da Simulação de Monte Carlo na Elaboração do Fluxo de Caixa Empresarial**: Uma Proposta Para Quantificação das Incertezas Ambientais. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, 2000.

CORRAR, J. L. O modelo econômico da empresa em condições de incerteza aplicação do método de simulação de Monte Carlo. **Caderno de Estudos**, n.8, p.1-11. São Paulo, 1993.

COPELAND, T. & V. Antikarov. **Real Options: A Practitioner's Guide**, 2001.

DANTAS, J. G. e Araujo, C. A. L. (orgs.). **Instrumentos de apoio ao setor produtivo**. 3. ed. Brasília: MDIC, SDP, 2004.

DIAS, M.A.G. **Opções Reais Híbridas com aplicações em petróleo**. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Industrial. PUC - Rio, 2005.

DIXIT, A.K. & R.S. **Pindyck Investment under Uncertainty**, 1994.

FACHIN, Odília. **Fundamentos de Metodologia**. São Paulo: Saraiva, 2001.

FERREIRA, Rafael Lépore Pinto; Bomtemp, José Vitor; Almeida, Edmar Luiz Fagundes - **Estudo das inovações tecnológicas em GTL com base em patentes**: o caso Shell, 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. 2006.

FINNENTY, Raul. **Opções reais em investimentos**. MDIC, SDP, 1999.

FROTA, A. E. **Avaliação de opções americanas tradicionais e complexas**. Dissertação de mestrado. DEI/PUC. Rio de Janeiro, 2003.

GRANT, Eugene Lodewick.; IRESON, William Grant.; LEAVENWORTH, Richard S. **Principles of Engineering Economy**. Eighth edition. New York: John Wiley & Sons, 2003.

GROPPELLI, Angelico A.; NIKBAKHT, Ehsan. **Administração Financeira**. Trad. Célio Knipel Moreira. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

\_\_\_\_\_. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios da Administração Financeira**. 3.ed. São Paulo: Harba, 1987.

GOMES, Laurentino. **Como Uma rainha louca, um príncipe medroso e uma corte corrupta enganaram Napoleão e mudaram a História de Portugal e do Brasil**. 2.reimpressão. São Paulo: Editora Planeta do Brasil, 2007. 414 p.

GUIMARÃES, Leandro Souza. **Comparação entre o Movimento Geométrico Browniano e Processo de Reversão à Média com Saltos Para Avaliação de Opção de Expansão para poço de petróleo**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Industrial, PUC - Rio, 2002.

HARVEY, Campbel R. **Recovering Expectations of Consumption Growth from an Equilibrium Model of the Term Structure of Interest Rates**. December, 1986.

HIRSCHFELD, Henrique. **Engenharia Econômica e análise de Custos**. 4 ed. revisada e ampliada. São Paulo: Atlas, 1989.

HULL, J. C. **Options, Futures & other Derivatives**. 4. ed. New York: Prentice Hall, 2000.

HUBBARD HUMMEL, Paulo Roberto Vampré.; TASCHNER, Mauro Roberto Balck. **Análise e Decisão sobre Investimentos e Financiamentos**: engenharia econômica – teoria e prática. São Paulo: Atlas, 1986.

JAMES, Mimi; KOLLER, Timothy M. **Valuation in emergin markets**. Article in The McKinsey Quarterly, 2000 Number4. Artigo disponível em:

<[http://www.corporatefinance.mckinsey.com/\\_downloads/4\\_1\\_1\\_5\\_valuation\\_in\\_eme\\_rging.pdf](http://www.corporatefinance.mckinsey.com/_downloads/4_1_1_5_valuation_in_eme_rging.pdf)>. Acesso em fevereiro de 2005.

JACKEL, P. **Monte Carlo Methods in Finance**. New York: John Wiley & Sons, 2002.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de Metodologia Científica**: Teoria da ciência e prática da pesquisa. 14 ed. rev. e ampl. Petrópolis: Vozes, 1997.

LEONE, G. S. G. **Curso de contabilidade de custos**. Atlas. São Paulo. 1997.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos de Investimento**: Construção e Avaliação do Fluxo de Caixa. São Paulo: Laponi, 2000.

LOBO, Marcela Francisco. **A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta GTL**. Dissertação apresentada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. 2007

LEVINE, D. M.; BERENSON M. L. & STEPHAN D. Estatística: **Teoria e Aplicações**. LTC-Livros, 2000.

MACIEL, Paulo Sergio. **O impacto da Zona Franca de Manaus no desenvolvimento do Estado do Amazonas**: A eficácia do modelo. 2002, 119f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

MACHLINE, Claude, MOTTA, Ivan de Sá, SCHOEPS, Wolfgang, WEIL, Kurt E. **Manual de Administração da Produção**. Vol. II. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1970.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. Atlas. São Paulo, 2001.

MONTE NEGRO, Artur; SOUZA, Claudio. **Análise Econômica de novos portfólios**. Ed. Interciência. São Paulo. SP. 2007.

MOUTINHO, L. **Situação Mundial da Indústria Petroquímica**. Instituto de Finanças e Negócios. Disponível em: <<http://www.aefinanceiro.com.br/artigos/2005/mai/13/366.htm>> Acesso em: 02 dezembro de 2005.

MOTTA, Regis da Rocha. **Análise de investimentos**: tomada de decisão em projetos industriais. 1 edição. São Paulo: Atlas, 2006.

MYERS, Capital Structure and Interaction among Firms in Output Markets: Theory and Evidence. **The Journal of Business** , vol. 1, 1977.

MONDHER, Derhy. Volatility, and Periodic Closure with Information Uncertainty. **International Journal of Business**, Vol. 10, No. 1. 2002.

MULHERIM, J. H. The government as a shareholder: a case from the United States. **Journal of Law and Economics**, v. XL, Apr. 1997. 2004.

NEVES, Cesar das. **Análise de Investimentos**: projetos industriais e engenharia econômica. Rio de Janeiro: Guanabara, 1982.

NETO, Anthony. **The statistics of CDM halo concentrations**. Volume 381 Issue 4, Pages 1450 – 1462, 2007.

NEVES , Claudio., NEVES George. **Is Education prejudiced by Country-Risk? A Panel-Data Study using Attainment Data and Country-Risk as a Rational Expectation**, 2002.

PONTES FILHO, R. P. **Estudos de História do Amazonas**. Manaus: Valer, 2003.

PETROBRAS (2008). **A Força do Campo**. **Revista da Petrobras**, V. 100, p. 22-27.

PETROBRAS (2007). **A Força do Campo**. **Revista da Petrobras**, V. 108, p. 20-23.

\_\_\_\_\_ (2007). Plano de Negócios 2007-2011. **Revista da Petrobras**, V.115, ano 12, p.11-15.

\_\_\_\_\_ (2007). Plano de Negócios Downstream (PND) 2007-2011, In : apresentação em PowerPoint. Manaus, 2006.

PETROBRAS (2006). Plano de Negócios 2006-2010. **Revista da Petrobras**, V.111, ano 11, p.13-15.



PAMPLONA, E. O. ; SILVA, Wander Fonseca da . **Contribuição da Simulação de Monte Carlo na Projeção de Cenários para Gestão de Custos na Área de Laticínios**. In: IX Congresso Internacional de Custos - Florianópolis, SC, Brasil, 28 à 30 de novembro de 2005.

PAMPLONA, E. O. .**Gerenciamento de riscos em custos**. In: VIII Congreso Internacional de Custos. Anais Punta Del Este. Disponível em: URL: <http://www.iem.efei.br/Edson/pesquisa.htm#atividades>. 2003.

RAMOS, Victor. **Análise de investimentos onshore**. In Congresso brasileiro de custos. SP.2004.

RIVAS, Alexandre; FREITAS, Carlos. **Estudo de Viabilidade para Implantação de Empreendimentos Petroquímicos no Pólo Industrial de Manaus**, 2006.

ROSS, Stephen A., WESTERFIELD, R. W., JORDAN, B. D. **Princípios de Administração Financeira**. 2, ed. São Paulo: Atlas, 2000.

SUFRAMA. **Indicadores de Desempenho do Pólo Industrial de Manaus**. Disponível em <<http://www.suframa.gov.br>>. Acesso em: 15 de set. 2007.

SUFRAMA. **Potencialidades do Estado do Amazonas**. Disponível em <<http://www.suframa.gov.br>.Acesso> em: 15 de out. de 2008.

SCHAWANTZ BRENNAN, Michael J.; SCHWARTZ, Eduardo S. Evaluating Natural Resource Investments. In: SCHWARTZ, Eduardo S.; TRIGEORGIS, Lenos. **Real Options and Investment Under Uncertainty**: classical reading and recent contributions. Massachusetts: MIT Press, 2001. Cap.16

SHAMBLIN, J. E. & STEVENS G. T. **Pesquisa operacional**. Atlas. São Paulo.1990.

SILVA, E. L. **Custo-padrão e produtividade**. CNI – Departamento de Assistência à Média e Pequena Empresa. Rio de Janeiro.2002.

SILVA, W. F. **A contribuição da Simulação de Monte Carlo na Projeção de Cenários para Gestão de Custos na Área de Laticínios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2004.

SHRIEVES, John R., WACHOWICZ JR. "The Theory and Practice of Corporate Finance: Evidence from the Field," *Journal of Financial Economics*, Vol. 60, No. 2-3, 187- 243. 2000.SCHAICOSKI, Jean Carlos. A utilização do ROI na análise de projetos de tecnologia da informação. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

STEVENSON, W. J.. **Estatística aplicada à administração**. Harbra. São Paulo.2002.

SUSLICK, S. B. e SCHIOZER, D.J. Risk Analysis Applied to Petroleum Exploration and Production: an Overview. **Journal of Petroleum Science and Engineering**. Vol. 44, p.1-9, Holanda, 2006

TRIGEORGIS, L. **Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**, 1996.

TORRES, Iraildes Caldas. **Humaitá: ecos de um povo**. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005.

VITAL. Mirian Serrão. **Comprometimento organizacional: o caso dos professores contratados da UFAM**. Dissertação de mestrado. UFSC. 2002.

YEO, K.T.; QIU, Fasheng. The value of management flexibility – a real option approach to investment evaluation. **International Journal of Project Management**, USA, 2002, 9 p. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/ijproman>>. Acesso em: 20 mar. 2008.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A

### Dedução da equação diferencial parcial de Black-Sholes-Merton

Este modelo considera o fato da não existência da possibilidade de arbitragem. Para tanto há que se derivar a equação diferencial parcial de Black – Sholes – Merton.

A seguinte notação será usada no desenvolvimento do modelo:

$\Pi$  = portfólio;

$V$  = warrant (opção);

$S$  = preço da ação no tempo  $t$ ;

$r$  = taxa de juros sem risco;

$v^2$  = variância;

$K$  = preço de exercício;

$t^*$  = dia de maturação;

$$V_1 = \frac{\partial V}{\partial S};$$

$$V_{11} = \frac{\partial^2 V}{\partial S^2};$$

$$V_2 = \frac{\partial V}{\partial t}.$$

O portfólio montado tem o seguinte formato:

$$\Pi = S + m V \quad (1)$$

Onde:

$m$ : é o número de opções (compradas) no portfólio, escolhido de forma a tornar o portfólio sem risco.

Se  $\Pi$  é um portfólio sem risco, para que não haja possibilidade de arbitragem, teremos:

$$d\Pi = r \Pi dt \quad (2)$$

Suposições adotadas no modelo:

1) Movimento Geométrico Browniano:

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + v dz \quad (3)$$

Onde:

$\mu$  é a média dos retornos da ação.

$$dz \sim N(0, dt)$$

$$2) V = f(S, t; r, v, k)$$

Fazendo a expansão de Taylor:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial S} dS + \frac{\partial V}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} dS^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial V^2} dt^2 + \frac{\partial^2 V}{\partial S \partial t} dS dt + \dots + \frac{1}{n!} \frac{\partial^n V}{\partial S^n} dS^n + \frac{1}{n!} \frac{\partial^n V}{\partial t^n} dt^n \dots$$

2. (a) Lema de Itô:

$$dV = \frac{\partial V}{\partial S} dS + \frac{\partial V}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} dS^2 \quad (4)$$

Os demais termos da expansão de Taylor foram desprezados por terem valor praticamente zero.

O termo  $\frac{1}{2} \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} dS^2$  não pode ser desprezado como os demais, pois:

Pela equação 3 temos:  $\frac{dS}{S} = \mu dt + v dz$  com,  $dz \sim N(0, dt)$ .

$$dS = S \mu dt + S v dz \quad \therefore \quad dS^2 = (S \mu dt + S v dz)^2$$

$$dS^2 = S^2 \mu^2 dt^2 + 2 S^2 \mu v dt dz + S^2 v^2 dz^2$$

Como  $dt^2 \rightarrow 0$  e  $dt dz \rightarrow 0$  :

$$dS^2 = S^2 v^2 dz^2 \quad (5)$$

Analisando  $dz^2$ :

$$\text{Var}(dz) = E[dz^2] - \{E[dz]\}^2$$

$$E[dz^2] = \text{Var}(dz) + \{E[dz]\}^2 = dt + 0 = dt \quad (6)$$

$$\text{Var}[dz^2] = E[dz^4] - \{E[dz^2]\}^2 \quad (7)$$

A curtose pode ser representada como:  $E[(x - \mu)^4] = 3\sigma^4$

Para o nosso caso:

$$E[(dz - 0)^4] = 3(\text{Var}(dz))^2$$

$$E[dz^4] = 3dt^2 \quad (8)$$

Substituindo (6) e (8) em (7):

$$\text{Var}[dz^2] = E[dz^4] - \{E[dz^2]\}^2 = 3dt^2 - dt^2 = 2dt^2 = 0$$

$$\text{Var}[dz^2] = 0 \quad (9)$$

Portanto,  $dz^2$  tem média  $dt$  e variância 0(zero). Conclui-se, portanto, tratar-se uma variável determinística, ou seja:

$$dz^2 = dt \quad (10)$$

Substituindo (10) em (5):

$$dS^2 = v^2 S^2 dt \quad (11)$$

Substituindo (11) em (4):

$$dV = V_1 dS + V_2 dt + \frac{1}{2} V_{11} v^2 S^2 dt \quad (12)$$

3) Através da Equação 1:

$$d\Pi = dS + m dV \quad (13)$$

*Substituindo dV (12) na equação anterior (13):*

$$d\Pi = dV + m \left( V_1 dS + V_2 dt + \frac{1}{2} V_{11} v^2 S^2 dt \right)$$

$$d\Pi = (1 + mV_1) dS + m V_2 dt + \frac{1}{2} m V_{11} v^2 S^2 dt \quad (14)$$

$(1 + mV_1)dS$  é uma parcela que representa risco porque  $dS$  está relacionado a variações no preço da ação.

Para eliminar esse risco, deve-se fazer:

$$(1 + mV_1) = 0 \quad \therefore \quad m = -\frac{1}{V_1} \text{ (o sinal negativo indica que a opção está em posição vendida)}$$

(15)

Continuando:

$$d\Pi = mV_2 dt + \frac{1}{2} mV_{11} v^2 S^2 dt \quad (16)$$

Só que, como visto na Equação 2:

$$d\Pi = r \Pi dt = r(S + mV) dt \quad (2)$$

Igualando (16) e (2):

$$mV_2 dt + \frac{1}{2} mV_{11} v^2 S^2 dt = (rS + r mV) dt \quad (17)$$

Dividindo toda equação por  $mdt$ :

$$V_2 + \frac{1}{2} V_{11} v^2 S^2 = \frac{rS}{m} + rV \quad (18)$$

$$\text{Como } m = -\frac{1}{V_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{m} = -V_1$$

*Substituindo em (18), chegamos a uma equação diferencial parcial:*

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{2} v^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + r S \frac{\partial V}{\partial S} - rV = 0$$



## APÊNDICE B

### Outro perfil de produção para a planta com e sem flexibilidade

Suponha que outro perfil de produção seja escolhido para calcular o valor da planta sem e com flexibilidade de *input* e/ou *output*. Os cálculos serão feitos para uma planta com a correlação real entre os *inputs*.

O perfil escolhido foi o seguinte:

<i>OUTPUT</i> / % DE PRODUÇÃO (A =0,92)	NAFTA	DIESEL	PARAFINA	LUBRIFICANTE
Produção sem flexibilidade	19,4%	20,7%	39%	15,4%

**Tabela 27 - Perfil de produção A para uma planta sem flexibilidade**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para esse perfil de produção o valor da planta sem e com flexibilidade será o seguinte:

VALOR DA PLANTA (US\$)	35.000 BBL/DIA	72.000 BBL/DIA
VPL s/ flex.	3.353.415.000	8.182.972.000
VPL c/ flex. <i>input</i>	4.152.110.000	9.827.353.000
VPL c/ flex. <i>output</i>	13.497.940.000	29.051.710.000
VPL c/ flex. <i>input</i> e <i>output</i>	14.296.640.000	30.696.090.000

**Tabela 28 - VPL de plantas com e sem flexibilidade para o perfil de produção A**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Pode-se verificar pela tabela **B.2** uma queda no valor das plantas, que ocorre devido ao fato de que nesse novo perfil a porcentagem de nafta e diesel produzidos aumentou consideravelmente (*inputs* com preços menores) e a porcentagem de parafina e lubrificante diminuiu (*inputs* com preços mais elevados).

Uma questão que tem que deve ser levada em conta é o que ocorre com os valores das flexibilidades de *input* e/ou *output* dado que um novo perfil está sendo considerado.

<b>Valor da opção (US\$)</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
<i>Switch use dos inputs</i>	<b>798.695.000</b>	<b>1.644.381.000</b>
<i>Switch use dos outputs</i>	10.144.525.000	20.868.738.000
<i>Switch use dos inputs e outputs</i>	10.943.225.000	22.513.118.000

**Tabela 29 - Valor da opção de switch só dos inputs, só dos outputs e dos inputs e outputs para o perfil de produção A**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Comparando as tabelas **7.19** (pg. 104), **7.21** (pg.106) e **B.3** (pg.117) pode-se verificar que o valor da flexibilidade de *input* quase não sofreu alteração, o que era de se esperar uma vez que a mudança introduzida afeta apenas a saída.

Porém verifica-se um aumento no valor da opção de *switch use dos outputs* uma vez que a troca entre os perfis será mais acionada neste caso, dado que o novo perfil de produção para a planta sem flexibilidade não será o perfil que proporcionará a maior receita a cada trimestre.

Caso um outro perfil seja escolhido, um em que a quantidade de nafta e diesel produzida aumente e a quantidade de parafina e lubrificante diminua o efeito será o mesmo:

Valor das plantas sem flexibilidade ira diminuir,

Valor da flexibilidade de *input* quase não sofrerá alteração e

Valor da flexibilidade de *output* ira aumentar.

Um outro perfil será considerado:

<i>Output</i> / % de produção ( $\alpha = 0,88$ )	<b>Nafta</b>	<b>Diesel</b>	<b>Parafina</b>	<b>Lubrificante</b>
Produção sem flexibilidade	31,9%	25,2%	27,9%	3,7%

**Tabela 30 - Perfil de produção B para uma planta sem flexibilidade**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para esse perfil os valores das plantas serão:

<b>Valor da planta (US\$)</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
VPL s/ flex.	<b>368.581.300</b>	<b>2.042.744.000</b>
VPL c/ flex. <i>Input</i>	1.167.276.000	3.687.124.000
VPL c/ flex. <i>Output</i>	13.556.060.000	29.171.260.000
VPL c/ flex. <i>Input e Output</i>	14.354.750.000	30.815.640.000

**Tabela 31 - VPL de plantas com e sem flexibilidade para o perfil de produção B**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Comparando as tabelas **B.2** e **B.5** pode-se verificar uma queda no valor das plantas sem flexibilidade. No perfil **A** de produção (aonde a quantidade produzida de parafina e lubrificante é maior) o VPL das plantas sem flexibilidade é maior do que no perfil de produção **B** (aonde a quantidade produzida de parafina e lubrificante é menor).

Para o perfil de produção **B** os valores das flexibilidades serão os seguintes:

<b>VALOR DA OPÇÃO (US\$)</b>	<b>35.000 BBL/DIA</b>	<b>72.000 BBL/DIA</b>
<i>Switch use dos inputs</i>	<b>798.694.700</b>	<b>1.644.380.000</b>
<i>Switch use dos outputs</i>	13.187.478.700	27.128.516.000
<i>Switch use dos inputs e outputs</i>	13.986.168.700	28.772.896.000

**Tabela 32 - Valor da opção de switch só dos inputs, só dos outputs e dos inputs e outputs para o perfil de produção B**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Os perfis foram escolhidos de forma a reduzir a quantidade de nafta e diesel produzida e aumentar a quantidade de parafina e lubrificante. Pode-se comparar os três perfis escolhidos através das tabelas **7.9** (pg.90), **B.1** (pg. 116) e **B.4** (pg. 118).

Para o perfil de produção **B** o valor da flexibilidade de *output* é maior do que para o perfil **A**, o que se justifica pelo fato de que no perfil **A** a receita produzida é maior do que a produzida pelo perfil **B**, com isso a troca de perfil será mais acionada no caso **B** do que no caso **A**. Para possibilitar uma visão conjunta dos dados montou-se uma tabela contendo os valores da planta sem e com flexibilidade de *output* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl.

	PERFIS DE PRODUÇÃO											
	S/ Flex. ( $\alpha = 0,99$ )				A. ( $\alpha = 0,92$ )				B. ( $\alpha = 0,88$ )			
	N:	D:	P:	L:	N:	D:	P:	L:	N:	D:	P:	L:
	0,5%	0,9%	4,7%	93,7%	19,4%	20,7%	39%	15,4%	31,9%	25,2%	27,9%	3,7%
VPL s/ flex.	14.273.370.000				3.353.415.000				368.581.300			
VPL c/ flex. <i>Output</i>	14.820.550.000				13.497.940.000				13.556.060.000			
<i>Switch use dos outputs</i>	1.084.030.000				10.144.525.000				13.187.478.700			

**Tabela 33 -VPL sem e com flexibilidade de *output* para diferentes perfis de produção de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

## APÊNDICE C

### Outro Opex e outra eficiência para a planta GN

Suponha que a planta para processar petróleo/gn possua uma eficiência inferior (93%) e um OPEX superior aos que foram considerados anteriormente.

O novo OPEX será de 7% para a planta sem flexibilidade e de 10% para a planta com flexibilidade e a eficiência será de 60%.

Vai-se calcular o valor da planta com esses novos dados e verificar se mesmo com uma eficiência menor e um OPEX maior ela continua sendo viável. Serão considerados os perfis de produção sem flexibilidade ( $\alpha = 0,99$ ) e o perfil de produção A ( $\alpha = 0,92$ ).

Mais uma vez os cálculos serão feitos considerando a correlação real entre os *inputs*.

Considerando o perfil sem flexibilidade ( $\alpha = 0,99$ ) os valores da planta sem e com flexibilidade de *input* e/ou *output* estão expressos na tabela C.1.

VALOR DA PLANTA (US\$)	35.000 BBL/DIA	72.000 BBL/DIA
VPL s/ flex.	<b>6.763.501.000</b>	<b>15.715.470.000</b>
VPL c/ flex. <i>Input</i>	7.562.196.000	17.362.710.000
VPL c/ flex. <i>Output</i>	7.462.875.000	17.154.190.000
VPL c/ flex. <i>Input</i> e <i>Output</i>	8.261.570.000	18.801.420.000

**Quadro 16 - Valores da planta com e sem flexibilidade para um novo opex , uma nova eficiência e um  $\alpha = 0,99$**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Comparando-se as tabelas B.7 (pg.120) e C.1 verifica-se uma queda no valor da planta sem flexibilidade, de US\$ = 14.273.270.000 ele passa a ser US\$ = 6.763.501.000 para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia.

O valor da opção se *switch use* dos *inputs* novamente quase não sofrerá alteração e o valor da opção de *switch use* dos *outputs* sofrerá uma queda.

<b>Valor da opção (US\$)</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
<i>Switch use</i> dos <i>inputs</i>	<b>798.695.000</b>	<b>1.647.240.000</b>
<i>Switch use</i> dos <i>outputs</i>	699.374.000	1.438.720.000
<i>Switch use</i> dos <i>inputs e outputs</i>	1.498.069.000	3.085.950.000

**Tabela 34 - Valor da opção de *switch* só dos *inputs*, só dos *outputs* e dos *inputs e outputs* para outro opex e considerando  $\alpha = 0,99$**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Os valores encontrados para o perfil de produção ( $\alpha = 0,92$ ) encontram-se na tabela **C.3**.

<b>Valor da planta (US\$)</b>	<b>35.000 bbl/dia</b>	<b>72.000 bbl/dia</b>
VPL s/ flex.	<b>-277.389.300</b>	<b>1.231.357.000</b>
VPL c/ flex. <i>Input</i>	521.305.800	2.878.594.000
VPL c/ flex. <i>Output</i>	6.267.466.000	14.695.060.000
VPL c/ flex. <i>Input e Output</i>	7.066.161.000	16.342.300.000

**Quadro 17 - Valores da planta com e sem flexibilidade para um novo outro opex , uma nova eficiência e um  $\alpha = 0,92$**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Para o caso em que  $\alpha = 0,92$  o valor da planta sem flexibilidade se torna negativo. Para este perfil de produção a planta não é viável economicamente.

<b>VALOR DA OPÇÃO (US\$)</b>	<b>35.000 BBL/DIA</b>	<b>72.000 BBL/DIA</b>
<i>Switch use</i> dos <i>inputs</i>	<b>798.695.100</b>	<b>1.647.237.000</b>
<i>Switch use</i> dos <i>outputs</i>	6.544.855.300	13.463.703.000
<i>Switch use</i> dos <i>inputs e outputs</i>	7.343.550.300	15.110.943.000

**Quadro 18 - Valor da opção de *switch* só dos *inputs* só dos *outputs e inputs e outputs* para um novo opex, uma nova eficiência da planta e um  $\alpha = 0,92$**

Fonte:Gerado a partir dos dados da pesquisa

Com o objetivo de proporcionar uma visão conjunta dos dados a tabela **C.5** foi construída. Nela encontram-se os valores da planta sem e com flexibilidade para dois perfis de produção, para dois OPEXs e duas eficiências da planta.

Pode-se verificar uma queda no valor da planta sem flexibilidade quando mudamos o perfil de produção de  $\alpha = 0,99$  para  $\alpha = 0,92$  (para o caso em que a eficiência é de 93%)..

Outro dado importante é o fato do VPL da planta sem flexibilidade se tornar negativo quando se combina uma eficiência menor, um OPEX maior e um perfil de produção aonde a maior parte do produto final não se concentra em lubrificante.

VPL/ Perfis de produção	EFICIÊNCIA DA PLANTA =93% OPEX: 2% DO CAPEX PARA PLANTA S/ FELX.								EFICIÊNCIA DA PLANTA=60% OPEX: 7 % DO CAPEX PARA PLANTA S/ FELX.							
	$\alpha = 0,99$				$\alpha =0,92$				$\alpha =0,99$				$\alpha =0,92$			
	: 0, 5 %	: 0,9 %	: 0,7 %	: 93,7 %	: 19,4 %	: 20,7 %	: 39%	: 15,4 %	: 0,5 %	: 0,9 %	: 4,7 %	: 93,7 %	: 19,4 %	: 20,7 %	: 39%	: 15,4 %
VPL s/ flex.	<b>14.266.790.000</b>				<b>3.353.415.000</b>				<b>6.763.501.000</b>				<b>-277.389.300</b>			
VPL c/ flex. <i>Input</i>	15.065.490.000				4.152.110.000				7.562.196.000				<b>521.305.800</b>			
<b>Opção de Switch inp.</b>	<b>798.700.000</b>				<b>798.695.000</b>				<b>798.695.000</b>				<b>798.695.100</b>			
VPL c/ flex. <i>Output</i>	15.350.820.000				13.497.940.000				7.462.875.000				<b>6.267.466.000</b>			
<b>Opção de Switch out..</b>	<b>1.084.030.000</b>				<b>10.144.525.000</b>				<b>699.374.000</b>				<b>6.544.855.300</b>			
<b>VPL c/ flex. Input e Output</b>	<b>16.149.520.000</b>				<b>14.296.640.000</b>				<b>8.261.570.000</b>				<b>7.066.161.000</b>			

**Tabela 35 - Valores do VPL com e sem flexibilidade para diferentes: OPEXs, rentabilidades e perfis de produção para uma planta com 35.000 bbl/dia**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

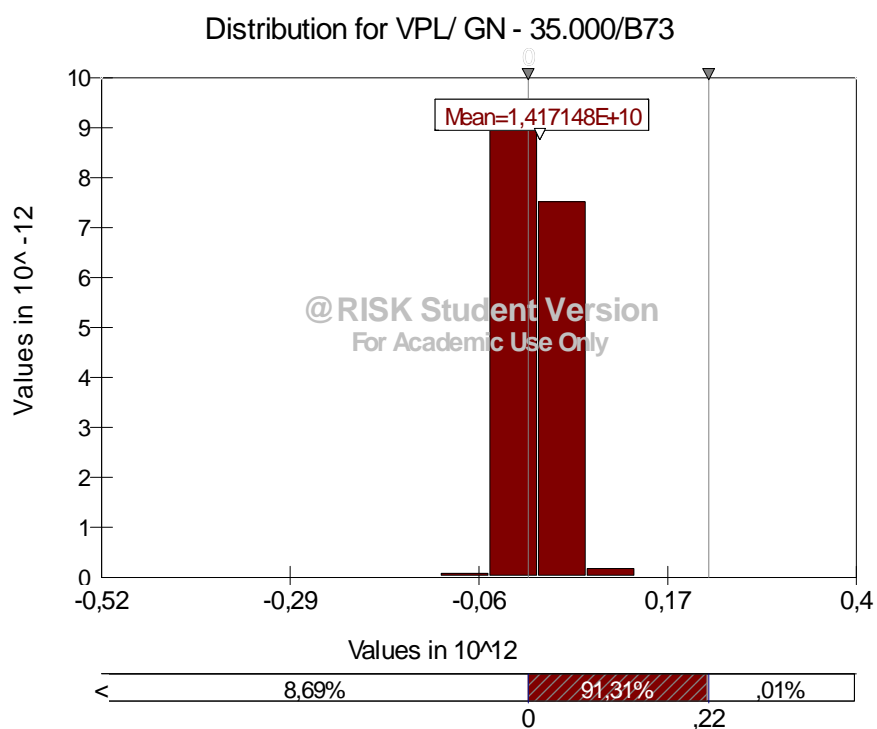
Na análise dos dados da tabela C.5 pode-se verificar que o valor da opção de *switch use* dos *inputs* quase não varia com o perfil de produção escolhido, com a variação do OPEX e com a variação na eficiência da planta. O que era de se esperar, uma vez que essa flexibilidade é relacionada aos *inputs* e não aos *outputs*. Contudo o valor da flexibilidade de *output* possui relação direta com esses fatores. O caso em que o OPEX é 7% do Capex, a eficiência da planta é 60% e  $\alpha = 0,99$  é o que possui o menor valor dessa flexibilidade. Isso se justifica pelo fato de que esse perfil de produção é o que proporciona, na maioria das vezes, a maior receita trimestral (sendo assim será na maioria das vezes o escolhido) e essa eficiência proporciona uma menor quantidade de produtos finais fabricados. O caso que possui maior valor da flexibilidade de *output* é o oposto, ou seja, o caso aonde o OPEX é 2% do Capex, a eficiência da planta é de 93% e o  $\alpha = 0,92$  (com esse perfil de produção a receita gerada trimestralmente não será, na maioria das vezes, a maior). Para o cálculo dos dados acima foram feitas 10.000 simulações, a mesma análise pode ser feita aumentando o número de simulações. Estes dados serão recalculados para 50.000 simulações, novamente será considerada a correlação real entre os *inputs*. O primeiro passo é calcular o valor da planta com e sem flexibilidade. Esses valores encontram-se na tabela 34.

VALOR DA PLANTA (US\$)	35.000 BBL/DIA	72.000 BBL/DIA
VPL s/ flex.	14.171.480.000	30.437.280.000
VPL c/ flex. <i>Input</i>	14.953.810.000	32.047.990.000
VPL c/ flex. <i>Output</i>	15.249.170.000	32.654.230.000
VPL c/ flex. <i>Input e Output</i>	16.031.490.000	34.264.940.000

**Tabela 36 - VPL com e sem flexibilidade para 50.000 simulações**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

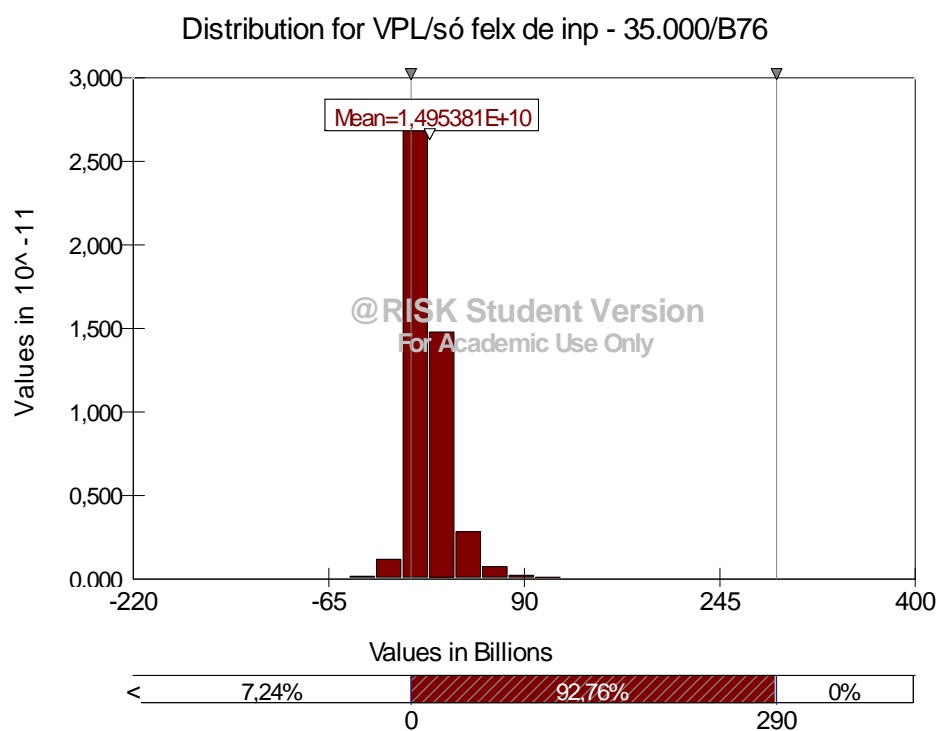




**Gráfico 44 - Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

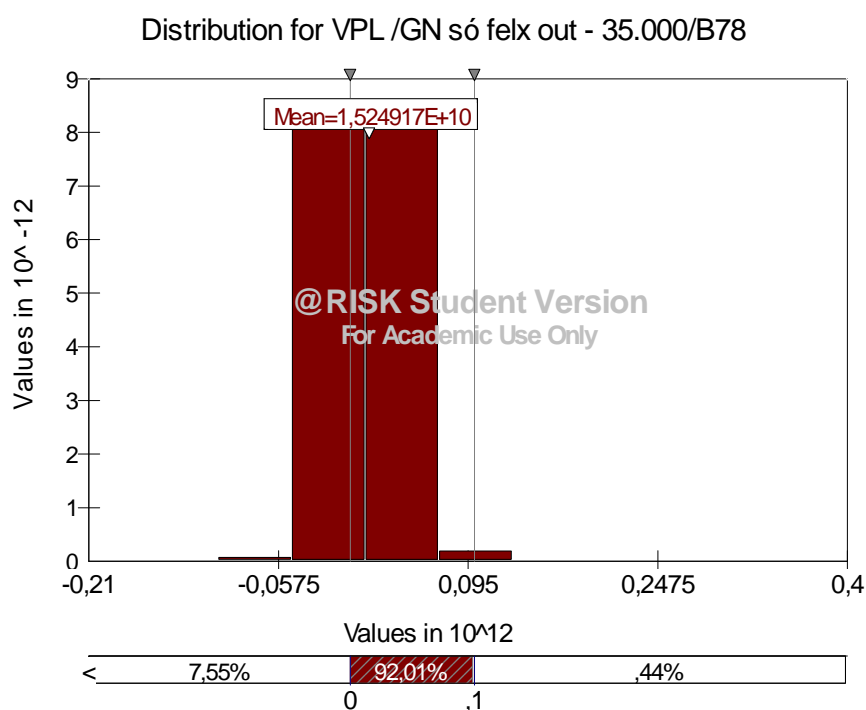
Comparando-se as Figuras 12 e 13 verifica-se que a proporção de VPLs com valores negativos para a planta sem flexibilidade quase não varia. Para o caso em que a correlação entre os *inputs* não foi considerada essa proporção é de 8,81 %, para o caso em que estas foram consideradas é de 8,84% e para o caso em que foram feitas 50.000 simulações é de 8,69%.



**Gráfico 45 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *input* e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações**

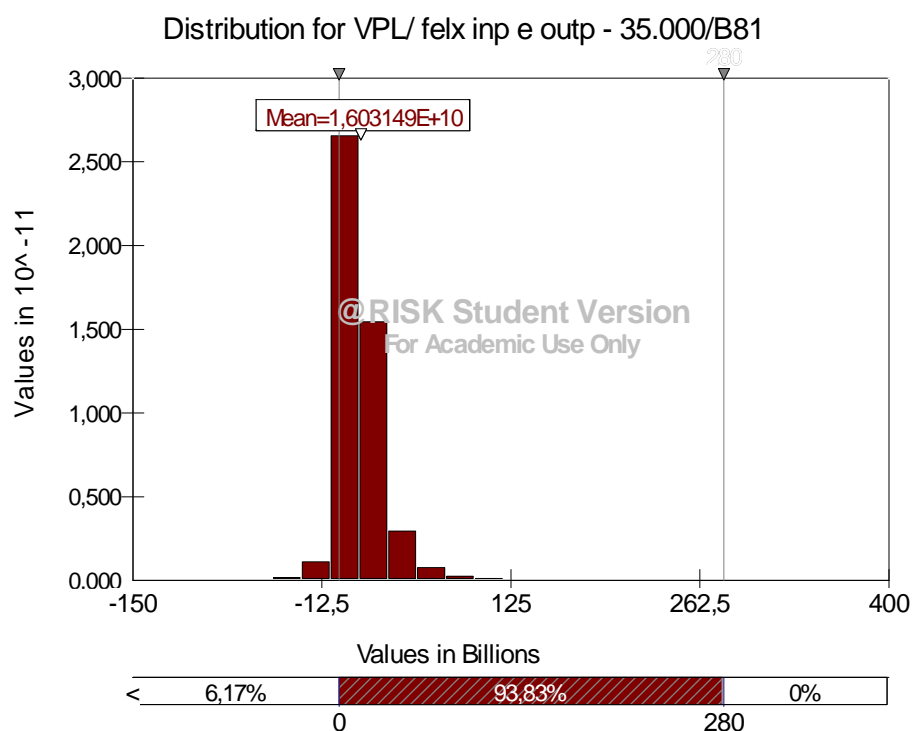
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

No caso de só existir flexibilidade de *input* compara-se as Figuras 23 e 24. Para 10.000 simulações a proporção de VPLs com valores negativos foi de 7,21%, e para 50.000 simulações essa proporção foi de 7,71%.



**Gráfico 46 - Distribuição do VPL com flexibilidade só de *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações**  
Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

A proporção de VPLs com valores negativos para o caso de só ter flexibilidade de output também quase não variou. A Figura 11 mostra que a proporção de VPLs negativos para 10.000 é de 7,71% simulações, e o gráfico **D.3** mostra que essa proporção para o caso de 50.000 simulações foi de 7,55%.



**Gráfico 47 - 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**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Com 10.000 simulações a proporção de VPLs com valores negativos para uma planta com flexibilidade de *input* e *output* é de 6,67 %, o que pode ser verificado pela análise do gráfico 7.23 (pág. 105). E com 50.000 simulações essa proporção é de 6,17 %, gráfico D.4.

<b>VALOR DA OPÇÃO (US\$)</b>	<b>35.000 BBL/DIA</b>	<b>72.000 BBL/DIA</b>
<i>Switch use dos inputs</i>	<b>782.330.000</b>	<b>1.610.710.000</b>
<i>Switch use dos outputs</i>	1.077.690.000	2.216.950.000
<i>Switch use dos inputs e outputs</i>	1.860.010.000	3.827.660.000

**Quadro 19 - Valor da opção de *switch* só dos *inputs* só dos *outputs* e *inputs* e *outputs* para 50.000 simulações**

Fonte: Gerado a partir dos dados da pesquisa

Comparando-se as Figuras 9, 10 e 11 verifica-se que o valor da opção de *switch use* dos *inputs* e *switch use* dos *outputs* também não sofreu grandes alterações. A opção real de troca de uso das matérias primas, para uma planta que produz 35.000 bbl/dia, vale US\$ 798.700.000 para o caso em que foram feitas 10.000 simulações, e US\$ 782.330.00 para o caso em que foram feitas 50.000 simulações.

Em relação à opção real de *output*, para uma planta que produz 35.000 bbl/dia, vale US\$ 1.644.380.000 para o caso em que foram feitas 10.000 simulações, e US\$ 2.230.010.000 para o caso em que foram feitas 50.000 simulações.