



FACULDADE DE ECONOMIA E FINANÇAS IBMEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONALIZANTE EM ADMINISTRAÇÃO

**AVALIAÇÃO DA OPÇÃO DE ESPERA DE
UM PROJETO DE INVESTIMENTO NA
INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

ALBERTO MORAES MARQUES

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO MARCOS DA SILVA
MONTEZANO

Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**“AVALIAÇÃO DA OPÇÃO DE ESPERA DE UM PROJETO DE INVESTIMENTO
NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA”**

ALBERTO MORAES MARQUES

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Profissionalizante em
Administração como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Administração.
Área de Concentração: Administração
Geral

ORIENTADOR: ROBERTO MARCOS DA SILVA MONTEZANO

Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2007.

**“AVALIAÇÃO DA OPÇÃO DE ESPERA DE UM PROJETO DE INVESTIMENTO
NA INDÚSTRIA PETRQUÍMICA”**

ALBERTO MORAES MARQUES

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Profissionalizante em
Administração como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Administração.
Área de Concentração: Administração
Geral

Avaliação:

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. ROBERTO MARCOS DA SILVA MONTEZANO (Orientador)
Instituição: Faculdades Ibmecc

PROF. DRA. MARIA AUGUSTA SOARES MACHADO
Instituição: Faculdades Ibmecc

PROF. DR. MARCO ANTÔNIO CUNHA DE OLIVEIRA
Instituição: UFRJ

Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2007.

FICHA CATALOGRÁFICA

332.6711 M357	Marques, Alberto Moraes. Avaliação da opção de espera de um projeto de investimento na indústria petroquímica/ Alberto Moraes Marques.- Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc, 2007.
------------------	--

Dissertação de Mestrado Profissionalizante
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Administração das Faculdades Ibmecc, como requisito parcial
necessário para a obtenção do título de Mestre em
Administração.

Área de concentração: Administração Geral.

1. Derivativos financeiros. 2. Opções reais. 3. Finanças.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Roberto Marcos da Silva Montezano pela orientação e confiança.

Ao Professor Doutor Marco Antonio Guimarães Dias (PUC – RJ), pelas sugestões e aulas, que tive o privilégio de assistir.

Ao Professor Doutor Marco Antônio Cunha de Oliveira (UFRJ), pelas valiosas críticas e sugestões.

RESUMO

A Teoria da Opção Real (OR) oferece uma metodologia moderna para a avaliação de um projeto de investimento, pois leva em conta o valor adicional da flexibilidade gerencial frente às incertezas do projeto. A presente dissertação busca calcular o valor da opção de espera de um projeto de uma unidade petroquímica produtora de polipropileno. Talvez o passo mais crítico da OR seja a determinação da volatilidade agregada do projeto de investimento. Foi calculada a volatilidade agregada do projeto para diferentes casos, considerando diferentes possibilidades de modelagem das variáveis incertas envolvidas. As principais variáveis incertas envolvidas são os preços da matéria-prima e dos produtos. Foram consideradas três possibilidades de processos estocásticos para os preços: Movimento Geométrico Browniano (MGB), Movimento de Reversão à Média (MRM) e Movimento de Reversão à Média com Saltos (MRMS). Finalmente foi selecionado um caso base para a volatilidade do projeto e então foi calculado o valor da opção de espera por dois diferentes modelos de avaliação a saber, através da fórmula binomial e por aproximações numéricas da equação diferencial parcial de Black - Scholes.

Palavras Chave: projeto de investimento, opções reais, petroquímica.

ABSTRACT

The Real Option Theory (OR) offers a modern methodology for the valuation of an investment project because it considers the value of managerial flexibility facing project uncertainties. The present work seeks to calculate the deferral option value for an investment project of a polypropylene petrochemical plant. Perhaps the most critical step in OR is the estimation of the project volatility. This work estimates the project volatility for different cases, considering different possibilities for the uncertain variables modeling. The main uncertain variables are the price of the raw material and the price of the product. Three possibilities for the price modeling were considered: Brownian Geometric Movement, Mean Reverting, and Mean Reverting with Jumps. A base case was selected for the project volatility and then the value of the deferral option was calculated by two different valuation models: the binomial formulae and through numerical approximations of the Black - Scholes partial differential equation.

Key Words: investment Project, real options, petrochemicals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O valor da flexibilidade gerencial.....	16
Figura 2 – Pagamentos possíveis na data de vencimento de opções financeiras em função do valor do ativo-objeto.....	19
Figura 3 – Flutuações binomiais de um passo: preço do ativo subjacente.....	24
Figura 4 – Flutuações binomiais de quatro passos: preço do ativo-básico.....	27
Figura 5 – Composição do PIB da Indústria em 2004.....	42
Figura 6 – Composição do Faturamento Líquido da Indústria Química Brasileira por Segmentos – 2005.....	43
Figura 7 – Regressão Consumo Aparente x PIB (dados anuais de 1990 a 2005)	78
Figura 8 - Análise de sensibilidade do VPL sem flexibilidade	81
Figura 9 – Análise de sensibilidade do VPL ao PIB/ consumo aparente	83
Figura 10 – Simulação preços MGB	86
Figura 11 – Simulações dos preços como MRM em vários anos.....	90
Figura 12 – Preços propeno: MRM x MGB	91
Figura 13 - Preços polipropileno: MRM x MGB	91
Figura 14 - PIB entre 1963 e 2006	93
Figura 15 - Simulações do PIB.....	95
Figura 16 - Exemplo de simulação dos preços para um período (2011) e demais anos como valores esperados.....	102
Figura 17 - Exemplo de simulação da margem para um período (2011) e demais anos como valores esperados.....	103
Figura 18 - Várias simulações da margem para um período (2011) considerando preços como MGB e demais anos como valores esperados	104
Figura 19 -Várias simulações da margem para um período (2011) considerando preços como MRM e demais anos como valores esperados.....	105
Figura 20 - Análise de sensibilidade do VPL a variações de $N(0;1)$ considerando diferentes procesos para os preços	106
Figura 21 - Volatilidade e tendência para diferentes processos estocásticos somente no preços do PP.....	107
Figura 22 - Valor do projeto segundo fórmula binomial.....	108
Figura 23 - Valor da opção de espera segundo fórmula binomial.....	109
Figura 24 - Saída do programa Timing – primeira parte.....	109
Figura 25 - Saída do programa Timing – segunda parte - Valor do gatilho no tempo.....	110
Figura 26 - Saída do programa Timing – segunda parte - Valor da opção de espera.....	110
Figura 27 - Valor da opção de compra européia com pagamento de dividendos calculado pela fórmula binomial	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Determinantes e seus efeitos no valor: call e put.....	22
Tabela 2 – Fluxos Carteira Livre de Risco.....	25
Tabela 3 – FCD sem Flexibilidade.....	82
Tabela 4 - Parâmetros MGB do Propeno.....	85
Tabela 5 - Parâmetros MGB do Polipropileno.....	85
Tabela 6 - Teste Unitária para Preços Propeno.....	87
Tabela 7 – Teste raiz unitária preço PP.....	88
Tabela 8 - Regressão linear preços propeno.....	89
Tabela 9 – Regressão linear preços polipropileno.....	89
Tabela 10 – Parâmetros MRM para preços.....	90
Tabela 11 - Parâmetros dos saltos dos preços MRMS.....	92
Tabela 12 - Parâmetros MGB do PIB.....	94
Tabela 13 - Teste de Raiz Unitária para PIB.....	96
Tabela 14 - Volatilidade para MGB nos preços e no PIB.....	98
Tabela 15 - Volatilidade para MRM nos preços e MGB para o PIB.....	99
Tabela 16 - Volatilidade para MRMS nos preços e MGB para o PIB.....	100
Tabela 17 - Resumo das volatilidade para diferentes processos nos preços.....	100
Tabela 18 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso base.....	108
Tabela 19 - Valor da opção de compra européia com pagamento de dividendos calculado pela fórmula de Black-Scholes-Merton.....	111
Tabela 20 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso alternativo um.....	112
Tabela 21 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso alternativo dois.....	113
Tabela 22 – Sumário dos Resultados – Cálculo da Opção Real de Espera.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	Ao ano
ABIQUIM	Associação Brasileira de Indústrias Químicas
AM	Ao mês
CA	Copeland & Antikarov (2002)
EDP	Equação diferencial parcial
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
KT/A	Unidade de vazão mássica correspondente a mil toneladas por ano
MAD	<i>Marketed Asset Disclaimer</i> ou negação do ativo negociado (CA)
MGB	Movimento geométrico browniano
MM USD	milhões de dólares americanos
MRM	Movimento de reversão à média
MRMS	Movimento de reversão à média com saltos
$N(0;1)$	Distribuição normal com média igual a zero e desvio padrão igual a um.
OR	Teoria das Opções Reais
PIB	Produto Interno Bruto do Brasil
PP	Polipropileno
TMA	Taxa mínima de atratividade do projeto
VPL	Valor presente líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.2	OBJETIVO	4
1.3	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	5
2	REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1	A METODOLOGIA CLÁSSICA DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO	9
2.2	LIMITAÇÕES DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO	13
2.3	OPÇÕES FINANCEIRAS	17
2.3.1	Avaliação de Opções Financeiras	23
2.3.1.1	Modelo de Avaliação de Opções Através da Fórmula Binomial	24
2.3.1.2	Modelo de Avaliação de Opções Através da Fórmula de Black- Scholes	28
2.4	OPÇÕES REAIS	31
2.4.1	Tipos de Opções Reais	33
2.4.2	Modelos de Avaliação de Opções Reais	36
2.4.3	Limitações da Teoria de Opções Reais	39
3	CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA	42
3.1	O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA	45
3.2	CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA	46
3.3	A INDÚSTRIA DE POLIPROPILENO	49
4	METODOLOGIA	51
4.1	ESTIMATIVA DO VLP DO PROJETO SEM FLEXIBILIDADE	53
4.1.1	Determinação da Taxa Mínima de Atratividade do Projeto	53
4.1.2	Determinação dos Fluxos de Caixa do Projeto	54
4.2	ESTIMATIVA DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS ENVOLVIDOS	55
4.2.1	O Movimento Geométrico Browniano (MGB)	56

4.2.2	Teste de Raiz Unitária	58
4.2.3	Movimento de Reversão à Média.....	59
4.2.4	Reversão à Média com Saltos.....	62
4.2.5	Correlação entre os Preços	64
4.2.6	Discussão da Escolha dos Processos Estocásticos.....	64
4.3	CÁLCULO DA VOLATILIDADE AGREGADA DO PROJETO	66
4.4	CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO DE ESPERA	69
5	RESULTADOS	75
5.1	ESTIMATIVA DO VPL DO PROJETO SEM FLEXIBILIDADE	75
5.1.1	Premissas do Fluxo de Caixa.....	76
5.1.2	Preços	77
5.1.3	Mercado de Polipropileno	78
5.1.4	A Determinação da Taxa Mínima de Atratividade.....	79
5.1.5	Resultado e Análise de Sensibilidade.....	80
5.2	DETERMINAÇÃO DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS	83
5.2.1	Processos Estocásticos dos Preços	84
5.2.1.1	Movimento Geométrico Browniano do Preços.....	84
5.2.1.2	Teste de Raízes Unitárias para os Preços.....	86
5.2.1.3	Movimento de Reversão à Média para os Preços	88
5.2.1.4	Movimento de Reversão à Média com Saltos.....	92
5.2.2	Processo Estocástico do Crescimento da Demanda Nacional de PP	93
5.2.2.1	Movimento Geométrico Browniano do Crescimento da Demanda Nacional de PP.....	94
5.2.2.2	Teste de Raízes Unitárias para o Crescimento da Demanda Nacional de PP	95
5.3	CÁLCULO DA VOLATILIDADE AGREGADA DO PROJETO	97
5.3.1	Cálculo da Volatilidade Caso 1: Preços seguindo MGB	98
5.3.2	Cálculo da Volatilidade Caso 2: Preços seguindo MRM	99
5.3.3	Cálculo da Volatilidade Caso 3: Preços seguindo MRM com Saltos.....	100
5.3.4	Discussão dos Resultados.....	100
5.4	CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO REAL	108
5.5	RESUMO DOS RESULTADOS.....	113
5.6	LIMITAÇÕES.....	115
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122

1 INTRODUÇÃO

A metodologia tradicional de avaliação econômica, através do fluxo de caixa descontado (FCD) e da determinação do valor presente líquido (VPL), oferece uma representação estática do valor de um projeto de investimento. Não consegue capturar o valor da flexibilidade gerencial frente a incertezas positivas da vida econômica de um projeto de investimento.

Já a teoria de Opções Reais (OR) é uma metodologia moderna para a avaliação de projetos de investimentos e complementa o método do VPL. A OR avalia projetos de investimento de forma análoga à avaliação de opções financeiras. Através da aplicação da OR pode-se adicionar o valor da flexibilidade gerencial ao VPL estático do projeto de investimento.

Para que o valor da OR seja relevante, é preciso haver dois fatores: incertezas significativas e a possibilidade de tomada de decisões frente a essas incertezas (flexibilidade gerencial). Quando esses dois fatores são significativos, a OR irá adicionar valor ao VPL.

Em um projeto de investimento, uma decisão gerencial possível é adiar o início ou uma das fases do projeto frente às suas incertezas. Tem-se a opção de espera do projeto. Este adiamento pode ser vantajoso do ponto de vista econômico, pois a opção de espera torna possível capturar somente o lado positivo da incerteza: investe-se somente se o cenário for favorável no futuro. Caso o cenário seja desfavorável, o investimento não é realizado.

A OR pode auxiliar na determinação do valor de espera de um projeto de investimento. Também oferece um novo critério para a decisão de investimento: deve-se investir somente quando o projeto estiver *deep-in-the-money*, isto é, deve-se investir quando o VPL do investimento imediato é maior que o valor da opção de espera (Dias, 2006).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A presente dissertação estuda o valor de um projeto de investimento em uma nova unidade de produção de polipropileno (PP), considerando as incertezas envolvidas e o valor da opção real de espera.

De acordo com notícias de jornais publicadas até junho de 2007, havia cinco projetos de polipropileno sendo planejados na América do Sul para os 6 anos subseqüentes:

- Unidade de Polipropileno Paulínia S. A. (PPSA). É uma Joint Venture 60% Braskem e 40% Petrobras. Irá utilizar como matéria-prima o propeno de duas refinarias da Petrobras em São Paulo. Início da operação está previsto para o início de 2009 com capacidade de 300kt/a. O investimento anunciado foi de R\$ 500 milhões;
- Unidade de produção de PP pela joint venture (JV) formada por Braskem e Pequiven em Jose – Venezuela. Está previsto um investimento de US\$ 370 milhões em uma unidade de polipropileno de 450 kt/a. O início da produção está previsto para meados de 2010;

- Nova unidade de polipropileno da Braskem em Camaçari. O início da produção está previsto para 2011. A capacidade inicialmente considerada é de 300kt/a com um investimento de US\$ 300 milhões;
- Unidade da Suzano Petroquímica no Paraná, utilizando o propeno da Refinaria do Paraná (REPAR, da Petrobras) como matéria-prima;
- Unidade de produção de PP no COMPERJ (futura JV Petrobras, Ultrapar e BNDES) planejada para entrar em operação a partir de 2013.

As principais incertezas que podem afetar o valor de um projeto de polipropileno são: valor de investimento, preços das matérias-primas, demanda e preço dos produtos. Considerando-se que o investimento ocorre no início do período, pode-se desprezar a incerteza relativa ao mesmo para efeito de cálculo da opção real.

Os preços das matérias-primas e dos produtos, que normalmente têm comportamento cíclico. Autores com Butler et al. (1998) recomendam o estudo dos ciclos de preço de produtos químicos para o planejamento do tempo ótimo de entrada de novos projetos.

O preço do propeno está correlacionado ao preço da energia (petróleo, GLP, etc.). Já o preço do polipropileno está relacionado ao preço do propeno e aos ciclos da indústria (ocasionados por desequilíbrios entre oferta e demanda do mercado internacional). Quando o preço do petróleo sobe, a indústria tenta repassar o custo desse aumento. Ao mesmo tempo, as vezes existe excesso de capacidade produtiva, levando ao excesso de oferta do produto e à baixa de preços.

Considerando que o mercado nacional e regional atualmente não é deficitário em polipropileno (pequena importação e exportação), os futuros investimentos visam ocupar o mercado projetado do produto no futuro. Numa primeira aproximação, estas projeções podem ser calculadas em função do crescimento do PIB. Porém, se todos estes projetos forem adiante, não é difícil prever um excesso de oferta de PP para os próximos cinco anos. O excesso de oferta pode levar a preços baixos para o polipropileno e conseqüentemente o resultado dos projetos será afetado. Além disso, o excedente de produção deve ser exportado com desconto, penalizando o valor do projeto.

Assim, considerando o atual equilíbrio do mercado interno de polipropileno, um investidor tem duas possibilidades. A primeira é investir imediatamente com um VPL reduzido devido ao grande volume a ser exportado a preços penalizados. E a segunda é esperar para investir em um momento que o mercado esteja suficientemente desenvolvido, considerando às incertezas de crescimento do mercado.

Assumindo com hipótese que nem todos estes projetos irão adiante, pode-se buscar determinar o valor de espera de um novo projeto. Uma vez que o mercado interno já estaria grandemente ocupado nos primeiros anos do projeto, caso houvesse investimento imediato, este novo projeto iniciaria sua produção com um grande volume de exportação. Pode-se assumir que o excedente de produção será exportado com desconto. Assim, o valor de espera do novo projeto considera o equilíbrio do mercado interno e a possibilidade de se esperar o desenvolvimento deste mercado antes de se adicionar uma nova capacidade de produção.

1.2 OBJETIVO

O estudo desta dissertação busca responder as seguintes questões:

- 1) Como estimar a volatilidade do projeto visando o cálculo de opções reais?
- 2) Qual o efeito da escolha de diferentes processos estocásticos das variáveis incertas sobre a volatilidade do projeto?
- 3) Qual o valor da opção de espera do projeto, considerando que não existe concorrência de projetos (opção exclusiva)?
- 4) A análise de opções reais encontra agregação de valor na avaliação de uma planta de polipropileno, dadas as principais incertezas envolvidas?

O estudo desta dissertação visa auxiliar o processo de tomada de decisão intertemporal de investimento para projetos da indústria petroquímica do ponto de vista econômico, levando principalmente em consideração as incertezas relativas ao crescimento demanda do produto e aos preços das matérias-primas e dos produtos de uma indústria petroquímica.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A ferramenta de avaliação econômica mais utilizada na avaliação de projetos petroquímicos é o cálculo do valor presente líquido (VPL). Porém sabe-se que o VPL é limitado e não prevê o valor de espera de um projeto. Já a análise por opções reais pode valorar a opção de espera de um investimento sob incerteza.

O planejamento do tempo de entrada dos investimentos é fundamental para a lucratividade do projeto (Barnett Jr., 1993). A indústria petroquímica historicamente tem falhado no planejamento do tempo ótimo para a entrada em operação de novas unidades produção,

resultando muitas vezes em perdas para todo o setor (Wongtschowski, 1999). Barnett Jr, 1993 propõe a entrada de novos investimentos durante o ciclo de baixa ou após o seu início. Dessa forma seria possível aproveitar todo um ciclo de alta de preços. O que ocorre normalmente é o investimento e partida das unidades durante o ciclo de alta, levando ao excesso de oferta dos produtos e a queda nos preços.

Faltam ferramentas e critérios para apontar o valor ganho da espera destes projetos e o tempo ótimo para o investimento. Possivelmente, a análise por opções reais pode ser utilizada para avaliar projetos de natureza cíclica com ganhos em relação da abordagem do Valor Presente Líquido (VPL).

Por outro lado, deve-se discutir as limitações dessa análise, uma vez que a opção de espera na indústria não é exclusiva, isto é, outros investidores podem construir novas plantas no mesmo momento. O resultado será o excesso de oferta, levando à queda de preços.

Devido ao elevado número de projetos petroquímicos que estão sendo estudados e planejados para os próximos anos, novas metodologias que investiguem o valor do tempo ótimo para o investimento e entrada em operação de novas unidades poderão ser úteis (levando em consideração os condicionantes competitivos), evitando perdas em diferentes segmentos da indústria química e petroquímica.

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo o segundo uma revisão da literatura abrangendo a metodologia clássica e a metodologia de opção real para a avaliação de projetos. O terceiro apresenta um panorama da indústria petroquímica, onde os produtores de polipropileno estão inseridos. O quarto capítulo apresenta a metodologia referente à

determinação do valor de espera de um projeto de polipropileno. O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos e o sexto é um capítulo de conclusões e sugestões.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo Dias (2006), a teoria de opções reais vem aproveitando-se de desenvolvimentos tanto da teoria financeira quanto da teoria econômica. A teoria financeira contribuiu com os métodos de avaliação de ativos, de renda fixa e renda variável e a teoria econômica contribuiu para a análise do ambiente e das características do projeto, levando em conta a irreversibilidade das decisões (Dias, 2006).

De acordo com Brennan & Schwartz (1995) apud Dias (2006), no início do século XX a avaliação econômica de projetos utiliza modelos desenvolvidos para um ambiente de certeza, como no caso do fluxo de caixa descontado onde as taxas de desconto levavam em consideração apenas o valor do dinheiro no tempo. A partir dos anos 50 e 60 as taxas de desconto passaram a ser ajustadas ao risco. Surgiram os modelos de equilíbrio de mercado, como o CAPM, na década de sessenta (Dias, 2006).

Dias (2006) apresenta uma revisão da evolução da bibliografia da teoria das opções reais. As bases para a teoria de opções reais foram lançadas na década de 60, quando Samuelson, com a ajuda de McKean, introduziu o cálculo estocástico em finanças e deduziu a condição de exercício ótimo da opção americana perpétua, que chamou de contato alto (high contact). Na década de 70 houve uma grande evolução das finanças corporativas com o surgimento da teoria das opções. Em 1973 dois artigos importantes foram escritos sobre valoração de opções

financeiras, um de Black & Scholes e outro de Merton. A literatura ambiental também contribuiu para a teoria das opções reais, com a publicação dos artigos de Arrow & Fisher e de Henry ambos em 1974. Estes artigos mostraram que a irreversibilidade das decisões também agregam valor para a opção. O professor Stewart C. Myers do MIT foi quem usou a expressão “real options” pela primeira vez, usando-a para descrever oportunidades de investimento das firmas em ativos reais de forma análoga às opções de compra sobre esses ativos em um artigo publicado por ele em 1977. O primeiro a aplicar as idéias da teoria de opções reais para avaliar reservas de recursos minerais foi o brasileiro Tourinho em 1979. Na década de 80 diversos artigos começaram a ser publicados em revistas de fiananças. Entre os mais citados estão Kester (1984), Brennan & Scwartz (1985), McDonald & Siegel (1986), Paddock & Siegel & Smith (1988), Pidyck (1988), entre outros. Na década de 90, centenas de artigos foram publicados, e iniciou-se a publicação de livros-texto sobre opções reais (Dias, 2006).

Será feita uma breve revisão dos fundamentos da avaliação de projetos de investimento. Duas abordagens serão tratadas, a tradicional, baseada na determinação do valor presente líquido (VPL) e a segunda, baseada na teoria de opções reais (OR), buscando-se discutir as limitações de cada uma. Para a compreensão das opções reais, anteriormente serão apresentados dois modelos de avaliação de opções financeiras.

2.1 A METODOLOGIA CLÁSSICA DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTO

A metodologia tradicional de avaliação de projetos consiste na determinação do valor de um projeto em três passos: primeiro, deve-se prever os fluxos de caixa gerados; segundo, determina-se o custo de oportunidade de capital, que reflete o valor do dinheiro no tempo e o

risco do projeto. Terceiro, deve-se trazer os valores do fluxo de caixa para um ponto no tempo, usando para isso o custo de oportunidade de capital encontrado. Determina-se assim o valor presente dos fluxos de caixa e o resultado da sua soma é valor presente líquido (VPL) do projeto. Três conceitos formam a base desta metodologia e da teoria financeira moderna: valor presente (VP), valor presente líquido (VPL) e custo de capital (Brealey et al., 2006).

A estimativa dos fluxos de caixa é o ponto de partida para o cálculo do VP. O fluxo de caixa é uma representação numérica das entradas e saídas financeiras do projeto dispostas em um horizonte temporal. O fluxo de caixa líquido de um projeto deve considerar investimentos, custos operacionais e receitas geradas pelo projeto ao longo de sua vida econômica. Na análise tradicional estes valores representam valores esperados ou determinísticos. O VP é o valor corrente dos fluxos de caixa recebidos em um dado momento no futuro. Para sua atualização ou desconto é utilizada uma taxa de juros ou taxa de retorno apropriada, chamada de taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA deve refletir o custo de oportunidade do capital empregado no projeto, dada a premissa de mercado financeiro eficiente.

O VPL é um indicador que representa a soma dos valores presentes do fluxo de caixa. Quando subtraí-se o custo de investimento do valor presente dos fluxos de caixa gerados por este investimento tem-se o valor presente líquido. O VPL representa o benefício efetivo líquido ou valor recebido de um investimento. Formalmente, tem-se o VPL na data zero como:

$$VPL_0 = \sum_{t=0}^n \frac{E[FC_t]}{(1 + \mu)^t} \quad (1)$$

Onde $E[FC_t]$ é o valor esperado de cada fluxo de caixa do projeto, μ é a taxa de desconto do projeto e t é um instante qualquer da vida do projeto.

O critério para a aprovação de um projeto na análise tradicional é o VPL maior que zero (Brealey et al., 2006). Projetos com VPL positivo aumentam o valor da firma. Se o projeto tem VPL igual a zero, é indiferente investir ou não. Se o VPL é menor que zero, o projeto é rejeitado.

Como foi dito, a TMA deve refletir o custo de oportunidade do capital. Para tanto, deve levar em conta não só o valor do dinheiro no tempo, mas também o risco do projeto (Brealey et al., 2006). Dois princípios estão por trás da taxa de desconto: o princípio do valor do dinheiro no tempo, que diz que um dólar amanhã vale menos que um dólar hoje; e o princípio embutido no conflito retorno versus risco segundo o qual um fluxo de caixa seguro é mais valioso que um fluxo de caixa arriscado no mesmo período de tempo. A taxa de desconto deve refletir o princípio que investidores requerem retornos maiores para investimentos mais arriscados.

A taxa de desconto é a taxa de retorno mínima exigida de um investimento e pode ser determinada a partir do retorno de um ativo de risco semelhante. Deve ser compatível com as taxas de retorno existentes no mercado. Se um investimento é seguro, pode-se utilizar uma taxa de retorno compatível com títulos de governos de países desenvolvidos e estáveis para se avaliar esse ativo. Se o fluxo de caixa do projeto é mais arriscado, deve-se usar uma taxa de desconto maior, de uma ação ou projeto de risco semelhante.

No caso de recursos próprios, o ajuste do retorno ao risco, para a determinação da taxa de desconto apropriada pode ser feito a partir do Modelo de Apreçamento de Ativos de Capital (CAPM) através da fórmula (Brealey et al., 2006):

$$E(R_i) = R_f + \beta_i \cdot (R_m - R_f) \quad (2)$$

Onde $E(R_i)$ é o valor esperado taxa de retorno do capital próprio ajustado ao risco do ativo ou projeto; R_f é a taxa livre de risco; $E(R_m)$ é a taxa de retorno esperada do mercado; $(R_m - R_f)$ é o prêmio esperado sobre o risco de mercado; β_i é a sensibilidade do retorno do ativo a variações do retorno no mercado e é determinado através da seguinte regressão:

$$R_i = \alpha_i + \beta_i \cdot R_m + erro \quad (3)$$

O valor de beta oferece uma medida de risco sistêmico da ação. Pode ser estimado pela análise de:

$$\beta = \frac{Cov(R_i, R_m)}{Var(R_m)} \quad (4)$$

Usar o custo de capital de uma empresa como taxa de desconto para diferentes projetos dessa empresa pode ser um erro. O ideal é escolher como aproximação empresas com atividade e risco similar ao projeto em estudo.

O VPL permite classificar diferentes projetos em função da magnitude de seus VPLs. O VPL é o melhor critério de seleção ou ordenação de projetos quando não há restrições orçamentárias (Brealey et al., 2006). Quando há restrições orçamentárias, ou quando há risco de falência, nem todos os projetos com VPL maior que zero serão aceitos.

Segundo Brealey et al. (2006), a regra do VPL permite uma separação efetiva entre o gestor da empresa e os detentores do capital da mesma. Apesar de possuírem diferentes funções de

utilidade, riqueza, aversão ao risco, ou preferências de curto ou longo prazo, todos os acionistas irão concordar com a regra de VPL maior que zero. O papel do gestor será investir nesses projetos, buscando a maximização do VPL da firma.

A condição de VPL maior que zero implica que há projetos semelhantes com relação risco retorno que em que se pode investir. Existe assim um custo de oportunidade a ser superado. Segundo Brealey et al. (2006), o VPL só será positivo se no projeto houver uma vantagem competitiva sustentável em relação a seus competidores. Talvez possa ser dito que $VPL > 0$ seria equivalente a ter uma vantagem em relação a projetos semelhantes em termos de risco e retorno. Isto equivaleria a uma oportunidade de arbitragem. Seguindo este raciocínio, o $VPL > 0$ só seria gerado por um desequilíbrio e portanto, seria uma oportunidade temporária em um ambiente competitivo.

2.2 LIMITAÇÕES DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Segundo Micalizzi & Trigeoris (1999), a análise tradicional de investimentos, que inclui o valor presente líquido (VPL) e outras técnicas baseadas em fluxo de caixa descontado (FCD), apesar de práticas, são inadequadas em muitos casos, pois falham ao não considerar algumas questões de temporalidade ótima, a flexibilidade gerencial e outras opções com importância estratégica.

Na abordagem tradicional, o impacto da incerteza ou risco é unidirecional: quanto maior a incerteza, menor o valor do projeto. No caso das opções reais, a incerteza aumenta o valor da opção (Dias, 2006).

De acordo com Micalizzi & Trigeoris (1999), a incerteza é importante para a avaliação de um investimento, pois estabelece a ligação entre aquisição de informações ao longo do tempo e o valor do projeto. O VPL assume que todas as informações necessárias para se avaliar o investimento estão disponíveis no momento em que se avalia o projeto, o que dificilmente é verdade.

A metodologia clássica também supõe uma taxa de desconto constante, ou um risco constante. Na prática o sabe-se que o risco pode se alterar durante o tempo.

Outros autores como Brealey et al. (2006) afirmam que o método do valor presente líquido não deve ser considerado como uma “caixa preta”. Existem outras ferramentas que podem ser usadas como auxiliares para a avaliação econômica de projetos. Dentre estas estão a análise de sensibilidade, a análise de cenários e a análise de risco através de simulação Monte Carlo. Contudo, estas alternativas de análise econômica também não reconhecem a possibilidade de se alterar o projeto ao longo da sua vida útil, isto é, também não consideram o valor da flexibilidade gerencial.

A análise de sensibilidade consiste em variar o valor das variáveis do projeto, considerando seus valores probabilísticos. Segundo Minardi (2004), a análise de sensibilidade apresenta fraquezas. Existe subjetividade na definição do que é pessimista e do que é otimista. Além disso, dificilmente ocorrerá a variação de uma única variável isoladamente, pois estas são na maioria das vezes correlacionadas.

A construção de cenários busca considerar possíveis combinações de valores para as variáveis. Porém permanece o problema da subjetividade na montagem dos cenários e valores para as variáveis. Além disso, o número de cenários que podem ser construídos é limitado.

A simulação de Monte Carlo permite simular todas as combinações possíveis de valores para as variáveis e determinar a distribuição do valor do projeto. A maior dificuldade continua sendo a determinação das correlações existentes entre as variáveis e as suas respectivas distribuições de probabilidades.

As avaliações de investimento levam em conta expectativas de retornos futuros. Porém estes retornos poderão ocorrer ou não. Logo existem incertezas envolvidas. Os investimentos têm um custo, que sempre incluem uma parcela irreversível no caso não realização dos retornos realizados. Além disso, existem as questões de temporalidade do investimento, isto é, o tempo em que o investimento será realizado. Um projeto pode ser atrasado, por exemplo. Segundo Dixit & Pindyck (1994), essas três características dos investimentos, a saber, irreversibilidade, incerteza e temporalidade, interagem para determinar a decisão ótima para os investidores. Segundo estes autores, a teoria tradicional da avaliação de investimentos falha ao não reconhecer a importância das interações e implicações qualitativas e quantitativas destas interações.

Assim, a literatura sugere que os métodos tradicionais de avaliação de investimentos como o fluxo de caixa descontado (FCD) são rígidos demais e não conseguem captar o valor da flexibilidade dos projetos. Tratam os negócios como se fossem estáticos, sem espaço para a gestão e não consideram a possibilidade de revelação de novas informações. Muitas vezes, subestimam o valor dos projetos, pois não conseguem captar a natureza dinâmica das oportunidades. Ao longo da vida de um projeto pode haver de alterações dos rumos que se aproveitadas pelos dirigentes da firma podem resultar em aumento de valor. Os métodos tradicionais baseando em fluxo de caixa descontado não são capazes de mensurar o valor destas decisões gerenciais. Isto é, não levam em conta o valor positivo da incerteza. A incerteza pode ser positiva se houver flexibilidade gerencial para captar o valor das

oportunidades. Ao mesmo tempo, muitos investimentos estratégicos possibilitam novas oportunidades no futuro.

Devido a estas fraquezas da metodologia clássica, surge a necessidade de uma metodologia que seja capaz de captar o valor de decisões que possam ser tomadas no futuro, isto é, o valor da flexibilidade gerencial. Em contraste, com a abordagem tradicional, a metodologia das opções reais reconhece que os investimentos oferecem diversas oportunidades para a administração. As opções reais levam em conta as dimensões do risco que se relacionam com a aquisição de informações úteis para o negócio e que irão subsidiar futuras decisões e que criarão mais valor para a firma. Reconhecem a interação entre a temporalidade, incerteza e flexibilidade gerencial, como também mostram Dixit & Pindyck (2004).

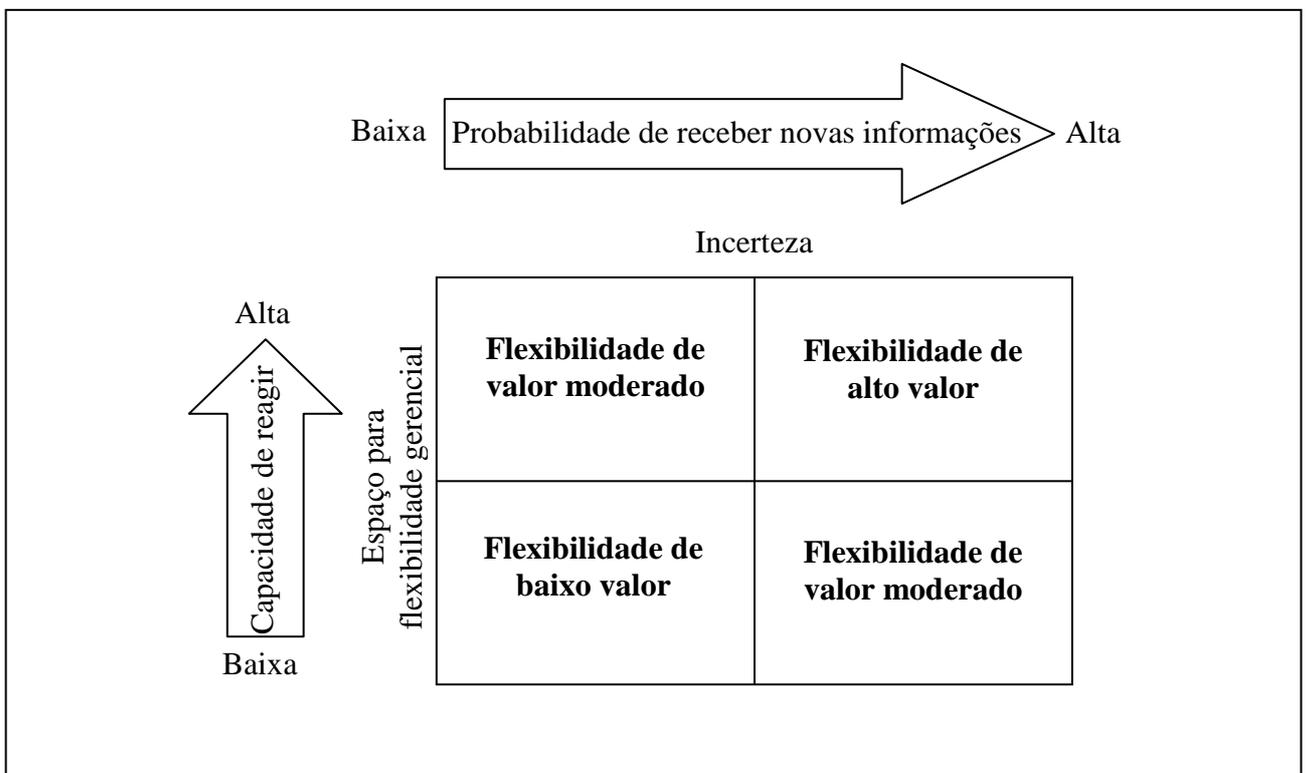


Figura 1 – O valor da flexibilidade gerencial

Fonte: Copeland & Antikarov (2002, p. 15)

A avaliação pela teoria das opções reais é uma expansão do VPL. Valora-se o dinamismo do VPL. É necessário pensar para um projeto se há incerteza e quais as flexibilidades gerenciais possíveis. Segundo Copeland & Antikarov (2002), quanto maior a incerteza e a flexibilidade para a reação, maior será o valor da opção (figura 1).

Quando há grande incerteza com relação ao futuro, maiores são as chances de se obter informações relevantes ao longo do tempo (Dias, 2006). Porém, se há grande incerteza mas esta não pode ser aproveitada, de nada valerá. A gerência precisa ter capacidade de resposta frente às incertezas. É a chamada flexibilidade gerencial. Para projetos com grandes incertezas e grande flexibilidade gerencial, a metodologia das Opções Reais irá mostrar um grande ganho de valor em relação ao VPL.

2.3 OPÇÕES FINANCEIRAS

Quando o valor de um ativo é uma função do valor de outra variável qualquer, como um índice de inflação ou até mesmo do clima, este ativo é chamado de ativo contingente (Dias, 2006). Os chamados ativos derivativos são ativos contingentes que dependem do valor de outros ativos, chamados de ativo-básico, ativo-objeto ou numa tradução literal, ativo subjacente (*underlying asset*). O ativo-objeto pode ser uma *commodity* ou um título financeiro. Entre os ativos derivativos estão os contratos a termo e futuros, *swaps* e opções financeiras.

Uma opção financeira é um contrato que dá o direito de comprar ou vender um ativo qualquer por um preço especificado, chamado de preço de exercício, durante um certo período (até uma data de vencimento, ou tempo de expiração) ou em uma data previamente especificada. O comprador de uma opção possui um direito e não uma obrigação. O valor da opção sempre

está atrelado ao valor do título subjacente, um ativo financeiro. A opção será exercida dependendo do preço futuro do ativo (Elton et al., 2004).

As duas opções mais comuns são as opções de venda ou *put options* e as opções de compra ou *call options*. Quando as opções só podem ser exercidas numa certa data são chamadas de europeias. Se podem ser exercidas em todo o período até o vencimento, são chamadas de opções americanas.

A opção de compra americana dá o direito de adquirir um número de ativos a um preço predeterminado até a data do seu vencimento. O comprador da opção de compra paga um preço para ter esse direito. Se um investidor acredita que o preço de um certo ativo irá aumentar, ele pode investir na opção de compra desse ativo e realizar lucros superiores caso tivesse investido somente no ativo-objeto. Quando uma opção de compra é exercida, ocorre a troca de ativos entre dois investidores: o lançador da opção e o investidor que comprou a opção. Se para uma ação não há pagamento de dividendos ou se o preço de exercício é ajustado pelo valor dos dividendos pagos, o exercício antecipado, isto é exercer a opção antes do seu vencimento, não será vantajoso. Isso porque em vez de exercer uma opção sempre é possível vendê-la. O valor de uma opção é o valor do exercício imediato mais o valor da possibilidade de exercício entre a data de exercício antecipado e o vencimento. Por isso a opção vale mais “viva” do que “morta” (isso é, é mais vantajoso vender a opção do que exercê-la, “matando-a”).

Uma opção de compra europeia não poderá valer mais que uma opção de compra americana com os mesmos parâmetros básicos de vencimento e valor de exercício. A opção americana pode ser exercida a qualquer momento antes do seu vencimento e por isso é mais valiosa (Elton et al., 2004).

Em geral, opções de compra com prazo mais longo são mais valiosas. O valor da opção aumenta também com o aumento da volatilidade. Em relação ao preço de exercício, quanto maior o preço de exercício, menor o valor da opção.

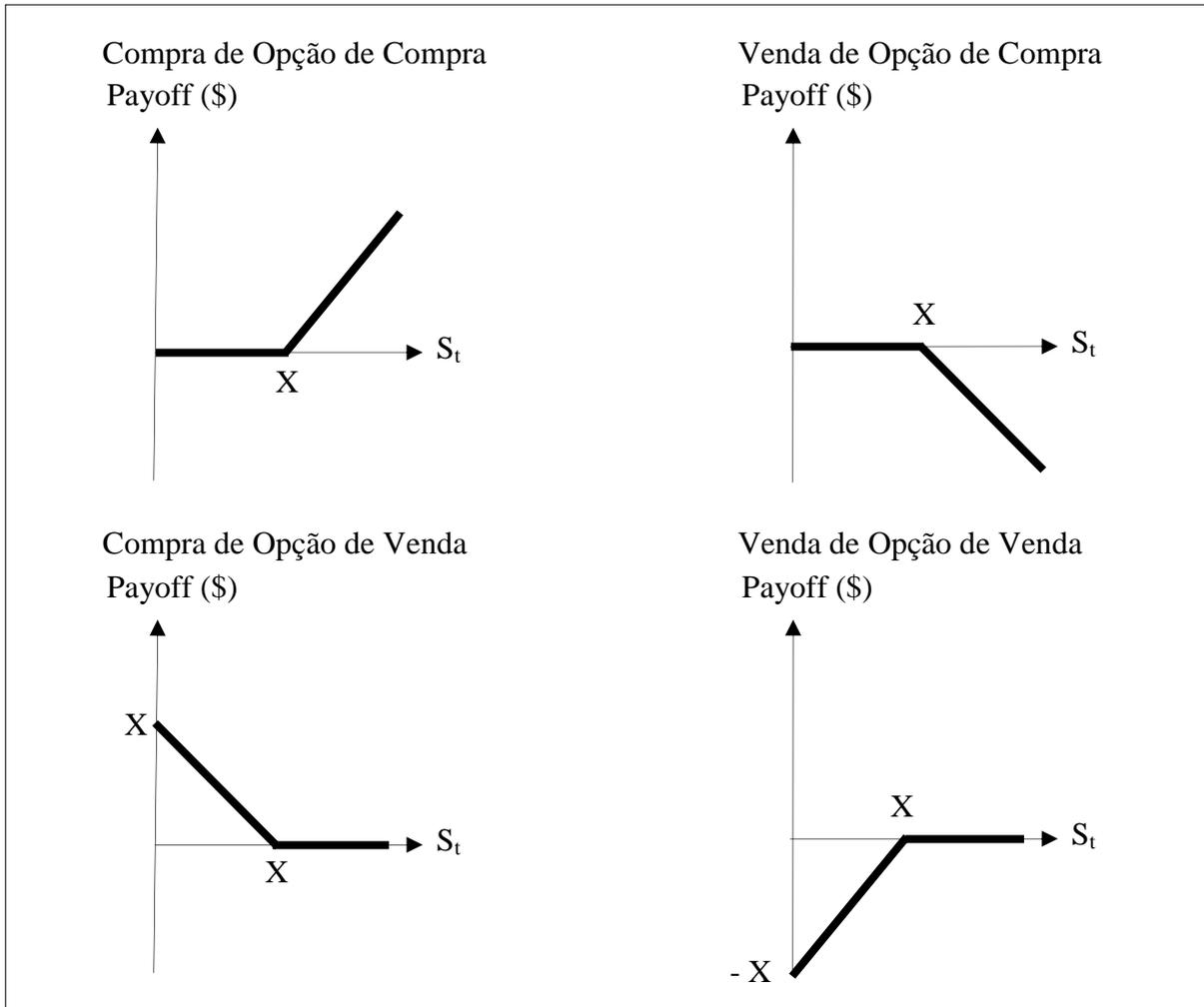


Figura 2 – Pagamentos possíveis na data de vencimento de opções financeiras em função do valor do ativo-objeto

Fonte: Minardi, (2004 p. 27).

Já as opções de venda americanas dão o direito de se vender um ativo a um determinado preço até o seu prazo de vencimento. O comprador da opção de venda paga um preço para ter esse

direito. Se um investidor da bolsa de valores acredita que o ativo irá se desvalorizar no futuro, poderá optar em investir em opções de venda.

O vendedor de uma opção recebe um prêmio no seu lançamento (na emissão da ação), mas posteriormente corre o risco de perdas. O lucro do emissor de opções é o inverso do lucro que o comprador pode ter. Na figura 2 estão os quatro fluxos de caixa no vencimento ou *payoffs* brutos possíveis que podem haver entre os compradores e vendedores de opções de compra e venda de ativos, sendo S o valor à vista do ativo subjacente e X o preço de exercício das opções.

Desconsiderando o prêmio ou custo inicial da opção, pode-se descrever as quatro posições europeias em termos de *payoffs* (fluxos de caixa no vencimento ou pagamentos na data de vencimento) da seguinte forma (Minardi, 2004):

Payoff da compra da opção de compra: $\max(S_t - X; 0)$

Payoff da compra da opção de venda: $\max(X - S_t; 0)$

Payoff da venda da opção de compra: $-\max(S_t - X; 0) = \min(X - S_t; 0)$

Payoff da venda da opção de venda: $-\max(X - S_t; 0) = \min(S_t - X; 0)$

Na data de vencimento o valor da opção irá depender apenas do preço de mercado do ativo básico e do preço de exercício da opção. Porém, até a data do vencimento, o valor de uma opção varia de acordo com seis parâmetros básicos:

1. Preço do ativo corrente (S);
2. Preço de exercício (X);
3. Prazo de vencimento da opção (τ);

4. Volatilidade do preço do ativo (σ);
5. Taxa de retorno livre de risco (R_f);
6. Dividendos esperados durante a vida da opção (D).

Para uma opção americana de compra, aumentos no preço das ações, na incerteza, no tempo de expiração e na taxa livre de risco, aumentam o valor das opções. Aumentos no preço de exercício e nos dividendos diminuem o valor das opções (Minardi, 2004).

Para uma opção de venda, quanto menor o preço do ativo-objeto e maior o preço de exercício, maior o valor da opção. O efeito da taxa de juros e dos dividendos no valor da opção de venda também é o oposto das opções de compra. O aumento na taxa de juros diminui o valor presente do preço de exercício, portanto aumenta o valor da opção de compra e diminui o valor da opção de venda. Quando as opções não são protegidas contra dividendos, o preço do ativo cai na mesma proporção dos dividendos pagos, portanto diminui o valor da opção de compra e aumenta o valor da opção de venda. Para opções de compra americanas não protegidas, pode-se pensar nos dividendos como um custo de espera quando a opção está “no dinheiro” (*deep-in-the-money*).

De acordo com Minardi (2004), único fator que com seu aumento afeta positivamente tanto o valor da opção de compra quanto o valor da opção de venda é a volatilidade do ativo-objeto. A volatilidade do ativo-objeto pode ser expressa através do desvio-padrão dos retornos dos preços do ativo-objeto. Quanto maior a volatilidade, maior a probabilidade de grande variação dos preços do ativo-objeto, isto é, maior a probabilidade de grandes variações dos retornos, muito negativos ou muito positivos. O dono de uma opção poderá receber os benefícios de uma receita favorável, porém evita o prejuízo ao não exercer a opção. O máximo que o dono de uma opção pode perder é o preço pago pela opção. Assim, quanto maior a volatilidade,

maior o valor da opção de compra ou da opção de venda, porque maior a probabilidade de payoffs positivos, e maior o potencial de ganho com grandes variações nos preços ao mesmo tempo em que as perdas possíveis não são realizadas e portanto estão limitadas ao preço pago pela opção.

Para a opção de compra, o efeito do prazo de vencimento é similar ao efeito da volatilidade. Neste caso, quanto maior o tempo, maior a probabilidade de eventos que aumentem o preço do ativo-objeto. Ao mesmo tempo, quanto maior o prazo de vencimento, menor o valor presente do preço de exercício da opção. Esses dois efeitos do aumento do prazo vão na direção de aumentar o valor da opção de compra. No caso da opção de venda, estes fatores, vão em direções opostas. Portanto, é mais difícil prever se o aumento do prazo irá afetar positivamente ou negativamente o valor de uma opção de venda.

A tabela abaixo resume os efeitos dos seis parâmetros básicos para a avaliação de opções.

Aumento da variável	Efeito no valor da opção	
	de compra	de venda
Preço corrente do ativo, S	aumenta	diminui
Preço de exercício, X	diminui	aumenta
Taxa de juros, R_f	aumenta	diminui
Dividendos, D	diminui	aumenta
Volatilidade do ativo-objeto, σ	aumenta	aumenta
Prazo até o vencimento, τ	aumenta	Indefinido

Tabela 1 – Determinantes e seus efeitos no valor: call e put.

Fonte: Minardi (2004)

Em resumo, as opções financeiras existem porque o futuro é incerto. Justamente o que torna uma opção valiosa é a possibilidade de mudança do valor futuro do ativo a que se refere. Caso a opção se mostre vantajosa no futuro, é exercida. No caso das opções, o risco ou a incerteza tem um valor positivo.

2.3.1 Avaliação de Opções Financeiras

A modelagem de opções é feita normalmente para uma opção de compra européia. Se esta opção é protegida contra dividendos ou não paga dividendos antes do seu vencimento, essa modelagem também valerá para opções de compra americanas. Através da fórmula de paridade *put-call* pode-se encontrar o valor da opção de venda a partir do valor da opção compra da opção (Elton et al., 2004).

Segundo Minardi (2004), o modelo de fluxo de caixa descontado não é adequado para avaliar opções por três motivos. Primeiro, é difícil prever os fluxos de caixa de opções; segundo é impossível encontrar a taxa de desconto correta, porque o risco da opção varia ao longo do tempo. Uma opção *in-the-money* é menos arriscada que uma opção *out-of-the-money*. No caso de uma opção de compra, o aumento no preço da ação, aumenta o preço da opção e diminui o risco. O terceiro motivo é que as opções são sempre mais arriscadas que a ação adjacente. Sua volatilidade é maior.

O problema da taxa de desconto da opção e de sua volatilidade não serem constantes e serem maiores que a taxa de desconto do ativo básico pode ser contornado pela construção de uma carteira livre de risco. Se uma carteira oferece o mesmo pagamento em qualquer situação, essa carteira é considerada livre de risco e pode-se descontar os fluxos de caixa pela taxa livre de risco. Esse fato também baseia-se no princípio da não arbitragem. Esta foi a forma

utilizada para se contornar o problema da volatilidade da opção e sua taxa de desconto. Busca-se construir uma carteira livre de risco e então utiliza-se a taxa de desconto livre de risco. Assim, todos os métodos de avaliação de opções financeiras têm dois pressupostos básicos: a construção de uma carteira livre de risco e o princípio da não arbitragem (Elton et al., 2004).

Diferentes modelos de avaliação de opções financeiras diferem basicamente nas hipóteses de como varia o preço da ação-objeto varia durante o tempo. A distribuição pode ser binomial, ou log-normal, por exemplo. Em outras palavras, a diferença entre as formas de avaliação de opções está nas hipóteses de como o preço da ação objeto varia ao longo do tempo. A seguir são apresentados dois modelos de avaliação para opções: a fórmula binomial e a fórmula de Black & Scholes.

2.3.1.1 Modelo de Avaliação de Opções Através da Fórmula Binomial

A modelagem em tempo discreto através de árvore binomial é a forma mais simples de avaliação de opções. Foi desenvolvida por Cox, Ross & Rubinstein e apresentada em um artigo de 1979 (Elton et al., 2004). O valor S_0 do ativo evolui como uma variável aleatória, em tempo discreto, podendo assumir dois valores um superior, uS_0 , com probabilidade p e outro inferior dS_0 , com probabilidade $(1-p)$, conforme a figura abaixo.

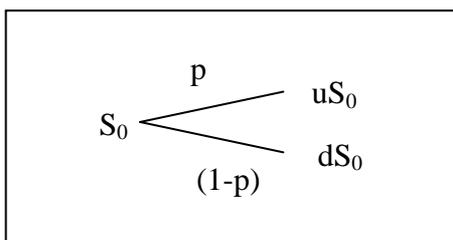


Figura 3 – Flutuações binomiais de um passo: preço do ativo subjacente.

A cada período uma determinada ação tem probabilidade de subir ou descer.

As fórmulas do modelo binomial são deduzidas através da montagem de uma carteira livre de risco, conforme a tabela abaixo.

	Fluxo em t=0	Fluxo em t=1	
Preço do ativo-básico	$S_0 =$	$S_1 = u S_0$	$S_1 = d S_0$
Lançar uma opção de compra	C	$-C_u$	$-C_d$
Comprar uma ação	$-\alpha S_0$	$\alpha u S_0$	$\alpha d S_0$
Empréstimo	$\frac{-C_d + \alpha d S_0}{1 + R_f}$	$C_u - \alpha u S_0$	$C_d - \alpha d S_0$
Total	$C - \alpha S_0 - \frac{C_d - \alpha d S_0}{1 + r}$	0	0

Tabela 2 – Fluxos Carteira Livre de Risco.

Fonte: Elton et al. (2004)

Onde

S_0 = preço da ação-objeto em t=0;

u = fator de variação do valor a ação para cima (1+porcentagem de variação para cima);

d = fator de variação do valor da ação para baixo (1-porcentagem de variação para baixo);

X = preço de exercício da opção de compra;

C = preço da opção; C_u = valor da opção caso a ação suba, ou o máximo entre $uS_0 - E$ e 0;

C_d = valor da opção caso a ação caia, ou o máximo entre $(dS_0 - E)$ e 0;

α = número de *hedge* ou o número de ações compradas por opção de compra para ter *hedge* perfeito;

R_f = taxa de juros sem risco.

Como esta carteira constitui um *hedge* perfeito, os fluxos devem ser iguais no período 1, isto é

$$C_d - \alpha d S_0 = C_u - \alpha u S_0 \quad (5)$$

isolando α , temos $\alpha = \frac{C_u - C_d}{S_0(u - d)}$ (6)

O valor da opção de compra também pode ser escrito como o valor das ações na carteira equivalente menos valor emprestado. Como o valor total no período 0 também é 0, pode-se escrever:

$$C\alpha S_0 - \frac{C_d - \alpha d S_0}{1 + R_f} = 0 \quad (7)$$

Substituindo o valor de α na equação acima temos:

$$C = \frac{C_u P + C_d (1 - P)}{1 + R_f} \quad (8)$$

Onde

$$P = \frac{1 + R_f - d}{u - d} \quad (9)$$

Esta é a probabilidade artificial neutra ao risco de subida da ação e $(1 - P)$ é a probabilidade de descida artificial. Estas probabilidades não são reais e dependem somente de r , u e d . São conhecidas como probabilidades artificiais ou probabilidades de Martingale.

Generalizando o método livre de risco, para mais de um período, tem-se a seguinte árvore de decisão recombinante:

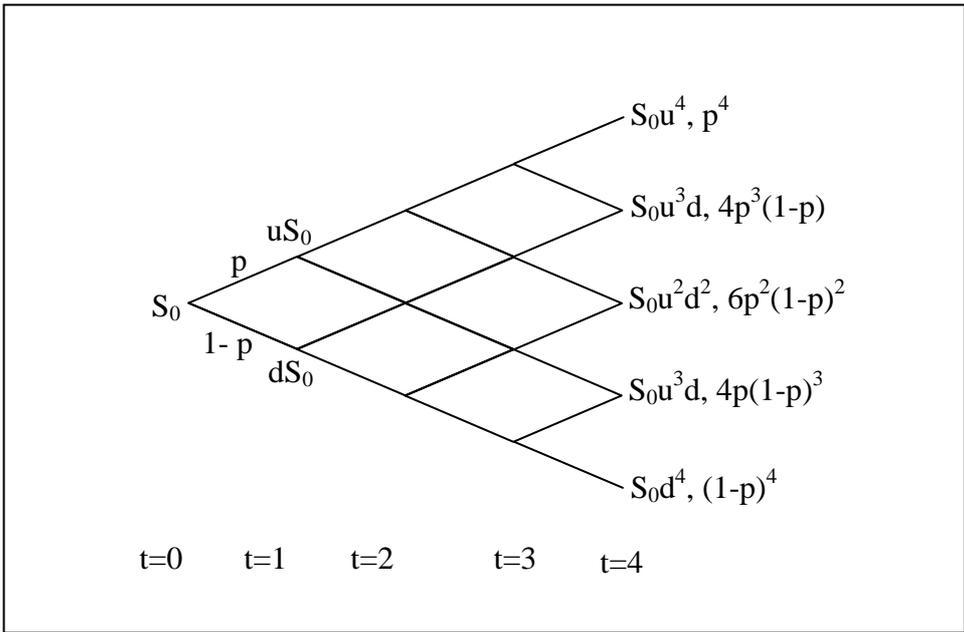


Figura 4 – Flutuações binomiais de quatro passos: preço do ativo-básico

Assim, para uma ação que não paga dividendos, com preço inicial S_0 , tem-se a seguinte equação genérica para o valor de S no nó (i,j) :

$$S_{i,j} = S_0 u^j d^{i-j} \tag{10}$$

Quando numa modelagem via fórmula binomial o processo de formação do preço do ativo básico pode ser dividido em um grande número de sub-períodos de curta duração com pequenas variações de preço, o modelo binomial converge para o modelo de Black & Scholes. Para isso deve-se assumir que o valor do ativo básico segue um Movimento Geométrico Browniano com taxa de crescimento α e volatilidade σ . Os valores de u e d são ajustados da seguinte forma:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \tag{11}$$

$$d = \frac{1}{u} \tag{12}$$

Onde Δt é o intervalo de tempo entre dois passos adjacentes.

2.3.1.2 Modelo de Avaliação de Opções Através da Fórmula de Black- Scholes

A primeira fórmula de precificação de opções foi proposta por Black & Scholes em 1973. Black & Scholes usaram uma “carteira replicável” composta do ativo-objeto e do ativo livre de risco de modo que essa carteira fosse capaz de gerar o mesmo fluxo de caixa de uma opção de compra européia que não pagasse dividendos. Portanto, pelo princípio da não arbitragem, essa carteira deve ter o mesmo custo da opção de compra avaliada. Segundo Minardi (2004), as premissas básicas do modelo são:

- 1) o preço do ativo objeto ou da ação pode ser descrito por um movimento estocástico browniano geométrico (passeio aleatório, processo de Markov) com média μ e desvio padrão σ constantes e com distribuição log-normal;
- 2) não existem requerimentos de margens de garantia;
- 3) não há custos de transação nem tributação;
- 4) os papéis são perfeitamente divisíveis;
- 5) não existem dividendos;
- 6) não existem arbitragens sem risco;
- 7) o papel é comercializado continuamente;
- 8) a taxa livre de risco é constante e igual para diferentes maturidades;
- 9) a volatilidade é constante.

O modelo de Black - Scholes pode ser escrito apenas em função de cinco variáveis:

S = preço da ação hoje

X = preço de exercício

σ = incerteza ou o desvio padrão dos retornos do ativo-objeto

τ = tempo de expiração ou prazo de vencimento

R_f = taxa de retorno de um ativo livre de risco

A fórmula pode ser escrita assim:

$$\text{Valor da opção de compra} = C = S \cdot N(d_1) - X \cdot \exp(-R_f \cdot \tau) \cdot N(d_2) \quad (13)$$

onde

$$d_1 = \ln\left(\frac{S}{X}\right) + \frac{\left(R_f + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot \tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (14)$$

$$d_2 = \ln\left(\frac{S}{X}\right) + \frac{\left(R_f - \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot \tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (15)$$

N (d) = função densidade de distribuição normal acumulada

Assim, N(d1) e N(d2) são probabilidades, estimadas através da função de distribuição normal acumulada. A carteira replicável é montada comprando N(d1) vezes as ações S e N(d2) vezes um empréstimo no valor do valor presente do preço de exercício. A carteira terá o mesmo

fluxo de caixa da opção e portanto o mesmo valor presente da opção de compra. O número de ações compradas para formar a carteira replicável, $N(d_1)$ também é chamado de delta da opção.

Posteriormente, Merton (1973) apud Minardi (2004) modificou a fórmula para prever o pagamento de dividendos. O preço das opções financeiras de compra pode ser estimado pela fórmula de Black-Scholes-Merton abaixo:

$$C = S \cdot \exp(-\delta \cdot \tau) \cdot N(d_1) - E \cdot \exp(-R_f \cdot \tau) \cdot N(d_2) \quad (16)$$

Onde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(R_f - \delta + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \quad (17)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(R_f - \delta - \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \quad (18)$$

δ = taxa de dividendos

$N(d)$ = função de distribuição normal acumulada

2.4 OPÇÕES REAIS

Pode-se pensar em uma oportunidade de investimento em ativos reais de forma análoga a uma opção financeira. Depois de uma análise de viabilidade, ou de uma certa etapa do estudo de um projeto, novos investimentos poderão ser realizados dependendo da resolução de certas incertezas ao longo do tempo. Assim, numa abordagem de opções reais para estes investimentos, o executivo também terá o direito, não a obrigação de investir. Por isso, os projetos de investimento podem ser considerados e tratados como opções, chamadas de opções reais.

As opções reais surgem da junção de dois fatores. O primeiro são as incertezas e o segundo é a flexibilidade gerencial, capaz de aproveitar essas incertezas a favor do desempenho financeiro da firma. Quanto maior a incerteza e maior a capacidade de reação, ou o espaço para a flexibilidade gerencial, maior o valor da opção.

As opções reais podem ser vistas como um problema de otimização sob incerteza onde busca-se maximizar o valor presente líquido (VPL) através do gerenciamento de flexibilidades sujeitas às incertezas de mercado e às incertezas técnicas. Também poderia ser incluídas as incertezas com relação à ação de outros atores. Estas últimas são levadas em conta nas opções associadas à teoria dos jogos, chamadas de jogos de opção.

Leslie & Michaels (1997) estabeleceram paralelos entre o valor de uma opção de compra americana e o valor de um projeto de investimento. Para o caso das opções reais, pode-se estabelecer fatores análogos às opções financeiras. O preço das ações (S) pode ser considerado equivalente ao valor presente do projeto sem flexibilidade. Elevando-se o valor presente do projeto sem flexibilidade, aumenta-se também o valor da opção. O preço de

exercício (X) nas opções reais equivale ao valor presente do custo de investimento. O aumento dos custos de investimentos reduz o valor presente líquido (VPL) do projeto sem flexibilidade e o valor da opção também é reduzido.

Em um projeto de investimento a incerteza (σ) pode ser vista como a volatilidade do projeto como resultado da imprevisibilidade dos fluxos de caixa relacionados ao ativo. Pode ser representada pelo desvio padrão da taxa de crescimento do valor futuro das entradas de caixa associadas ao investimento. Aumentando-se a incerteza em relação a um projeto, aumenta-se o valor da opção. É exatamente o oposto do que ocorre na avaliação por VPL. Isso porque o VPL fica exposto às influências positivas e negativas da incerteza. No caso das opções tanto financeiras quanto reais, ocorre somente a exposição à parcela positiva do risco. Se o resultado for negativo, a opção não é exercida. Por isso, o valor da opção sempre aumenta com o aumento da incerteza.

O tempo de expiração (t) nas opções reais é o período no qual a oportunidade de investimento é válida. Um prazo de vencimento maior permite que se aprenda mais sobre as incertezas envolvendo os negócios. Com isso, eleva-se o valor da opção ao aumentarmos o prazo de vencimento.

Os dividendos (δ) equivalem às perdas de valor crescentes ocorridas durante a duração da opção devido à concorrência. Quanto maior for o volume de fluxo de caixa perdido para a concorrência, menor será o valor da opção.

A taxa de retorno livre de risco (r) é o retorno de um título livre de risco com a mesma maturidade da opção. Quanto maior for a taxa de juros livre de risco, maior será o valor no

tempo da vantagem financeira existente no adiamento do custo de investimento, por isso, maior será o valor da opção.

2.4.1 Tipos de Opções Reais

A avaliação de oportunidades através de fluxos de caixa descontados (FCD) ignora o fato de que as decisões gerenciais não são estáticas. Diversas situações podem levar a diferentes decisões ao longo das fases de um projeto de investimento, dependendo de análises de mercado e do ambiente competitivo. Em geral, tem-se as opções de adiar, abandonar, ou expandir um negócio.

A opção de espera é similar à opção americana de compra. Pode-se esperar para obter novas informações. Mas é uma espera ativa. Na indústria pode-se adiar um investimento até que os preços melhorem ou até que haja maior demanda. Para ilustrar a opção de espera e a vantagem das opções reais, consideremos o caso de uma construção de uma indústria petroquímica, onde o valor do produto e, portanto, as margens são cíclicas e muito voláteis, dependendo da demanda e do cenário macroeconômico mundial. Avaliando-se esta oportunidade apenas através de um fluxo de caixa descontado, poderá resultar facilmente na inviabilidade do projeto, principalmente se a entrada em operação coincidiu com um momento de baixa do ciclo. Se existe a opção de se adiar o projeto, certamente o valor aumentará, podendo até ser viabilizado. Pode-se programar a entrada em operação em um momento de alta de preços, ou esperar até que o cenário de aumento de preços se confirme (Copeland & Antikarov, 2002).

Outro exemplo de opção de adiamento de projeto é a exploração e produção de campos maduros de petróleo. A empresa, ao arrendar um campo de produção, está na verdade

comprando o direito de explorá-lo até um certo prazo. Hoje talvez a produção deste campo tenha um VPL negativo. Porém, com uma mudança no cenário internacional e nos preços do petróleo, a produção desse campo pode se tornar viável no futuro. Assim, o possuidor desta licença pode esperar até que o preço do petróleo justifique a produção do campo. Avaliando-se o valor deste ativo apenas através do seu valor presente líquido, o administrador seria levado a vendê-lo. Porém, é possível que muitos destes campos tenham um valor positivo após ter sido feita uma avaliação por opções reais, levando em conta o valor positivo da incerteza (Copeland & Antikarov, 2002).

Quando um projeto pode ser dividido em diferentes etapas, também existe a opção de espera em cada fase. Existe um grande ganho ao se identificar as fases em que os projetos podem ser quebrados e avaliados. Uma vez que as oportunidades de investimento foram divididas em diferentes fases, a avaliação por opções reais ajudará a avaliar o valor de espera de um projeto.

A opção de espera permite que o decisor evite prejuízo em caso de preços baixos. Em caso de preço baixo, não se investe no projeto. Ao se avaliar o projeto, o valor é aumentado, porque o valor mínimo da opção é zero, isto é, não se investe em caso de queda de preços.

Na opção de abandono, se o resultado do projeto for ruim, pode-se abandonar o projeto ou a atividade até o final de um período e realizar o valor de liquidação esperado. O valor de liquidação de um projeto estabelece um limite inferior para o valor do projeto como um todo. Assim a opção de liquidação é valiosa e similar a uma opção de venda (*put option*).

A opção de expansão ou contratação também é similar a uma opção americana de compra de ações. A administração tem a opção de expandir a produção ou construir uma instalação com

uma capacidade maior, para ter o direito de vender mais no futuro, dependendo se as perspectivas de ganho futuro se confirmar.

As opções de mudança correspondem às opções de parar e reiniciar a operação de uma indústria sempre que conveniente. Outro exemplo de opção de mudança é a produção flexível, capaz de produzir diferentes produtos em uma mesma unidade industrial.

As chamadas opções compostas ou seqüenciais são oportunidades que abrem novas possibilidades de investimento. Por exemplo, plantas que podem ser construídas em diversas etapas, dependendo do que acontecer no futuro. Ou o lançamento de um produto, que dependendo do resultado, abre espaço para novos lançamentos de novos produtos de uma linha inteira.

As chamadas opções “arco-íris” são aquelas que dependem de um grande número de fatores incertos. Por exemplo, programas de P&D que dependem tanto da incerteza tecnológica quanto de incertezas de produto e mercado.

Todas estas opções podem auxiliar o decisor a atribuir valor adicional para seus projetos. Quando a flexibilidade é levada em conta, o valor do projeto pode aumentar significativamente, ocasionando até a aprovação de projeto que antes da análise por opções reais tinha um VPL negativo. Análise por opções reais pode auxiliar também a comparação entre diferentes projetos em relação a aspectos estratégicos, ajudando assim na tomada de decisões.

2.4.2 Modelos de Avaliação de Opções Reais

Pode-se classificar os modelos de avaliação de opções reais em duas categorias básicas: os modelos em tempo contínuo e os modelos em tempo discreto.

Segundo Dias (2006), os modelos de opções reais em tempo contínuo partem da modelagem da equação diferencial parcial (EDP) da opção e de suas condições de contorno. Para se escrever a EDP e suas condições de contorno usa-se o Lema de Ito associado a um método de otimização sob incerteza, por exemplo, o método de programação dinâmica sob incerteza ou o método dos ativos contingentes. O processo estocástico do valor do projeto é modelado dentro da equação. Teoricamente, pode-se usar dois ou mais processos estocásticos dentro da equação diferencial. Porém, com isso aumenta-se a complexidade do cálculo. Adicionalmente, dependendo do processo estocástico, a EDP pode não ter solução analítica e será necessário o uso de aproximações ou de métodos numéricos para se determinar o valor da opção.

Já os métodos em tempo discreto não necessitam da resolução de equações diferenciais complexas. Porém é necessário um número suficiente de passos (Brandão, 2006). Um exemplo de modelo de avaliação de OR em tempo discreto foi proposto por Copeland & Antikarov (2002), doravante CA, chamada de processo de avaliação de opções reais em quatro passos.

O primeiro passo é o cálculo do valor presente líquido sem flexibilidade. Deve-se modelar os fluxos de caixa do projeto e descontá-los à taxa de desconto ajustado ao risco do projeto. Deve-se descontar os fluxos de caixa à taxa ajustada ao risco do projeto para se determinar o VPL do projeto sem flexibilidade gerencial.

O segundo passo é a modelagem das incertezas seguido de uma simulação de Monte Carlo. Para tanto, são escolhidas as variáveis incertas para o projeto e determinadas as suas distribuições probabilísticas e os processos estocásticos envolvidos. Através de simulações de Monte Carlo é determinada a volatilidade (desvio padrão) do valor agregado do projeto.

A partir da volatilidade do projeto é montada uma árvore binomial recombinante utilizando probabilidades neutras ao risco e o valor da volatilidade agregada do projeto determinado via simulação Monte Carlo. É usado o mesmo modelo binomial de Cox, Ross & Rubinstein (1979) apud Elton et al. (2004), com as mesmas fórmulas para os valores de u , d , e p , mostradas anteriormente.

O terceiro passo é identificar e incorporar no modelo de incerteza a flexibilidade gerencial. Representa-se a capacidade de resposta da gerência frente à revelação de novas informações. A árvore é “podada”, tornando-se uma árvore de decisão (Copeland & Antikarov, 2002).

O quarto e último passo é o cálculo da opção real. O cálculo é feito de trás (últimos períodos) para frente (até o primeiro período). No último período, o valor do fluxo de caixa será o máximo entre o valor da opção e zero. Nos períodos anteriores, tem-se a opção de se exercer a opção ou esperar para exercê-la. O valor destes fluxos de caixa será então o máximo entre o valor do exercício imediato e o valor de espera para o resultado do período subsequente.

Assim, a metodologia de CA apresenta algumas vantagens do ponto de vista prático. Em primeiro lugar, é mais simples de ser aplicada. Não necessita resolver equações diferenciais parciais. Outra vantagem é poder tratar diferentes processos estocásticos em um mesmo projeto. Para isso, usa a simulação de Monte Carlo. Em termos práticos, pode-se usar um

número maior de processos estocásticos que os possíveis de serem utilizados em modelos em tempo contínuo.

Por outro lado, o modelo de CA tem duas premissas básicas: a negação do ativo negociado ou *Marketed Asset Disclaimer* (MAD) e a premissa que os retornos do projeto são normalmente distribuídos.

O MAD prevê que a simulação do retorno do valor do projeto representa uma estimativa para a relação risco-retorno do projeto. Esta premissa oferece uma maneira alternativa para avaliar o ativo básico ou valor do projeto, sem a necessidade de se identificar um ativo semelhante no mercado. No caso de projetos, nem sempre existem ativos semelhantes sendo negociado no mercado e, portanto, não é fácil determinar a sua volatilidade. Logo essa premissa simplifica o trabalho e oferece uma maneira alternativa de se avaliar a volatilidade do projeto através de uma simulação de Monte Carlo.

A hipótese de retorno estar normalmente distribuído implica que as variações do retorno do projeto seguirão caminhos aleatórios. Segundo Samuelson (1965b) apud Magalhães Jr. (2006), em um mercado eficiente os preços de um ativo já refletem todas as informações disponíveis. Portanto, pode-se esperar que independentemente dos fluxos de caixa esperados para um dado projeto, o VP possuirá variações que sigam um caminho aleatório. Neste caso a volatilidade do projeto poderá ser obtida pela simulação Monte Carlo, devido à premissa de MAD.

Segundo Dias (2005), CA também assume que o valor agregado da firma ou do projeto segue aproximadamente um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Está hipótese de CA está baseada no Teorema de Samuelson (1965b) apud Dias (2005), segundo o qual mesmo que

existam várias variáveis estocásticas seguindo diferentes processos estocásticos, mesmo que correlacionados, o retorno agregado da firma seguirá um MGB, mesmo que haja variações cíclicas em diferentes componentes do retorno. Desta forma, CA defende o uso do MGB do projeto agregado no cálculo da opção real.

Para o caso da opção de espera, o modelo de CA será análogo ao modelo de avaliação de uma opção americana através da fórmula binomial. A única diferença será na forma como se determina a volatilidade dos ativos. No caso de ativos financeiros, como ações, pode-se usar o desvio padrão do seu retorno. No caso da opção real de espera, a volatilidade do projeto é calculada a partir de simulações do próprio valor do projeto sob incertezas (ou através de simulações de Monte Carlo).

2.4.3 Limitações da Teoria de Opções Reais

Os principais modelos de opções reais estão baseados em modelos para avaliação de opções financeiras. Estes modelos apresentam algumas premissas em comum com as premissas da fórmula de Black-Scholes-Merton tais como taxa livre de risco constante e volatilidade constante. A taxa livre de risco e a volatilidade não são constantes em termos práticos para o caso de opções financeiras (Rocha, 2003) e provavelmente também não serão constantes para opções reais também.

Outra premissa importante tanto da fórmula binomial quanto da fórmula de Black-Scholes-Merton é que o valor do ativo básico segue um MGB. No caso dos modelos de Opções Reais com essa mesma premissa, seria equivalente a dizer que o valor do projeto segue um MGB. No caso de CA, busca-se fundamentar essa hipótese pelo Teorema de Samuelson (1965b).

Porém ainda não há uma forma consolidada de se testar a hipótese de MGB para o valor de um projeto real.

No caso das opções financeiras, o exercício da opção é imediato. No caso das opções reais, o exercício geralmente não é imediato (Magalhães Jr., 2006). Segundo Pinto (2004) apud Magalhães Jr. (2006), o exercício não imediato leva a decisões sub-ótimas.

Uma análise baseada apenas em opções reais poderá falhar ao não identificar a importância da interação entre os concorrentes de um mercado e a sua possível reação a um dado investimento. Smit & Trigeorgis (2004) propõem um arcabouço baseado na teoria dos jogos para uma análise do valor das interações com outros concorrentes, buscando-se determinar o valor estratégico das opções reais. Este arcabouço apresenta além do VPL e do valor das opções reais, um componente de teoria dos jogos para analisar o valor de movimentos estratégicos.

Os modelos de opções reais normalmente assumem hipóteses de monopólio ou de mercado perfeito e não levam em consideração as interações estratégicas entre possíveis investidores e seus concorrentes. Tipicamente a literatura de opções reais analisa as decisões de investimento considerando um único agente isolado.

No entanto, a maioria das decisões de investimento estão inseridas dentro de um ambiente competitivo. As chamadas interações estratégicas precisam ser levadas em conta de forma a completar o modelo de análise de um investimento sob incerteza. Em um ambiente competitivo existe o risco de investimento prematuro por um dos agentes de forma a tentar impedir ou desestimular os demais agentes a investirem. Esse risco é maior quando há vantagem em ser o primeiro a investir, para tomar o mercado, definir um padrão ou dominar

uma tecnologia. O ganho da opção de espera deve ser ponderado nesse caso. Outros tipos de interação ocorrem quando o valor do investimento depende do número de agentes que irão realizar o investimento. Nos dois casos o valor do tempo é importante e a decisão de um investidor é influenciada pelas possíveis reações de todos os competidores.

O valor da opção de espera tende a recomendar o atraso do projeto, enquanto a ameaça de investimento prematuro tende a recomendar a antecipação do projeto. O tempo ótimo para o investimento possivelmente será entre esse dois extremos. As metodologias mais recentes de análise de investimento sob incerteza já combinam elementos de opções reais e teoria dos jogos em um único modelo, para que a opção de espera e a ameaça de adiantamento possam ser balanceadas na avaliação.

3 CARACTERIZAÇÃO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

De acordo com estimativas da ABIQUIM (2006), a indústria química nacional representou cerca de 3,9% do PIB brasileiro e 12,2% do PIB industrial em 2004, constituindo o segundo maior setor da indústria brasileira, atrás apenas da indústria de alimentos e bebidas (figura 5).

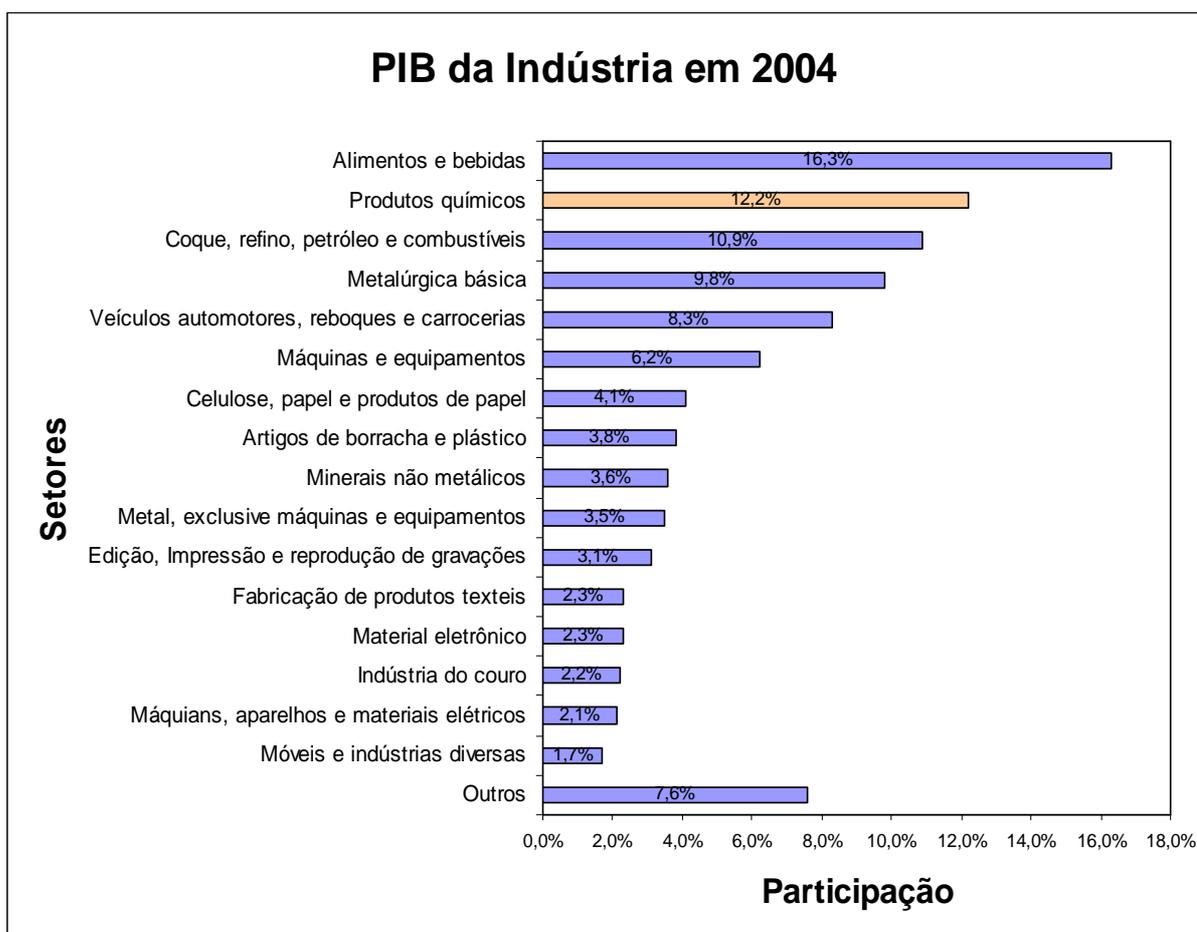


Figura 5 – Composição do PIB da Indústria em 2004.
Fonte: ABIQUIM (2007)

Pode-se separar os produtos químicos em duas grandes categorias: os de uso industrial e os de uso final. Os produtos químicos de uso industrial incluem produtos inorgânicos, orgânicos, resinas e elastômeros e são empregados nas mais diversas indústrias, como na produção de alimentos, fertilizantes, automóveis, computadores, roupas e utensílios domésticos. Os produtos químicos de uso final incluem produtos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, perfumaria, cosméticos, adubos, fertilizantes, defensivos agrícolas, sabões, detergentes e produtos de limpeza, tintas, esmaltes vernizes e outros. Os produtos químicos de uso industrial são os mais representativos em termos de faturamento. Ver figura abaixo.

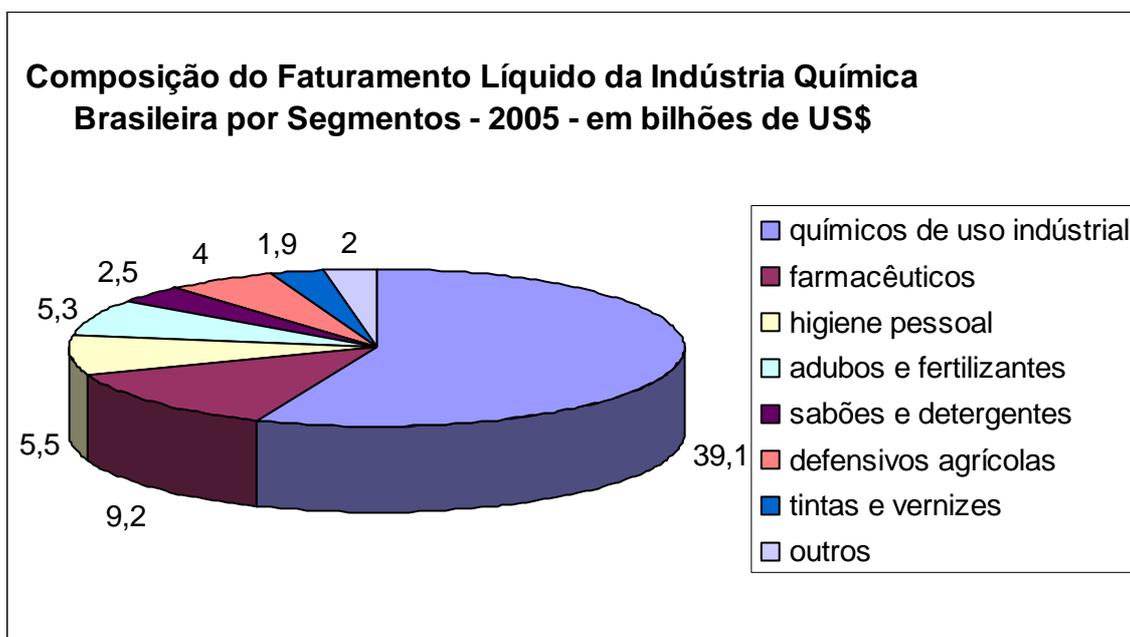


Figura 6 – Composição do Faturamento Líquido da Indústria Química Brasileira por Segmentos – 2005.

Fonte: ABIQUIM (2007)

As matérias-primas da indústria química têm origens diversas como: origem mineral, incluindo petróleo e gás natural, carvão, rocha fosfática, enxofre, alumínio, cobre, ferro, etc.; origem vegetal: óleo de milho, de soja, de coco, etc.; origem animal, como mucosa bovina e suína, etc.

Dentro da indústria química, está a indústria petroquímica, que utiliza como matéria-prima produtos derivados do petróleo e gás natural. Os derivados do petróleo (nafta petroquímica, gasóleos e outros) e do gás natural (metano, etano e propano) são fornecidos para a indústria petroquímica chamada de 1ª geração, que produz os petroquímicos básicos. Os petroquímicos básicos podem ser divididos em olefinas e aromáticos. As duas principais olefinas são o eteno (ou etileno) e o propeno (ou propileno). Os principais aromáticos básicos são o benzeno e o para-xileno.

Uma classificação tradicional baseada nas características técnico-econômicas dos produtos químicos foi elaborada por Kline (1976) apud Rocha (2002) e agregando-os em quatro categorias: *commodities*, *pseudo-commodities*, produtos de química fina e especialidades químicas.

As *commodities* são produzidas em grande escala em unidade de processamento contínuo. Os produtos são caracterizados por uma especificação técnica bem definida. Não há diferenciação entre produtos concorrentes. Estes produtos serão matéria-prima de outros. Podemos citar como exemplos o eteno, o propeno, amônia, p-X, ácido sulfúrico.

As *pseudo-commodities* diferem das *commodities* pelo fato da compra ser definida não por especificação, mas sim pelo desempenho. Como exemplo tem-se as resinas termoplásticas, elastômeros e fibras artificiais.

Os produtos de química fina não estão sujeitos a diferenciação, assim como as *commodities*. No entanto são produzidos em pequena escala.

Já as especialidades químicas possuem algum grau de diferenciação assim como as pseudo commodities, porém, são produzidos em pequena escala em unidade de pequeno porte. São fabricadas muitas vezes para atender necessidades de clientes específicos. Como exemplos temos os adesivos, os anti-oxidantes, catalisadores, e outros.

3.1 O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Segundo Wongtschowski (1999), a indústria química mundial era liderada pela Alemanha até a Segunda Guerra Mundial. A base da indústria química alemã era o carvão. Durante a Segunda Guerra Mundial a indústria química americana se desenvolveu muito utilizando como matéria-prima básica os derivados de petróleo. Os Estados Unidos reuniram um conjunto de fatores que levaram ao desenvolvimento da Indústria Petroquímica, como matéria-prima abundante e barata, mercado consumidor, tecnologia e incentivos ao desenvolvimento acelerado devido às necessidades da Segunda Guerra Mundial.

Após a segunda guerra mundial, nas décadas de 40 e 50, iniciou-se um processo de difusão tecnológica pelo Japão e Europa através das chamadas *specialized engineering firms*, que passaram a desenvolver e vender tecnologias de produção petroquímica, tanto próprias como licenciadas. Nos anos 60 as empresas de engenharia passaram também a difundir tecnologias que dominavam e que tinham suas patentes vencidas (Wongtschowski,1999).

Nos últimos vinte anos a indústria petroquímica mundial tem passado por drásticas mudanças. Até 1980 EUA, Europa Ocidental e Japão representava 80% da produção mundial de petroquímicos no mundo. A partir da década de 80 diversos investimentos em unidades de grande escala foram implantados em outras regiões do mundo como Oriente Médio, Ásia e Canadá. Países com grandes reservas de petróleo e gás natural passaram a investir na indústria

petroquímica, mesmo que possuindo um mercado doméstico pequeno, exportando grande volumes de produção. EUA, Europa e Japão, países que se tornaram vulneráveis à importação desses produtos de baixo custo (Wongtschowski, 1999). Como consequência houve queda de preços e da rentabilidade da indústria como um todo. Outros países também buscaram desenvolver indústria petroquímicas para reduzir sua dependência de importações, entre estes Malásia, Indonésia, China e Brasil.

Em 2004, entre as dez maiores indústrias químicas, oito eram indústrias preponderantemente petroquímicas. A indústria petroquímica está concentrada em três grandes regiões: América do Norte, Europa e Ásia, sendo esta última a região de maior crescimento.

Pode-se dizer que a globalização é o grande motivador das recentes transformações da indústria química mundial, levando à concentração, especialização e descentralização dessa indústria (Wongtschowski, 1999). A globalização ocorre devido à alta mobilidade de capital, da grande abertura dos mercados e do grande desenvolvimento das telecomunicações. A concentração é o processo de criação de empresas de grande escala que buscam um forte posicionamento no mercado. A especialização é a escolha de produtos principais e a saída de negócios periféricos. A descentralização ocorre devido à formação de grandes pólos próximos a regiões produtoras de matéria-prima ou dos mercados consumidores.

3.2 CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

As principais características da indústria petroquímica são:

- Concorre com os combustíveis pelo uso da matéria-prima;
- Grandes plantas (escala é importante);
- Poucas empresas (concentração), processo de consolidação ainda está em curso;

- Maior parte são produtos do tipo *commodities* (pouca diferenciação dos produtos);
- Alto grau de internacionalização (mercado mundial, globalização);
- Comportamento cíclico;
- Altos custos de P&D;
- Indústria de capital intensivo.

Segundo Wongtschowski (1999), a indústria petroquímica tem passado por grandes transformações nos últimos anos, como resposta às crescentes dificuldades encontradas pelo setor. A globalização, ou a desregulamentação da indústria petroquímica em nível mundial, levou as empresas a se reestruturarem. A indústria petroquímica é mundial, isto é, a determinação do preço é internacional. A fim de reduzir custos, ganhar escala e competitividade, duas possíveis estratégias foram adotadas: concentração (alianças com concorrentes) e integração vertical (alianças de clientes e fornecedores). Fusões e aquisições foram efetuadas em grande número na década de 90 para atenuar os riscos dos negócios petroquímicos. A intensidade do capital e a grande escala das unidades levaram à consolidação da indústria em um pequeno número de atores que atuam internacionalmente (Wongtschowski, 1999).

O setor petroquímico apresenta produtos pouco diferenciados (ou produtos tipo *commodity*), onde ocorre competição preponderantemente por preço. O preço é determinado pelo balanço entre oferta e demanda. Novos investimentos requererem escalas cada vez maiores para serem competitivos. Em contrapartida, quando estes entram em operação, normalmente ocorre um excesso de oferta do produto, levando à queda de preços. Os incrementos de capacidade em grandes degraus geram desequilíbrios entre oferta e demanda. Como efeito destes

desequilíbrios, os preços petroquímicos apresentam ciclos, apresentando margens reduzidas de tempos em tempos.

Para uma *commodity* qualquer, após o início da operação de novos investimentos em escala de classe mundial, há uma oferta de excedente de produto, gerada por uma ou mais unidades novas. Tem-se a parte baixa do ciclo. Com isso os preços caem em um movimento de “fly-down”. Com o tempo, a economia cresce e os mercados se recuperam. A relação oferta demanda se equilibra e posteriormente os preços começam a subir novamente, no movimento de “fly-up”. Nesse momento de alta de preços, novos investimentos são feitos ao mesmo tempo e quando efetivados, levam o mercado novamente para um ciclo de baixa, pelo excesso da oferta, fazendo com que as empresas operem abaixo da sua capacidade, reduzindo margens e lucro (Wongtschowski, 1999).

Considerando investimento em novas unidades de produção, a ciclicidade é o maior desafio da indústria química (Wongtschowski, 1999). A indústria até aqui se mostrou incapaz de gerenciar os ciclos de investimento. Todos os investidores parecem tomar as mesmas decisões ao mesmo tempo, o que se era agravado pela grande escala dos empreendimentos. Recentemente estão se desenvolvendo algumas *joint ventures* para evitar excessos de produção. Também estão ocorrendo consolidações também por considerar-se os novos investimentos. Assim a consolidação do setor petroquímico pode ocorrer por diferentes motivos: reduzir custos comuns, aumentar a lucratividade pelo aumento do *market share*, desenvolver a tecnologia em uma base mais ampla, e obter acesso a mercados globais.

3.3 A INDÚSTRIA DE POLIPROPILENO

Um das resinas termoplásticas mais importantes da indústria petroquímica é o polipropileno (PP). O PP é o polímero formado através da polimerização (de adição) do propeno. Portanto pertence ao grupo das poliolefinas, sendo mais duro e resistente ao calor que o polietileno, outra poliolefina muito difundida. É uma resina versátil, podendo ser produzidos diferentes graus de PP, com ampla faixa de propriedades e de aplicações. É amplamente utilizado na fabricação de artigos moldados e fibras, com aplicações tanto de uso doméstico quanto de uso industrial. Dentre os usos domésticos, pode-se citar a utilização em embalagens, brinquedos e artefatos médicos. Na indústria, o PP é muito utilizado na fabricação de peças e componentes automotivos.

Devido às excelentes propriedades, grande processabilidade e versatilidade de usos e aplicações, o polipropileno é um dos plásticos com maior venda e taxa de crescimento no mundo. O PP tem aplicações tanto como plástico de grande consumo quanto como plástico de engenharia, concorrendo com estes últimos em aplicações onde o brilho não é importante, com a vantagem de ser normalmente mais barato que os plásticos de engenharia tradicionais (Montenegro et al., 1996).

Segundo Montenegro et al. (1996), há três tipos principais de PP (que por sua vez podem ser produzidos em diferentes graus): homopolímero, copolímero estatístico (ou randômico) e o copolímero alternado. As principais aplicações são respectivamente: fibras, embalagens e peças automotivas.

O copolímero estatístico é obtido através da adição do eteno ao propeno, resultando em um produto mais resistente ao impacto e com maior transparência que o PP homopolímero. O

copolímero alternado é produzido em duas etapas. Na primeira, é obtido o homopolímero. Na segunda ocorre a copolimerização com eteno. Obtém-se um produto emborrachado com grande capacidade de absorver impacto.

Há também o PP bi-orientado com melhores propriedades óticas e melhor resistência ao impacto. É usado na produção de películas e fitas adesivas.

De acordo com Montenegro (1996), há duas categorias principais de produtores de PP. A primeira categoria é formada pelos produtores especializados em polimerização, que buscam a diferenciação por custos e economia de escala através da construção e operação de grandes unidades. Normalmente esses produtores são especializados nas *commodities* do PP, como o PP homopolímero para a produção de fibras. Já o segundo grupo é composto de empresas que oferecem uma vasta gama de produtos, procurando atender às diferentes necessidades técnicas dos clientes. Nesse caso, a diversificação da produção é mais procurada do que a economia de escala.

Neste trabalho será considerada apenas a produção de PP homopolímero, que pode ser considerada uma *commodity*. Um dos motivos para essa escolha é que só se dispunha de séries de tempo para os preços do PP homopolímero. Assim, não será considerada a produção de outros tipos e graus especiais de PP usados em aplicações especiais. Pode-se dizer que estratégia do projeto deste estudo é a construção de uma unidade de grande escala que busca diferenciação através da redução de custos operacionais.

4 METODOLOGIA

O cálculo do valor de espera do projeto de investimento foi estimado por dois modelos de avaliação diferentes. O primeiro está baseado no modelo de avaliação de opções reais em quatro passos, proposto por CA, já descrito anteriormente.

O segundo modelo foi proposta por Dias (2006), onde, depois do cálculo da volatilidade agregada do projeto, utiliza-se um programa computacional (disponível em <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>) que resolve a equação diferencial parcial da opção (EDP de Black-Scholes) por aproximações numéricas.

Em ambos os modelos, os dois passos iniciais são iguais. O primeiro passo é a determinação do VPL do projeto sem flexibilidade. Depois, deve-se determinar a volatilidade agregada do projeto através de simulações de Monte Carlo do próprio valor do projeto. No presente trabalho, esta determinação da volatilidade foi feita conforme proposto por Dias (2006) e por Brandão (2006) e não conforme CA. Porém, em ambos os casos assume-se a hipótese do MAD e a hipótese de que o valor do projeto segue um movimento geométrico browniano.

O cálculo da volatilidade agregada do projeto também foi calculado considerando diferentes processos estocásticos para os preços da matéria-prima e dos produtos. Os três processos

possíveis considerados para os preços são: movimento geométrico browniano, reversão à média e reversão à média com saltos.

Os dois modelos de avaliação de opções reais de espera diferem basicamente na etapa do cálculo do valor da opção: na primeira usa-se a construção de uma árvore binomial (e usa-se a fórmula binomial), enquanto na segunda resolve-se numericamente a equação diferencial parcial da opção real de espera.

Finalmente o valor da opção de espera calculado por estes dois modelos foi comparado com o valor de opção de compra, calculado através da fórmula de Black&Scholes&Merton, considerando os mesmo parâmetros básicos (valor do ativo básico, volatilidade, tempo de expiração, etc).

Em resumo, a metodologia deste estudo seguiu os seguintes passos:

- Determinação do VPL do projeto sem flexibilidade;
- Estimativas dos parâmetros dos processos estocásticos das variáveis incertas envolvidas;
- Simulação de Monte Carlo para a determinação da volatilidade agregada do projeto, em diferentes casos, considerando diferentes processos estocásticos nos preços (movimento geométrico browniano, reversão à média e reversão à média com saltos) e um processo estocástico para o crescimento do PIB, a partir do qual se calcula o crescimento da demanda interna do produto;
- Cálculo do valor da opção de espera, primeiro através da fórmula binomial (CA), depois através de aproximações numéricas da equação diferencial parcial da opção

(EDP de Black-Scholes) e finalmente através da equação de Black-Scholes-Merton, apenas para efeito de comparação.

4.1 ESTIMATIVA DO VPL DO PROJETO SEM FLEXIBILIDADE

Os fluxos de caixa do projeto foram modelados e descontados à taxa ajustada ao risco (taxa mínima de atratividade do projeto), determinando-se assim o VPL estático do projeto.

Uma etapa importante no cálculo do VPL do projeto sem flexibilidade é a determinação da taxa mínima de atratividade do projeto.

4.1.1 Determinação da Taxa Mínima de Atratividade do Projeto

Para a determinação da taxa mínima de atratividade, considera-se que o projeto será capitalizado apenas com recursos próprios. Portanto, não será considerada a possibilidade de financiamento do projeto.

O custo de capital próprio (que também representa o retorno esperado do projeto) pode ser determinado através do modelo de CAPM, descrito na equação (2).

Segundo Bordeaux-Rêgo et. al. (2006), a estimativa do prêmio de risco de mercado e dos betas ficam comprometidos no Brasil devido 1) à inexistência de séries históricas de retornos do mercado de capitais brasileiro com período adequado, 2) ao baixo volume de negociação dos ativos e 3) a outros problemas de natureza institucional do mercado brasileiro. É necessário fazer algumas adaptações ao se utilizar o CAPM no Brasil. Algumas opções de modificações são possíveis. A primeira delas é utilizar o prêmio de risco do capital americano

e o beta de ativos americanos, adicionando-se ao modelo prêmios de risco associados ao risco Brasil.

O risco Brasil, segundo Frankel (1991) apud Bordeaux-Rêgo et. al. (2006) p. 87 “deve captar todas as barreiras à integração dos mercados financeiros como os custos de transação e informação, controle de capitais, leis de tributação discriminatórias, riscos de moratória e controles cambiais”. O prêmio do risco Brasil pode ser estimado como a diferença de um título de renda fixa do governo brasileiro sobre a taxa livre de risco dos Estados Unidos.

Ultimamente o prêmio de risco Brasil tem sido estimado pelo *emerging markets bond index plus* (Embi+), calculado pelo J. P. Morgan Chase. O Embi+ é um indicador do prêmio de risco soberano de um país. No caso do Brasil, o Embi + BR é composto de uma carteira de títulos brasileiros e considera a diferença (*spread*) sobre a taxa de juros de títulos americanos com o mesmo prazo. Em outras palavras, o indicador calcula o excedente em relação à rentabilidade do bônus do governo norte-americano. A cada 100 pontos expressos pelo risco Brasil, os títulos do país pagam em média uma sobretaxa de 1% sobre os papéis dos Estados Unidos. O risco Brasil medido pelo Embi+ Br esteve na casa dos 160 pontos em outubro de 2007.

A taxa de desconto do projeto considerada será real, isto é, sem inflação.

4.1.2 Determinação dos Fluxos de Caixa do Projeto

Os fluxos de caixa do projeto também são calculados em moeda constante, sem inflação e, portanto, são fluxos de caixa reais.

Os fluxos de caixa referem-se a uma unidade típica de 300 mil toneladas por ano de polipropileno. Os custos variáveis não serão apresentados por motivo de confidencialidade dos dados. As séries de preços utilizadas também são confidenciais.

4.2 ESTIMATIVA DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS ENVOLVIDOS

As principais variáveis incertas envolvidas no projeto e que podem gerar um valor de espera são:

- Preços do propeno (principal matéria-prima);
- Preços do polipropileno (produto);
- Crescimento da demanda interna (mercado brasileiro) de polipropileno.

Estas variáveis aleatórias são modeladas no fluxo de caixa estocástico do projeto para a determinação da volatilidade (desvio padrão) do projeto. Para isso é preciso modelar estas variáveis aleatórias como processos estocásticos. São considerados três processos estocásticos possíveis para estas variáveis aleatórias:

- Movimento geométrico browniano;
- Movimentos de reversão à média;
- Movimento de reversão à média com saltos.

Como já foi dito, a metodologia de CA assume a hipótese do Teorema de Samuelson (1965b) apud Dias (2006), que diz que mesmo que haja diferentes processos estocásticos em um fluxo de caixa de uma firma, o retorno do valor da firma seguirá um passeio aleatório (ou um processo de raiz unitária). Também se assume a mesma hipótese neste trabalho e busca-se

investigar os efeitos na volatilidade ao se adotar diferentes processos estocásticos para os preços da matéria prima e produto.

4.2.1 O Movimento Geométrico Browniano (MGB)

O MGB é dado por

$$\frac{dP}{P} = \alpha \cdot dt + \sigma \cdot dz \quad (19)$$

Onde:

$$dz = \varepsilon \sqrt{dt} = \text{incremento de Wiener}; \quad (20)$$

$$\varepsilon = N(0,1) = \text{distribuição normal com média 0 e desvio padrão 1}; \quad (21)$$

α é a tendência ou drift (no caso de uma ação, representa o taxa de ganho de capital da ação);

σ é a volatilidade de P, ou desvio padrão de P;

Para simulações reais do Movimento Geométrico Browniano será necessário discretizar a equação diferencial do processo (equação 19). Isso é feito através do Lema de Ito e obtém-se o seguinte resultado (Dias, 2006):

$$P_t = P_0 \left\{ \exp \left[\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \Delta t + \sigma \cdot N(0,1) \cdot \sqrt{\Delta t} \right] \right\} \quad (22)$$

Pode-se calcular o valor dos parâmetros α e σ da equação (22) através das seguintes equações (Dias, 2006):

$$\sigma^2 = N \cdot \text{Var} \left[\ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \right] \quad (23)$$

$$\alpha = N \cdot \left\{ \text{Média} \left[\ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \right] + 0,5 \frac{\sigma^2}{N} \right\} \quad (24)$$

N é o número de períodos por ano, caso os dados da série estejam numa periodicidade menor que a desejada (Por exemplo, caso se disponha de séries mensais e se queira obter valores de preços anuais, o valor de N será $N=12$).

O valor esperado V e a sua variância no instante t são dados por:

$$E[V(t)] = V_0 e^{\alpha t} \quad (25)$$

$$\text{Var}[V(t)] = V_0^2 e^{2\alpha t} (e^{\sigma^2 t} - 1) \quad (26)$$

É importante notar que quando t tende ao infinito, a variância de $V(t)$ também tende ao infinito.

Pode-se fazer a seguinte regressão:

$$\ln(P_t) = a + b \cdot \ln(P_{t-1}) + u_t \quad (27)$$

O MGB pode ser testado verificando-se se a hipótese do coeficiente de $\ln(P_{t-1})$ ser unitário. Este é o chamado teste da raiz unitária de Dickey-Fuller.

4.2.2 Teste de Raiz Unitária

O Movimento Geométrico Browniano é um caso de um processo estocástico chamado de raiz unitária. Segundo Wooldridge (2002, p. 660), “Um processo de raiz unitária é uma série temporal altamente persistente na qual o valor corrente é igual ao valor do período anterior mais uma perturbação fracamente dependente”. Neste caso a variância aumenta com o tempo e logo um processo de raiz unitária não é um processo estacionário e é um processo altamente persistente (Wooldridge, 2002).

O seguinte modelo é usado para se testar se um modelo possui uma raiz unitária:

$$y_t = \alpha + \rho y_{t-1} + e_t \quad (28)$$

$\{ y_t \}$ terá uma raiz unitária se e somente se $\rho = 1$. Se $\rho = 1$ e $\alpha = 0$, y_t segue um passeio aleatório sem tendência. Se $\rho = 1$ e $\alpha \neq 0$, y_t segue um passeio aleatório com tendência e a média de y_t será uma função linear de t . Segundo Wooldridge (2002) é comum deixar α sem especificação sob a hipótese nula.

A hipótese nula no teste de raízes unitárias é que $\{ y_t \}$ tem raiz unitária. Isto é:

- $H_0: \rho = 1$
- $H_1: \rho < 1$

A alternativa $H_1: \rho > 1$ normalmente não é considerada, pois implica em um processo com y_t explosivo. É muito raro haver $\rho < 0$, então na prática $0 < \rho < 1$. Se $|\rho| < 1$, $\{y_t\}$ é um processo estável e não possui raiz unitária (Wooldridge, 2002).

É conveniente subtrair y_{t-1} de ambos os lados e definir $\theta = \rho - 1$

$$\Delta y_t = \alpha + \theta y_{t-1} + e_t \quad (29)$$

Neste caso o teste passa a ser:

- $H_0: \theta = 0$
- $H_1: \theta < 0$

4.2.3 Movimento de Reversão à Média

O movimento de reversão à média mais simples é o chamado processo de Ornstein-Uhlenbeck aritmético e pode ser representado por (Dixit & Pindyck, 1994):

$$dx = \eta \cdot (\bar{x} - x) \cdot dt + \sigma \cdot dz \quad (30)$$

Onde \bar{x} é o nível de equilíbrio e η é a velocidade de reversão.

O valor esperado do processo de reversão à média $x(T)$ e a sua variância são dados por:

$$E[x(T)] = x(0)e^{-\eta T} + \bar{x}(1 - e^{-\eta T}) \quad (31)$$

$$\text{Var}[x(T)] = (1 - e^{-2\eta T}) \cdot \frac{\sigma^2}{2\eta} \quad (32)$$

Quando t tende a infinito, $\text{Var}[x(T)]$ tende a $\frac{\sigma^2}{2\eta}$. Assim o MRM tem variância limitada.

Esta equação estocástica diferencial tem solução analítica (Kloelen & Platen, 1992, tópico 4.4, eq. 4.2 apud Dias, 2004). Para se utilizar este processo numa simulação será necessário discretizar esta equação diferencial. De acordo com Dias (2004), isso é possível através da seguinte equação:

$$x_t = x_{t-1} e^{-\eta \Delta t} + \bar{x} \cdot (1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{1 - \left(\frac{e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta} \right)} \cdot N(0,1) \quad (33)$$

Porém, $x(T)$ tem distribuição normal e pode assumir valores negativos e existem variáveis que assumem apenas valores positivos, como o preço de uma *commodity* P . Dias (2004), propõe duas transformações na equação (33) para utilizá-la na previsão dos preços de uma *commodity* P .

A primeira é assumir que $\bar{x} = \ln(\bar{P})$ (34)

A segunda é assumir que

$$E[P(T)] = \exp\{E[x(T)]\} \quad (35)$$

Outra importante observação feita por Dias (2004) é que $P(T) \neq \exp[x(T)]$, pois o exponencial da distribuição normal acrescenta metade da variância na média da distribuição log-normal. Assim, é necessário fazer a seguinte correção:

$$P(t) = \exp\left\{x(t) - \frac{\text{var}[x(t)]}{2}\right\} \quad (36)$$

Com esta equação é possível simular os preços $P(t)$ de uma *commodity*. Pode-se substituir as equações (32) e (33) na equação (36), resultando na equação (37) abaixo:

$$P(t) = \exp\left\{x_{t-1}e^{-\eta \cdot \Delta t} + \bar{x} \cdot (1 - e^{-\eta \cdot \Delta t}) + \sigma \sqrt{1 - \left(\frac{e^{-2\eta \cdot \Delta t}}{2\eta}\right)} \cdot N(0,1) - (1 - e^{-2\eta \cdot t}) \cdot \frac{\sigma^2}{4\eta}\right\} \quad (37)$$

De acordo com Dias (2004), a interpretação para os quatro termos dentro do exponencial da equação (37) é a seguinte: os dois primeiros termos representam a tendência que equilibra o valor inicial e o termo médio de longo prazo; o terceiro termo é o termo estocástico calculado na simulação de Monte Carlo; o último termo é o ajuste da desigualdade de Jensen devido à tendência.

De acordo com Dias (2006), os parâmetros deste processo podem ser estimados através da seguinte regressão:

$$\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1)\ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (38)$$

A partir dos parâmetros a e b determinados na regressão acima, pode-se calcular os parâmetros do processo de reversão a média, através das equações (39), (40) e (41) a seguir (Dias, 2006).

$$\eta = -\ln(b)N \quad (39)$$

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{N} \sqrt{\frac{2\ln b}{b^2 - 1}} \quad (40)$$

$$\bar{P} = \exp \left[\frac{\left(a + 0,5 \frac{\sigma^2}{N} \right)}{1 - b} \right] \quad (41)$$

σ_ε é o erro padrão da regressão (equação 38).

Se o valor de b estiver entre 0 e 1, tem-se indícios de processo estacionário, como o processo de reversão à média.

4.2.4 Reversão à Média com Saltos

Dias & Rocha (1998) foram os primeiros a modelar um processo de Poisson com reversão à média. Um processo estocástico de reversão à média de Ornstein-Uhlinbeck aritmético com saltos pode ser representado por (Dias, 2004):

$$dx = \eta \cdot (\bar{x} - x) \cdot dt + \sigma \cdot dz + dq \quad (42)$$

Este também é um processo de Poisson. Os saltos são representados por dq , considerado independente de dz (Dias, 2004). A maior parte do tempo, dq é igual a zero. Mas podem haver saltos de um tamanho incerto ϕ ocorrendo uma frequência λ . Assim, segundo Dias (2004), tem-se $dq=0$ com probabilidade $1 - \lambda dt$ e $dq = \phi$ com probabilidade λdt . O tamanho do salto

ϕ é modelado como uma distribuição de probabilidades. Segundo Merton (1976) apud Dias (2004), a distribuição de probabilidades ϕ é assumida como log-normal. Dias (2004) assume distribuições simétricas para os saltos para cima e para baixo para que a média do tamanho dos saltos seja zero e dessa forma não haja necessidade de compensação do processo de Poisson.

O valor esperado do processo $x(T)$ é o mesmo do processo de reversão à média e a sua variância é dada por (Dias, 2004):

$$\text{Var}[x(T)] = (1 - e^{-2\eta T}) \cdot \frac{(\sigma^2 + \lambda \cdot E[\phi^2])}{2\eta} \quad (43)$$

Onde $E[\phi^2] = \int \phi^2 \cdot f(\phi) \cdot d\phi$, pois $E[\phi^2] \neq (E[\phi])^2$ (Dias, 2004).

Novamente assumindo que $\bar{x} = \ln(\bar{P})$, tem a seguinte equação para valores esperados:

$$E[P(T)] = \exp\{E[x(T)]\} = \exp\left\{x(0)e^{-\eta T} + \bar{x}(1 - e^{-\eta T})\right\} \quad (44)$$

Assim como no caso do processo de reversão à média, $P(T) \neq \exp[x(T)]$, pois o exponencial da distribuição normal acrescenta metade da variância na média da distribuição log-normal. E

novamente é necessário fazer a correção: $P(t) = \exp\left\{x(t) - \frac{\text{var}[x(t)]}{2}\right\}$.

A equação resultante “discretizada” é dada por (Dias, 2004):

$$P(t) = \exp \left\{ x_{t-1} e^{-\eta \Delta t} + \bar{x} \cdot (1 - e^{-\eta \Delta t}) + \sigma \sqrt{1 - \left(\frac{e^{-2\eta \Delta t}}{2\eta} \right)} \cdot N(0,1) + saltos - (1 - e^{-2\eta T}) \cdot \frac{(\sigma^2 + \lambda \cdot E[\phi^2])}{4\eta} \right\} \quad (45)$$

4.2.5 Correlação entre os Preços

A correlação entre os preços será determinada a partir das séries históricas dos preços individuais e aplicada ao modelo através da equação de Cholesky (Dias, 2006). Para duas variáveis normais X e Y com correlação ρ , basta amostrar duas variáveis normais independentes z_X e z_W e usar z_X para a variável X e z_Y para a variável Y através da fórmula de Cholesky:

$$z_Y = \rho \cdot z_X + z_W \cdot \sqrt{1 - \rho^2} \quad (46)$$

4.2.6 Discussão da Escolha dos Processos Estocásticos

O propeno pode ser obtido tanto em refinarias quanto em centrais petroquímicas (a chamada primeira geração da cadeia petroquímica, que utiliza como matéria-prima derivados diretos do petróleo). Por isso, pode-se esperar que os preços do propeno estejam bastante correlacionados com os preços do petróleo.

Dixit & Pindyck (1994) comentam que a hipótese de passeio aleatório para os preços de petróleo não é rejeitada para séries com 30 a 40 anos de extensão. Logo, os preços do propeno, sendo bastante correlacionados com os preços do petróleo, a princípio também poderão ser modelados por processos que sigam um passeio aleatório, como o Movimento

Geométrico Browniano, a não ser para o caso de séries muito longas, acima de 40 anos, por exemplo.

Os preços do polipropileno, produzido a partir do propeno, também estão altamente correlacionados com o propeno. Quando ocorre um ajuste no preço do petróleo, para cima, por exemplo, o preço dos petroquímicos básicos também irá aumentar, e a indústria de resinas, ou segunda geração, também irá se esforçar para repassar os ajustes nos preços. Porém freqüentemente a indústria de segunda geração de petroquímicos, como é o caso dos produtores de polipropileno, não consegue repassar os ajustes de preços tão bem quanto a indústria de primeira geração. A indústria de segunda geração muitas vezes vê sua margem diminuída entre os seus fornecedores de matéria-prima, como refinarias ou centrais petroquímicas e seus clientes, a indústria de transformação. A indústria de transformação e produção de embalagens, por exemplo, possui outras opções ao plástico, como o papel e o vidro. Logo, o preço da resina muitas vezes fica limitado.

Por outro lado, sabe-se que os preços da maior parte das *commodities* ficam mais bem modelados com processos de reversão à média. De acordo com Geman (2005), preços de *commodities* não apresentam tendência em longos períodos de tempo. Não se acredita que os preços das *commodities* devam subir ao longo do tempo. Porém se há crença em ciclos econômicos para estes produtos, poderá haver tendência. Na verdade, as características dos preços das *commodities* levariam estes preços a um processo de reversão à média combinada com choques no balanço oferta - demanda (Geman, 2005). Processos mais realistas combinam um processo de reversão à média com um processo de saltos, representando os choques no balanço oferta/ demanda. Este é o caso do processo de reversão à média com saltos. Assim, o processo de reversão à média com saltos é o mais realista para preços de *commodities* expostos a choques econômicos, como é o caso do propeno e do polipropileno.

No caso do crescimento da demanda no mercado interno, irá se considerar que esta cresce em função do crescimento do PIB. Essa hipótese pode ser testada a partir de uma regressão linear do consumo aparente em função do PIB. Assim, o primeiro passo será a modelagem do processo estocástico do PIB. Depois irá estimar uma equação para se obter o consumo aparente de polipropileno em função do PIB.

4.3 CÁLCULO DA VOLATILIDADE AGREGADA DO PROJETO

O próximo passo é a simulação Monte Carlo para a determinação da volatilidade agregada do projeto considerando os três processos estocásticos envolvidos. Através de simulações estocásticas (simulações de Monte Carlo) será determinada a volatilidade (desvio padrão) do valor do projeto como um todo. O cálculo da volatilidade segundo CA pode ser representado da seguinte maneira (Brandão, 2006):

$$\text{Seja } z = \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) = \ln\left(\frac{C_1 + V_1(C_2, C_3, \dots, C_n)}{V_0}\right) \quad (47)$$

Onde z é o retorno do valor do projeto e $\overline{V_0}$ é o valor presente dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade e sem o valor presente do investimento no ano 0 do projeto.

Pode-se calcular a variância de z através da fórmula (Brandão, 2006):

$$\text{var}(z) = \text{var}\left[\ln\left(\frac{C_1 + V_1(C_2, C_3, \dots, C_n)}{V_0}\right)\right] = \text{var}\left[\ln(C_1 + V_1(C_2, C_3, \dots, C_n)) - \ln(\overline{V_0})\right] \quad (48)$$

Onde C_i é o fluxo de caixa no período i e representa o somatório dos valores presentes dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade e sem considerar o investimento. Esta é a abordagem do cálculo da volatilidade agregada do projeto segundo CA. Porém, o valor de \bar{V}_0 é constante. Então a variância de $\ln(\bar{V}_0)$ pode ser desprezada. Resultando na seguinte fórmula (Brandão, 2006):

$$\text{var}(z) = \text{var}[\ln(C_1 + V_1(C_2, C_3, \dots, C_n))] \Leftrightarrow \text{var}(z) = \text{var}\left[\ln\left(\sum_{i=1}^n C_i e^{-r(i-1)}\right)\right] \quad (49)$$

Porém, a simulação Monte Carlo neste trabalho não será realizada de forma idêntica à de CA. Segundo Brandão (2006), a metodologia inicial de CA resulta em volatilidades altas demais, pois há simulação dos processos estocásticos em todos os anos do projeto.

Conforme modificações sugeridas por Brandão (2006), por Godinho (2006) e por Dias (2006), a simulação de Monte Carlo deve ser feita considerando a simulação de processos estocásticos apenas para o primeiro ano de operação do projeto. Nos demais anos, deve ser calculado o valor esperado para as variáveis estocásticas envolvidas com base no valor simulado do primeiro ano de operação. Assim, segundo Brandão (2006) a fórmula de z passa a ser:

$$z = \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) = \ln\left(\frac{C_1 + V_1(C_2, C_3, \dots, C_n) | C_1}{\bar{V}_0}\right) \quad (50)$$

A diferença é que os fluxos de caixa a partir de $i=2$ passam a ser condicionados à realização de C_1 . Em outras palavras, a simulação será feita apenas para o instante 1 e os valores dos demais períodos serão valores esperados calculados em função dos valores simulados no

instante 1 (probabilístico). Esta foi a abordagem adotada neste trabalho e a primeira modificação em relação ao cálculo da volatilidade de CA.

A segunda modificação na metodologia de CA para o cálculo da volatilidade agregada e adotada neste trabalho foi proposta por Dias (2006) e consiste em simular a variância do valor do projeto e não a variância do retorno do valor do projeto. Desta forma, evita-se trabalhar com o logaritmo de números negativos resultantes da equação (46) e evitam-se eventuais problemas de simulação.

Para se determinar a volatilidade a partir dos resultados da simulação de Monte Carlo (média e variância de V), pode-se utilizar as equações (25) e (26). Destas equações, pode-se isolar o valor de α e σ do retorno do valor do projeto a partir do valor esperado e da variância do valor do projeto $V(t)$, determinados através da simulação. Assim, resulta:

$$\alpha = \frac{\ln\left\{\frac{E[V(t)]}{V_0}\right\}}{t} \quad (51)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\ln\left\{\frac{\text{var}[V(t)]}{e^{2\alpha t} \cdot V_0} + 1\right\}}{t}} \quad (52)$$

Substituindo (51) em (52), tem-se:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\ln\left\{\frac{\text{var}[V(t)]}{(E[V(t)])^2} + 1\right\}}{t}} \quad (53)$$

Note que σ não depende do valor de V_0 .

4.4 CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO DE ESPERA

Após o cálculo da volatilidade agregada do projeto, o valor da opção de espera foi calculado através de dois modelos diferentes. O primeiro modelo de avaliação utiliza a fórmula binomial. As fórmulas para o cálculo da probabilidade neutra ao risco e para os fatores de variação de subida e descida são os mesmos das equações (10), (11) e (12).

De posse destes parâmetros, monta-se a uma árvore binomial recombinante (semelhante a que foi apresentada na seção 2.3.1.1) para o valor do projeto com valor inicial V_0 , porém agora deve-se levar em conta o pagamento de dividendos. Para uma o valor de um projeto que paga uma taxa de dividendos constante (*dividend yield*, δ), tem-se:

$$(VP)_{i,j} = (VP_0)u^j d^{i-j} (1-\delta) \quad (54)$$

Onde VP_{ij} é o valor presente do projeto no nó (i, j) . Esta é a fórmula binomial do valor do projeto.

Deve-se lembrar que a princípio irá se separar o investimento dos demais fluxos de caixa do projeto. Assim, o investimento I fica de fora do valor do projeto, VP , ou simplesmente V . O valor de I é equivalente ao preço de exercício, como já mencionado anteriormente. Assim tem-se:

$$VPL_0 = VP_0 - I \quad (55)$$

O retorno de uma firma é o seu crescimento a mais a taxa de dividendos pagos, isto é:

$$R = \alpha + \delta \quad (56)$$

Como o valor de α pode ser determinado pela equação (51) e o valor de R é a taxa mínima de atratividade (ajustada ao risco), pode-se determinar o valor de δ isolando-o da equação (56).

O último passo do método binomial é a análise da opção real. Tem-se a oportunidade de se exercer a opção de espera até a sua expiração. Deve-se iniciar o processo a partir do final da árvore, no último período onde não haverá mais opção de espera. Para o último período, o valor em cada nó será o máximo entre o valor de exercício ($VP_i - I$) e zero, onde I é o investimento. De trás para frente, para os períodos subsequentes, tem-se que o valor de um nó qualquer será o máximo entre o valor imediato da opção (valor do exercício antecipado) e o valor de espera de um período. O valor da opção (F) de espera será o valor do nó 0.

$$F_n = \max\left(VP_n - I; \frac{F_{n,u} \cdot p + F_{n,d} \cdot (1-p)}{r}\right) \quad (57)$$

A segunda forma de se modelar o valor da opção de espera é através da equação diferencial parcial de Black-Scholes (EDP da opção).

Wilmot (2007) apresenta dez maneiras de se deduzir a equação diferencial parcial de Black-Scholes. A dedução original da equação diferencial parcial é através do cálculo estocástico, do lema de Ito e do argumento de *hedging* (Wilmot, 2007).

A primeira hipótese do modelo de Black-Scholes é que o ativo básico V segue um passeio aleatório log-normal ou um Movimento Geométrico Browniano, dado por

$$dV = \alpha \cdot V \cdot dt + \sigma \cdot V \cdot dz \quad (58)$$

Onde termo dz é o incremento de Wiener (Dias 2006), dado por $dz = \varepsilon(dt)^{1/2}$ onde ε é uma variável estocástica com distribuição normal com média 0 e desvio padrão 1, isto é, $\varepsilon = N(0,1)$.

Seja F o valor de uma opção real que segue um processo de Itô. Tem-se:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial V} dV + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} dV^2 + \frac{\partial F}{\partial t} dt \quad (59)$$

Irá se calcular o valor de $(dV)^2$, a partir da equação (59). Tem-se:

$$(dV)^2 = \alpha^2 V^2 (dt)^2 + 2\alpha \cdot \sigma \cdot V^2 dt \cdot dz + \sigma^2 V^2 \cdot (dz)^2 \quad (60)$$

Antes de prosseguir, é preciso provar que $(dz)^2 = dt$.

$$\text{Como } dz = \varepsilon(dt)^{1/2}, E[(dz)^2] = E[\varepsilon^2 dt] = dt E[\varepsilon^2] \quad (61)$$

$$\text{Por definição, } E[\varepsilon] = 0 \text{ e } \text{var}(\varepsilon) = 1. \text{ Então } (\text{var}(\varepsilon))^2 = 1 = E[\varepsilon^2] - (E[\varepsilon])^2 \Rightarrow E[\varepsilon^2] = 1 \quad (62)$$

$$\text{Substituindo (61) em (62), } E[(dz)^2] = dt \quad (63)$$

$$(dz)^2 = \varepsilon^2 dt \Rightarrow \text{var}[(dz)^2] = \text{var}[\varepsilon^2 dt] = dt^2 \text{var}[\varepsilon^2], \text{ como } dt^2 \sim 0 \text{ (muito pequeno),}$$

$$\text{var}[(dz)^2] = 0 \quad (64)$$

As equações (63) e (64) implicam que $(dz)^2=dt$ (c.q.d.) (65)

Os termos $(dt)^2$ e $dt dz$ (ordem $dt^{3/2}$) são desprezíveis (Dias, 2006). Como $(dz)^2=dt$ (65),

$$(dV)^2 = \sigma^2 V^2 \cdot dt \quad (66)$$

Substituindo a equação (66) na equação (59), tem-se

$$dF = \frac{\partial F}{\partial V} dV + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} dt + \frac{\partial F}{\partial t} dt \quad (67)$$

Assumindo uma carteira livre de risco Π , formada por uma posição “comprada” na opção V e “vendida” no ativo básico S numa proporção Δ , tem-se:

$$\Pi = F(V, t) - \Delta V$$

De acordo com Dias (2006), em um intervalo infinitesimal, o retorno da carteira será dado por:

$$r\Pi dt = r(F - \Delta V) dt \quad (68)$$

Mas o retorno da carteira também é a soma dos retornos dos componentes da carteira (Dias, 2006). O retorno de F é dF e o retorno de V é dV mais o pagamento de dividendos $\delta V dt$.

Resultando:

$$r\Pi dt = dF - \Delta(dV + \delta \cdot V \cdot dt) \quad (69)$$

Igualando-se (68) e (69), tem-se:

$$r(F - \Delta V)dt = dF - \Delta(dV + \delta \cdot V \cdot dt) \quad (70)$$

Substituindo x em y, tem-se:

$$r(F - \Delta dV)dt = \frac{\partial F}{\partial V} dV + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} dt + \frac{\partial F}{\partial t} dt - \Delta(dV + \delta \cdot V \cdot dt) \quad (71)$$

Escolhendo o valor de Δ como

$$\Delta = \frac{\partial F}{\partial S} \quad (72)$$

Substituindo (72) em (71) e algebrando-se, chega-se a equação diferencial de Black-Scholes

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2 \cdot V^2 \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} + (r - \delta)V \frac{\partial F}{\partial V} - rF = 0 \quad (73)$$

O tipo da opção, se europeia ou americana, assim como resultado do exercício da opção será dado pelas condições de contorno da equação diferencial parcial acima.

Para a fórmula de Black-Scholes da opção de compra europeia, basta uma equação de contorno (Wilmott, 2007):

$$F(V, T) = \text{Max}(V - X; 0)$$

Nesse caso a equação (74) terá solução analítica que é a equação da fórmula de Black-Scholes (equações 13, 14 e 15).

No caso de uma opção de compra americana, tem-se as seguintes quatro condições de contorno (Dias, 2006):

Para $V=0$, $F(0;t)=0$

Para $t=T$, $F(V, T)=\text{Max}(V-X; 0)$

E mais duas condições de contorno no gatilho:

$F(V^*,t) = V^* - I$ (condição de “continuidade”)

$\frac{\partial F}{\partial V}(F^*,t) = 1$ (condição de “contato suave”)

Dias (2006) disponibiliza um *software* (desenvolvido em VBA- Excel) que resolve a equação diferencial parcial acima para uma opção americana através da aproximação numérica de Bjerksund & Stensland (ver <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>). Este software fornece o valor da opção $F(V,t)$ com gráfico, a curva de gatilhos $V^*(t)$, a probabilidade de exercício (em caso de ser ótimo esperar) e o tempo esperado condicional para haver exercício. Este *software* será usado na presente dissertação para calcular o valor de espera do projeto.

Para efeito de comparação, finalmente, é calculado o valor da opção de espera considerando esta opção como européia. Para isso, é utilizada a fórmula de Black-Scholes-Merton (equações 16, 17, 18).

5 RESULTADOS

A avaliação do projeto de investimento considerando o valor da opção de espera inicia-se com a estimativa do VPL do projeto sem flexibilidade. Depois é determinada a volatilidade agregada do projeto em diferentes casos, considerando formas de modelagem das variáveis estocásticas envolvidas. Finalmente é calculado o valor da opção de espera para o caso base escolhido.

5.1 ESTIMATIVA DO VPL DO PROJETO SEM FLEXIBILIDADE

A primeira avaliação realizada foi a do VPL do projeto sem flexibilidade considerando preços constantes e uma curva fixa para o crescimento do mercado interno. Outras premissas utilizadas estão descritas a seguir.

Mais adiante, serão calculados outros valores para o VPL sem flexibilidade, considerando os valores esperados para diferentes processos estocásticos adotados.

5.1.1 Premissas do Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa descontado foi elaborado considerando: moeda constante (dólar americano de 2006); Valores descontados para janeiro de 2008 ($t=0$); vetores monetários anuais e concentrados no início do período.

A vida econômica adotada para o projeto foi de 10 anos, período considerado para a maioria dos projetos no mundo (Brito, 2003). No fluxo de caixa não foi considerada perpetuidade, nem valor residual.

Em relação aos tributos, os preços foram considerados líquidos de impostos. Os valores das alíquotas consideradas são: 34% de IR e CSLL e 0,38% de CPMF.

O investimento total considerado é de US\$ 300 milhões, depreciables em 10 anos. O cronograma de desembolso dos investimentos foi dividido da seguinte forma: 10% do investimento no primeiro ano; 60% no segundo; e 30% no terceiro.

Esta avaliação não considera o efeito da inflação sobre o fluxo de caixa, pois os dados são reais. A única exceção são as contas de depreciação e amortização, que são deflacionadas ano a ano com uma inflação projetada de 5% ao ano.

A capacidade total da planta é de 300 kt/a de polipropileno por ano. Foi considerada uma rampa de produção de 80, 90 e 95% da capacidade de produção para os três primeiros anos de produção.

O capital de giro líquido é a diferença entre o ativo circulante (caixa, estoque do produto, estoque de matéria-prima, duplicatas a receber, etc.) e o passivo circulante (duplicatas a pagar, impostos sobre vendas, etc.). Para o cálculo do capital de giro, foi considerado um caixa mínimo de equivalente a: 5 dias de custos operacionais; 30 dias de estoque de produtos; 30 dias de estoque de matéria-prima; 45 dias de venda de produtos a prazo; 60 dias de compra de matéria-prima a prazo; 15 dias de fornecedores de outros insumos; 15 dias de outras contas a pagar; 15 dias de salários a pagar; e 15 dias de impostos a pagar. No último ano de investimento (ano anterior ao primeiro ano de operação) é feita uma provisão de 80 % do valor do capital de giro do ano seguinte.

Os custos fixos e variáveis foram estimados através de dados de literatura para uma unidade típica de polipropileno. Porém, não serão apresentados nesta dissertação por se tratarem de dados confidenciais.

5.1.2 Preços

O preço do polipropileno considerado como referência (*FOB US Golf Coast*) em 2010 (ano anterior ao primeiro ano de operação) foi de US\$ 1400 por tonelada (mesmo valor médio de 2006, último ano que se dispunha de séries históricas). Foram considerados dois preços diferentes para o produto, dependendo do seu destino de vendas. Usando-se o princípio de paridade de importação, quando o destino das vendas é o mercado interno, o preço de venda é o valor de referência mais US\$ 150 por tonelada. Já o preço de exportação considerado é o preço de referência menos US\$ 80 por tonelada. Para o preço do propeno, foi considerado um valor de US\$ 1060 por tonelada em janeiro de 2010 (mesmo valor médio de 2006 para o preço do propeno *FOB US Golf Coast*). Para o cálculo do VPL sem flexibilidade, estes preços foram considerados constantes. Para os demais casos, onde há processos estocásticos

envolvidos, os preços de 2011 são simulados com base nos preços de 2010 e os preços de 2012 em diante são valores esperados calculados com base nos preços simulados em 2011.

5.1.3 Mercado de Polipropileno

O mercado de polipropileno foi estimado de acordo com dados da ABIQUIM 2006 (referentes ao ano de 2005). Em 2005, foram produzidos no Brasil 1212,2 kt/a de polipropileno. Nesse mesmo ano, houve uma importação de 85,59 kt/a e uma exportação de 227,76 kt/a. Assim, o consumo aparente de PP (definido como o valor da produção total menos exportações mais importações) em 2005 foi de $1212,20 - 227,76 + 85,59 = 1070,03$ kt/a.

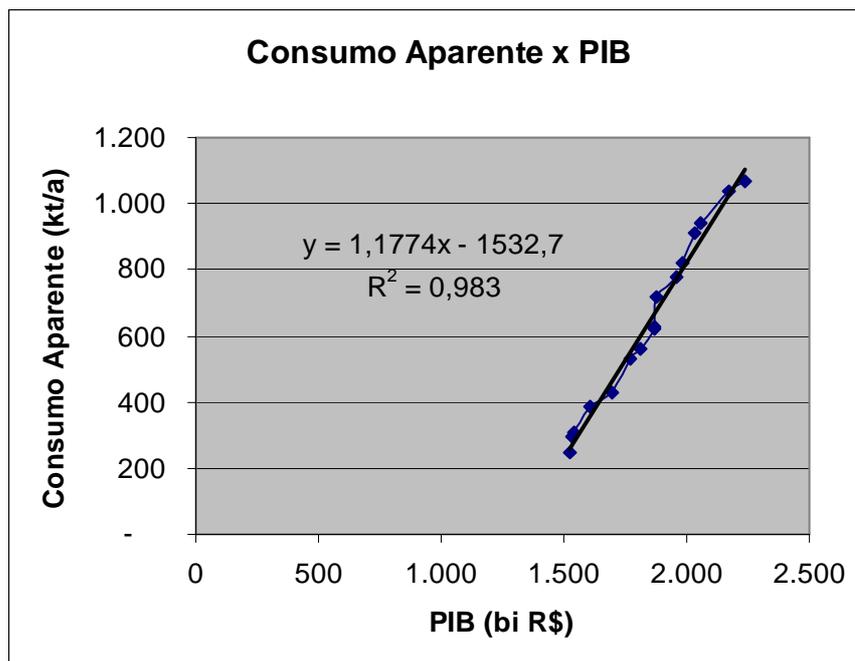


Figura 7 – Regressão Consumo Aparente x PIB (dados anuais de 1990 a 2005)

O crescimento da demanda, dado pelo consumo aparente, está correlacionada com o crescimento do PIB como mostra o gráfico e a regressão da figura 7 (acima). Foi adotado que o mercado interno de polipropileno irá crescer em função do crescimento do PIB de acordo com a fórmula da regressão da figura 7.

No caso do fluxo de caixa descontado sem flexibilidade, foi considerado um crescimento constante do PIB de 4,31% ao ano (valor de α do processo, calculado para os dados históricos a partir da equação 24, ver seção 5.2.2.1) durante todos os anos do projeto.

A capacidade instalada dos produtores nacionais de PP é de 1335 kt/a. Considera-se que poderá haver produção e oferta no mercado nacional de até 95% dessa capacidade, isto é, 1268,25 kt/a. Considera-se também que até 2011 haverá a conclusão de duas novas unidades de produção de propeno de 300 kt/a cada uma e que haverá ainda a expansão em 100 kt/a de uma das unidades existentes. Assim, em 2011 a oferta de polipropileno considerada para o mercado interno foi de 1968,25 kt/a.

O volume de vendas no mercado interno ano a ano é dado pela diferença entre o consumo aparente projetado (demanda interna projetada) e a capacidade de produção estimada (oferta interna).

A importação mínima considerada é de 10%, considerando que não é possível ocupar totalmente o mercado interno por um novo entrante.

5.1.4 A Determinação da Taxa Mínima de Atratividade

Segundo o site da Bloomberg, (<http://www.bloomberg.com/markets/rates/index.html> acessado em 17/10/2007), o valor de retorno de um título do tesouro americano com prazo de 30 anos é de 4,81% ao ano. Somando-se o risco Brasil, tem-se uma estimativa do retorno livre de risco.

O risco país em 15 outubro de 2007 foi de 160 pontos, isto equivale a um spread de 1,60% entre os valores dos títulos dos tesouros americano e brasileiro. Assim, estima-se uma taxa

livre de risco no Brasil de 6,41%. Como o fluxo de caixa está em dólares constantes, deve-se descontar a inflação americana deste valor. Considerando uma inflação estimada de 2% ao ano, a taxa livre de risco brasileira estimada é de 4,32%.

Segundo informações do site de Damodaran (<http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>, acessado em 17/10/2007), o valor de beta não alavancado (e corrigido para caixa) para indústrias químicas de base, não integradas é de 0,87.

No caso de um investidor internacional, considerando anualmente a taxa livre de risco americana igual a 4,81%, o risco país de 1,6%, o prêmio de risco para mercados maduros igual a 5,51% (Damodaran, 2002) e o beta não alavancado igual a 0,87, tem-se um retorno anual em dólares correntes de 11,20% para o capital próprio. Considerando a inflação americana estimada em 2% ano, resultará numa taxa anual real de 9,02%. Essa será a taxa mínima de atratividade considerada no projeto, considerando-se apenas o uso de capital próprio.

5.1.5 Resultado e Análise de Sensibilidade

O valor obtido para o VPL do projeto sem flexibilidade foi de US\$ -1,44 milhões. O fluxo de caixa descontado está apresentado na tabela 3, abaixo. Para auxiliar nas análises da etapa seguinte, foram realizadas algumas análises de sensibilidade das três principais variáveis que podem afetar o valor do projeto, mostradas na figura 8 abaixo.

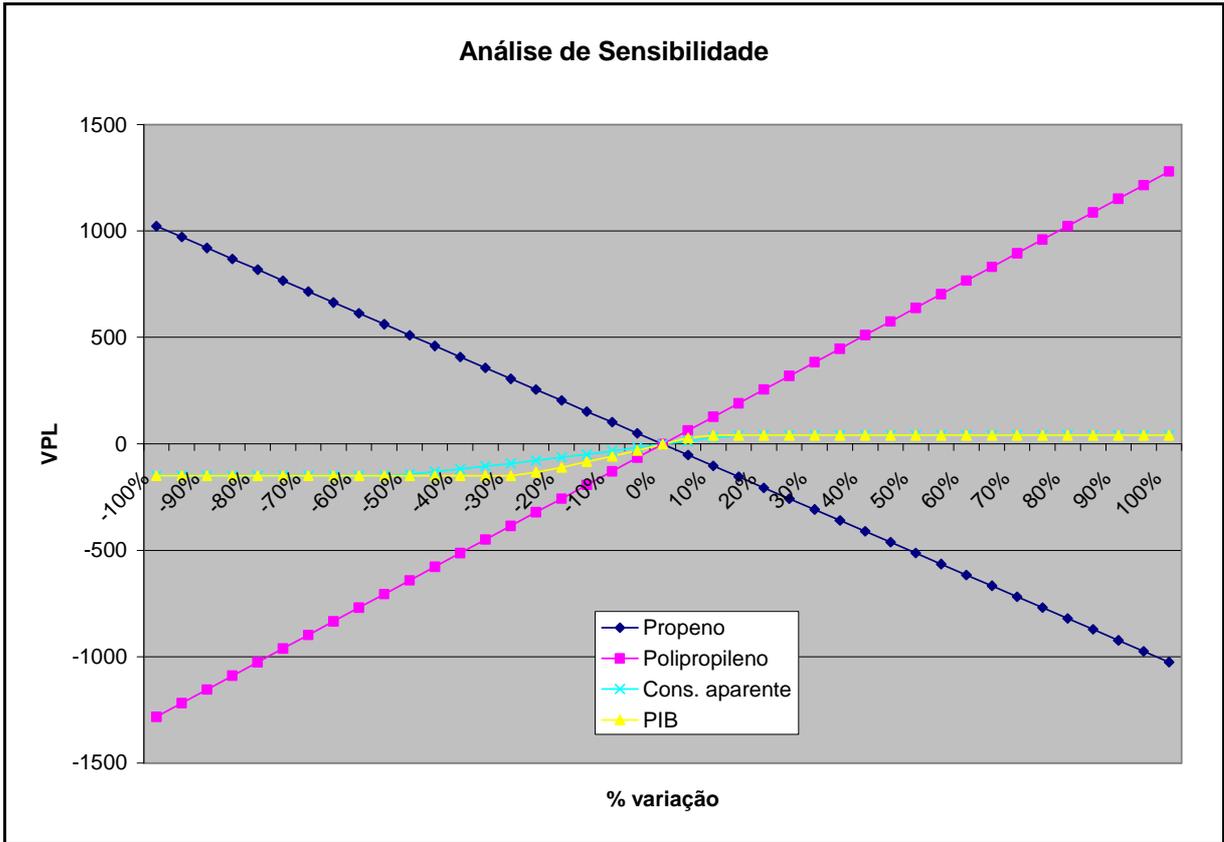


Figura 8 - Análise de sensibilidade do VPL sem flexibilidade

Para facilitar a visualização do efeito da variação do PIB e do consumo aparente no VPL do projeto, apresenta-se o gráfico da figura 9 abaixo.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
RECEITA	-	-	-	253,44	329,96	402,41	458,10	458,10	458,10	458,10	458,10	458,10	458,10	
Custos de Matéria-Prima(Com CPMF)	-	-	-	206,85	261,79	291,69	322,40	322,40	322,40	322,40	322,40	322,40	322,40	
Margem Bruta	-	-	-	46,59	68,17	110,73	135,70	135,70	135,70	135,70	135,70	135,70	135,70	-
Custos Operacionais(Com CPMF)	-	-	-	30,90	37,00	41,15	44,87	44,69	44,51	44,81	45,11	45,41	45,72	
Custos Variáveis	-	-	-	22,39	28,46	32,60	36,30	36,12	35,94	36,24	36,54	36,84	37,14	
Custos Fixos	-	-	-	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	8,40	
EBITDA	-	-	-	15,69	31,16	69,58	90,83	91,01	91,19	90,89	90,59	90,28	89,98	-
Depreciação	-	-	-	27,49	26,18	24,93	23,75	22,62	21,54	20,51	19,54	18,61	17,72	-
EBIT	-	-	-	(11,80)	4,98	44,64	67,08	68,39	69,65	70,37	71,05	71,68	72,26	-
IR + CSLL (Com CPMF)	-	-	-	(4,03)	1,70	15,24	22,89	23,34	23,77	24,02	24,25	24,46	24,66	-
Lucro Líquido	-	-	-	(7,77)	3,28	29,41	44,19	45,05	45,88	46,36	46,80	47,22	47,60	-
Retorno da Depreciação	-	-	-	27,49	26,18	24,93	23,75	22,62	21,54	20,51	19,54	18,61	17,72	-
Investimento (com CPMF)	30,11	180,68	90,34	-	-	-	-	-	-	-				
Variação de Capital de Giro	-	-	17,82	4,46	7,74	10,66	7,03	(0,01)	(0,01)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(0,02)	(47,60)
Fluxo de Caixa Livre	(30,11)	(180,68)	(108,17)	15,26	21,72	43,68	60,91	67,68	67,43	66,89	66,36	65,84	65,34	47,60
FC Livre sem investimento	-	-	-	15,26	21,72	43,68	60,91	67,68	67,43	66,89	66,36	65,84	65,34	47,60
Valor de V	285,42	311,16	339,23	369,83	386,55	397,74	385,99	354,41	312,59	267,27	218,46	165,82	109,00	47,60
VP investimento	(286,86)													
VPL	(1,44)													

Tabela 3 – FCD sem Flexibilidade

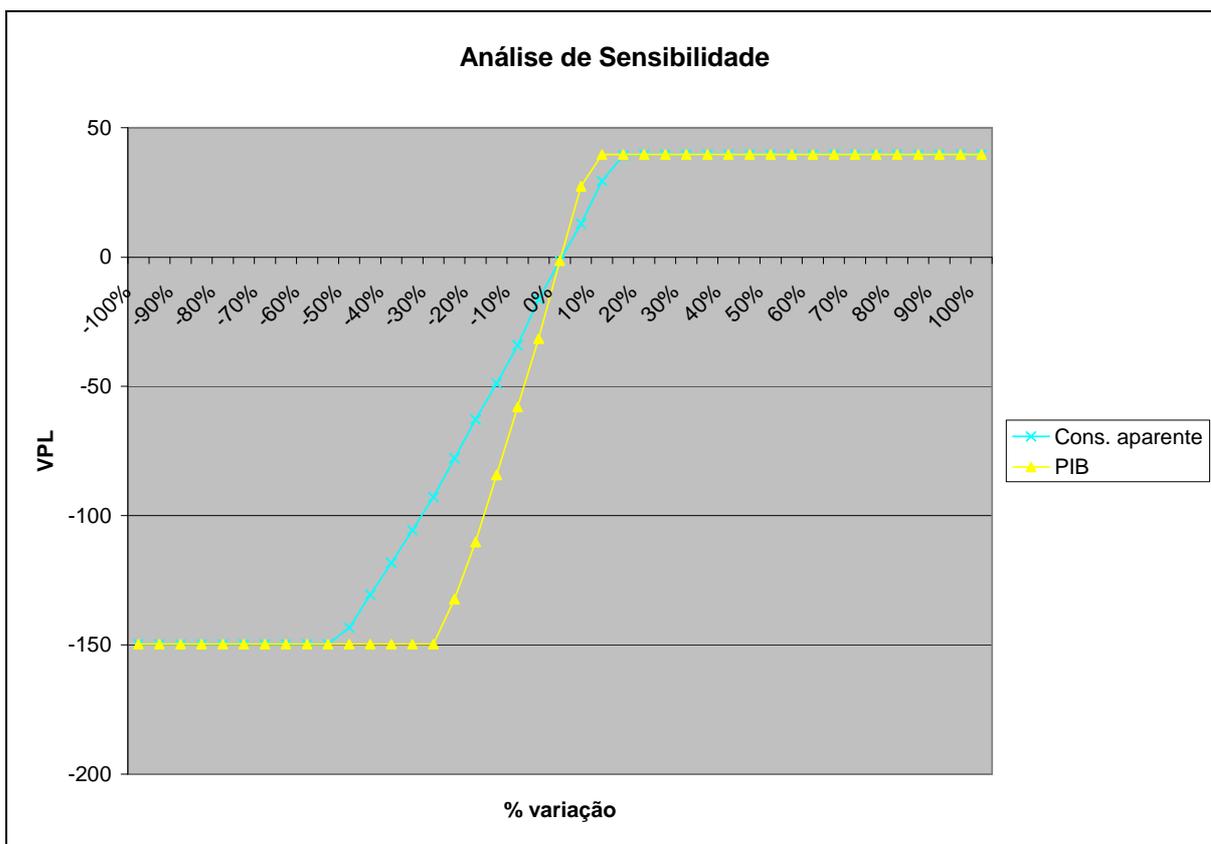


Figura 9 – Análise de sensibilidade do VPL ao PIB/ consumo aparente

Dos gráficos 8 e 9, é possível perceber que o VPL da unidade de polipropileno é muito sensível aos preços da matéria-prima e do produto e relativamente menos sensível às variações do crescimento do PIB ou do crescimento da demanda interna. Em outras palavras, o efeito do crescimento do PIB ou da demanda interna sobre o VPL do projeto é bem menor do que o efeito das variações dos preços. Isso porque a taxa de variação do crescimento do PIB afeta apenas o destino das vendas dos primeiros anos do projeto, na forma de um volume maior de importação, que resulta em vendas com desconto nos preços, como já descrito.

5.2 DETERMINAÇÃO DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

A avaliação do projeto de investimento com flexibilidade e a determinação da volatilidade agregada do projeto foram feitas considerando diferentes processos estocásticos para os

preços da matéria-prima e do produto. Também foi adotado um processo estocástico para o crescimento do PIB, que afeta diretamente o crescimento do mercado interno (demanda interna).

5.2.1 Processos Estocásticos dos Preços

Para os preços do propeno e do polipropileno, dispunha-se de séries de cotações médias de preços internacionais mensais do período entre janeiro de 1990 a dezembro de 2006. Primeiramente, todos os preços foram deflacionados para dólares constantes de 2006. Para a determinação do comportamento dos preços do propeno, dispunha-se apenas de séries mensais de preço *Spot, Delivered US Golf Coast*. No caso do polipropileno, dispunha-se apenas de séries de preço *CFR China*.

Independentemente da ordem de grandeza destas séries em relação aos preços internados em outros lugares do mundo, considerou-se que estas séries são boas aproximações do comportamento mundial dos preços destes produtos, o que permite usar estas séries para modelar o comportamento dos preços de referência (*Spot, FOB US Golf Coast*). É importante ressaltar que estes preços são determinados pelos atores mais importantes do mercado e o mercado brasileiro tem pouca influência na formação dos preços internacionais.

5.2.1.1 Movimento Geométrico Browniano dos Preços

A partir das séries históricas para os preços do propeno, foram estimados os parâmetros para o MGB do propeno apresentados na tabela 3.

ln(Pt/Pt-1)	a. m.	a. a.
media	0,26%	3,12%
variância	0,96%	11,51%
desvio padrão	9,79%	33,93%
alfa	0,74%	8,87%

Tabela 4 - Parâmetros MGB do Propeno

A partir das séries históricas para os preços do polipropileno, foram estimados os seguintes parâmetros para o MGB do polipropileno:

ln(P_t/P_{t-1})	a. m.	a. a.
media	0,05%	0,62%
variância	0,46%	5,55%
desvio padrão	6,80%	23,55%
alfa	0,28%	3,39%

Tabela 5 - Parâmetros MGB do Polipropileno

Os valores de α foram calculados através da equação (24).

Abaixo está um gráfico considerando 50 anos de simulação dos preços pelo processo MGB (através da equação 22), até 2056 e dez anos com valores esperados (equação 25), de 2057 até 2066.

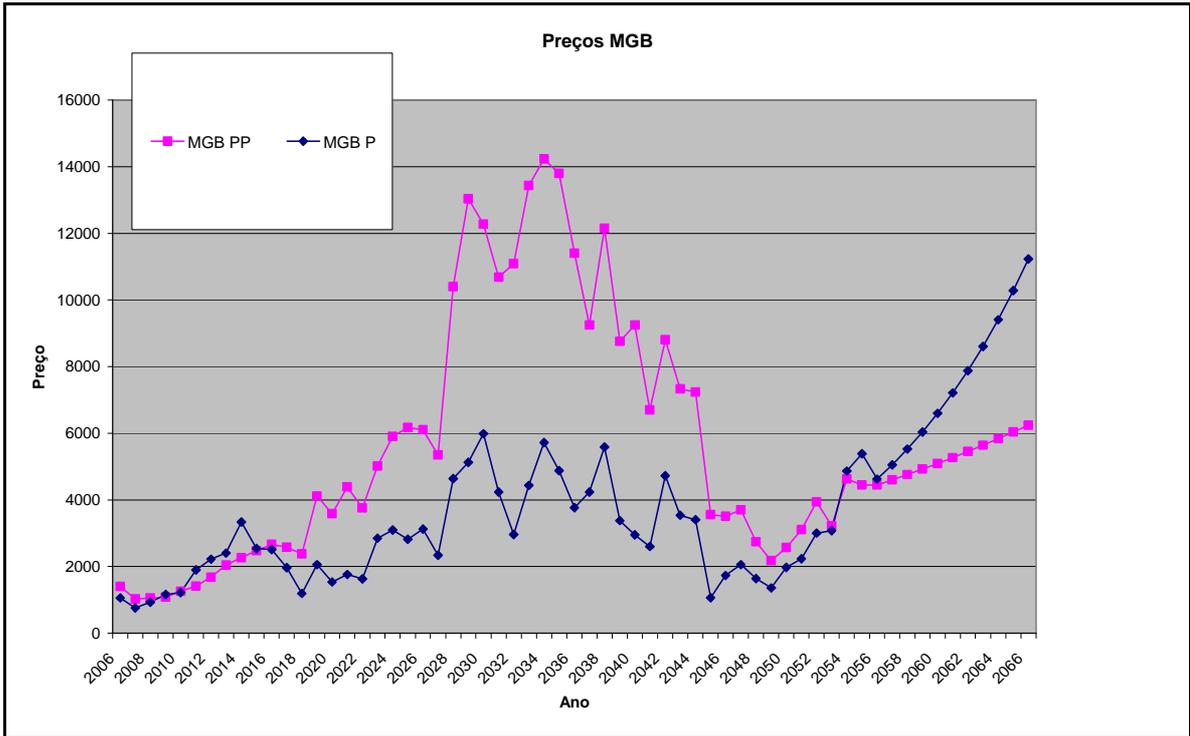


Figura 10 – Simulação preços MGB

É possível perceber neste exemplo que, a partir de 2056 (como foi dito, ano a partir do qual se utilizam valores esperados para as estimativas de preços), os preços do propeno (matéria-prima) superam os valores do PP (produto) rapidamente. Como no caso da simulação do projeto em estudo haverá simulação em um único ano (2011), pode-se esperar que os preços do propeno irão superar os preços do polipropileno rapidamente a partir de 2012, levando a margens negativas e a valores negativos para o VPL.

5.2.1.2 Teste de Raiz Unitária para os Preços

Como espera-se uma média não nula para os preços e admitindo-se que haja tendência nos preços, deve-se fazer o teste de raízes unitárias dos preços com os dois elementos determinísticos de intercepto e termo de tendência.

Utilizando o teste de Dickey - Fuller aumentado, para a série histórica mensal do propeno, tem-se:

Hipótese nula: ln(preço do propeno) tem raiz unitária				
Variável exógena: Constante, Tendência Linear				
Tamanho da defasagem: 2 (seleção automática - critério de Schwarz, máx. = 14)				
			Estatística t	Prob.*
Estatística do teste de Dickey-Fuller aumentado			-2.970031	0.1434
Valores críticos do teste:				
Nível 1%			-4.004599	
Nível 5%			-3.432452	
Nível 10%			-3.139991	
*P-valores unilaterais de MacKinnon (1996).				
Equação de teste do Dickey-Fuller aumentado				
Variável Dependente: D(P1)				
Método: Mínimos Quadrados				
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística t	Prob.
P1(-1)	-0.050994	0.017169	-2.970031	0.0034
D(P1(-1))	0.633185	0.068740	9.211288	0.0000
D(P1(-2))	-0.161970	0.072045	-2.248192	0.0257
C	0.305731	0.104818	2.916768	0.0040
@TREND(1990M02)	0.000153	0.000105	1.452901	0.1479
R-quadrado	0.338097	Média variável dependente		0.002276
R-quadrado ajustado	0.324520	Desvio padrão var. dep.		0.098605
E. P. da Regressão	0.081041	Info. Critério de Akaike		-2.163036
Soma dos res. quad.	1.280696	Critério de Schwarz		-2.080579
Probabilidade log	221.3036	Estatística F		24.90128
Estat. Durbin-Watson	1.992901	Prob. (estat. F)		0.000000

Tabela 6 - Teste Unitária para Preços Propeno

Não há indícios suficientes para se rejeitar a hipótese nula, pois o valor da estatística t desta série é menor que o valor crítico ao nível de 10%.

O teste de Dickey Fuller aumentado, para a série histórica mensal do polipropileno, resulta (Tabela 7):

Hipótese nula: ln(preço do polipropileno) tem raiz unitária					
Variável exógena: Constante, Tendência Linear					
Tamanho da defasagem: 1 (seleção automática - critério de Schwarz, máx. = 14)					
			Estatística t	Prob.*	
Estatística do teste de Dickey-Fuller aumentado			-1.994662	0.6003	
Valores críticos do teste:	Nível 1%		-4.004365		
	Nível 5%		-3.432339		
	Nível 10%		-3.139924		
*P-valores unilaterais de MacKinnon (1996).					
Equação de teste do Dickey-Fuller aumentado					
Variável Dependente: D(P1)					
Método: Mínimos Quadrados					
	Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística t	Prob.
	P1(-1)	-0.034503	0.017298	-1.994662	0.0475
	D(P1(-1))	0.258154	0.069284	3.726009	0.0003
	C	0.230061	0.119661	1.922604	0.0560
	@TREND(1990M02)	4.13E-05	8.26E-05	0.499369	0.6181
	R-quadrado	0.082442	Média variável dependente		0.000281
	R-quadrado ajustado	0.068469	Desvio padrão var. dep.		0.068223
	E. P. da Regressão	0.065846	Info. Critério de Akaike		-2.583304
	Soma dos res. quad.	0.854126	Critério de Schwarz		-2.517566
	Probabilidade log	263.6220	Estatística F		5.900072
	Estat. Durbin-Watson	1.916452	Prob. (estat. F)		0.000709

Tabela 7 – Teste raiz unitária preço PP

Também não há evidências suficientes para se rejeitar a hipótese de passeio aleatório para o processo acima. Aqui o valor da estatística t também é maior que o valor crítico ao nível de 10%.

5.2.1.3 Movimento de Reversão à Média para os Preços

A regressão $\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1)\ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t$ (equação 38) para o propeno, resulta os seguintes resultados (série mensal):

Dependent Variable: DIF_LN_P_P				
Método: Mínimos Quadrados				
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística t	Prob.
C	0.199597	0.117243	1.702415	0.0902
LN_P_P(-1)	-0.031422	0.018648	-1.685024	0.0935
R-quadrado	0.013998	Média variável dependente		0.002379
R-quadrado ajustado	0.009068	Desvio padrão var. dep.		0.098136
E. P. da Regressão	0.097690	Info. Critério de Akaike		-1.804188
Soma dos res. quad.	1.908659	Critério de Schwarz		-1.771432
Probabilidade log	184.2229	Estatística F		2.839304
Estat. Durbin-Watson	0.937745	Prob. (estat. F)		0.093544

Tabela 8 - Regressão linear preços propeno

A regressão $\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = a + (b - 1)\ln(P_{t-1}) + \varepsilon_t$ (equação 38) para o polipropileno, resulta os seguintes resultados (série mensal):

Dependent Variable: DIF_LN_P_PP				
Método: Mínimos Quadrados				
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística t	Prob.
C	0.194022	0.116192	1.669836	0.0965
LN_P_PP(-1)	-0.028564	0.017113	-1.669078	0.0967
R-quadrado	0.013738	Média variável dependente		0.000251
R-quadrado ajustado	0.008806	Desvio padrão var. dep.		0.068054
E. P. da Regressão	0.067754	Info. Critério de Akaike		-2.536021
Soma dos res. quad.	0.918115	Critério de Schwarz		-2.503266
Probabilidade log	258.1381	Estatística F		2.785823
Estat. Durbin-Watson	1.489903	Prob. (estat. F)		0.096666

Tabela 9 – Regressão linear preços polipropileno

Assim, através das equações (39), (40) e (41) já descritas anteriormente, é possível determinar os parâmetros necessários para a modelagem de um processo de reversão à média para o propeno e para o PP. Estes parâmetros (numa base anual) estão apresentados na tabela abaixo.

	Propeno	PP
a	0,1996	0,1940
b	0,9686	0,9714
Erro padrão da regressão σ_e	9,77%	6,78%
P(t = 0)	1060	1400
Volatilidade σ (%a.a.)	34,38%	23,81%
Velocidade de reversão η (a.a.)	0,3831	0,3478
Preço médio de longo prazo P_bar	671,09	968,01

Tabela 10 – Parâmetros MRM para preços

Abaixo está um gráfico considerando 50 anos de simulação dos preços de reversão à média para os preços até 2056 (através da equação 31) e dez anos com valores esperados, de 2057 até 2066 (através da equação 37).

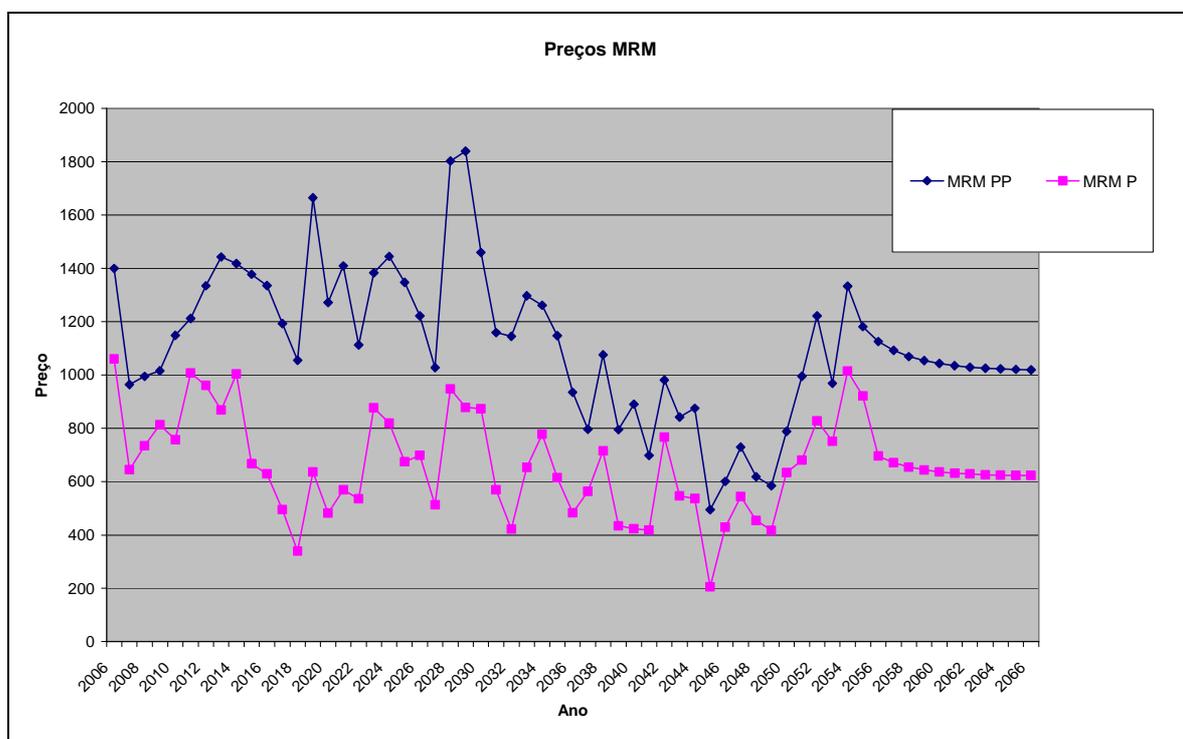


Figura 11 – Simulações dos preços como MRM em vários anos

Abaixo estão dois gráficos para se comparar os processos MRM e MGB para os preços do propeno e polipropileno, respectivamente.

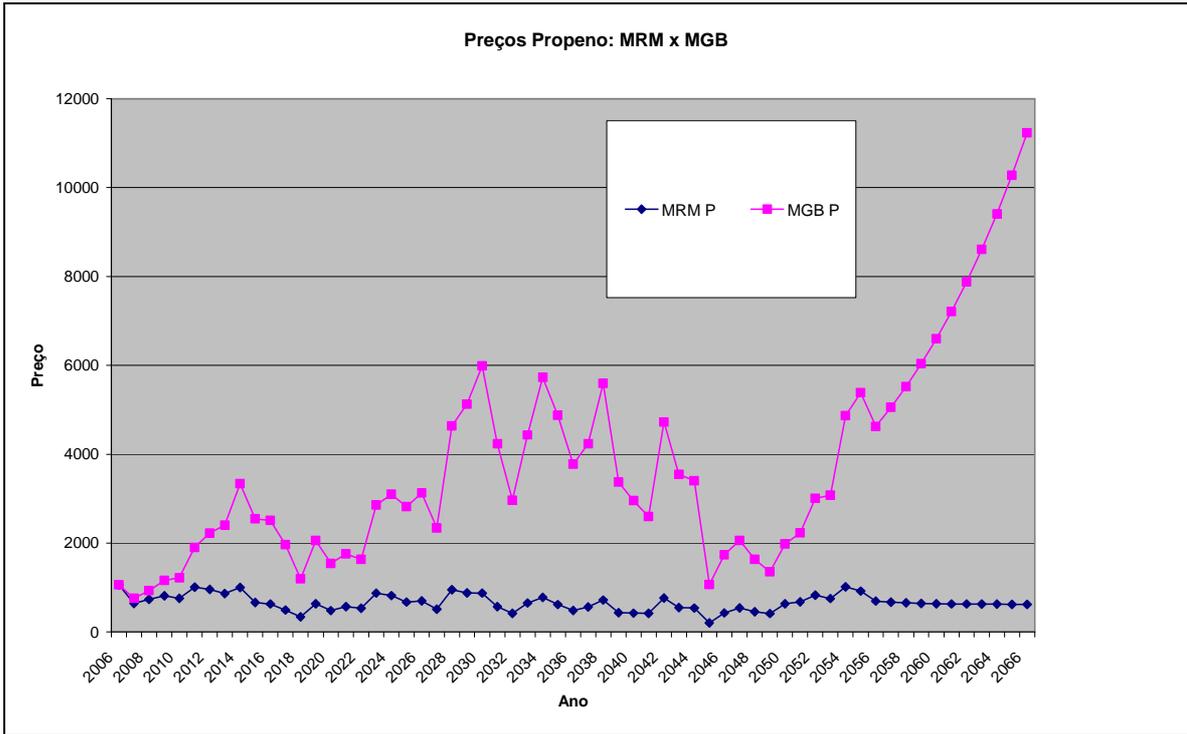


Figura 12 – Preços propeno: MRM x MGB

Vê-se que os preços do MGB são bem mais voláteis, apresentando grandes variações.

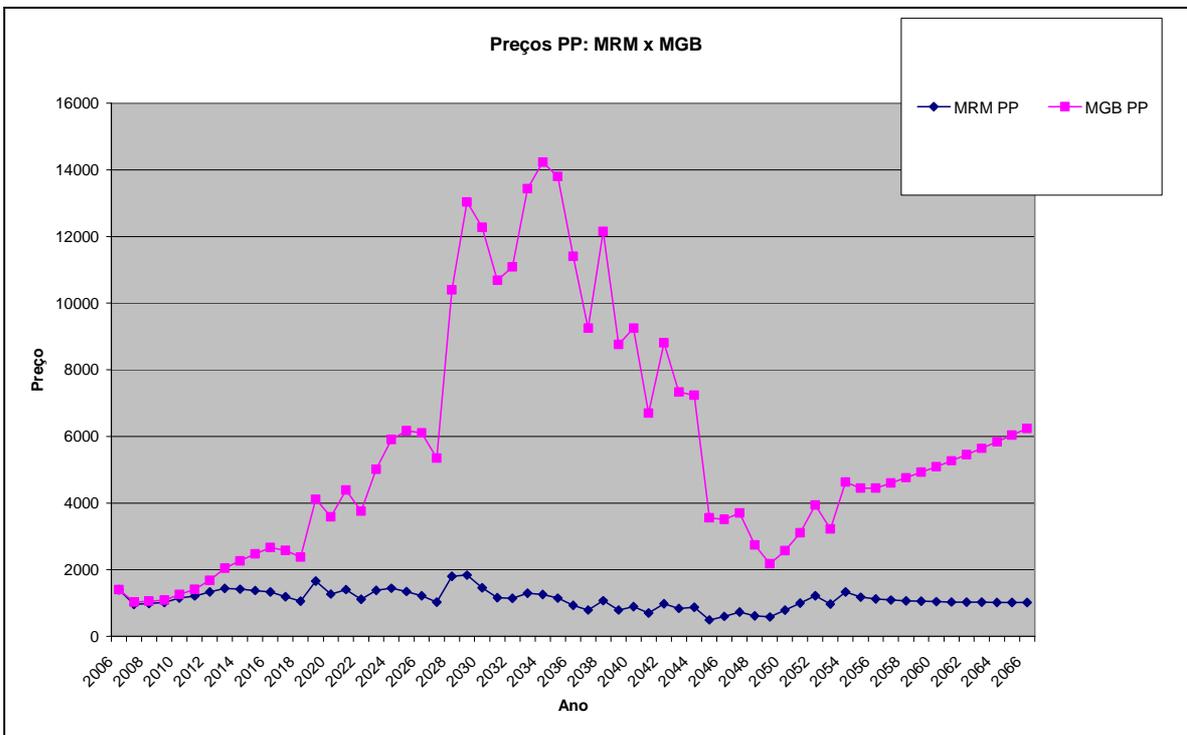


Figura 13 - Preços polipropileno: MRM x MGB

Percebe-se que os preços com MGB na maioria das vezes estão em patamares bastante superiores (caso acima) ou inferiores aos preços de reversão à média. Percebe-se também que nos dois casos os preços que seguem um MGB são mais voláteis. Com relação aos valores esperados dos preços, no caso do MGB estes sobrem exponencialmente, enquanto na reversão à média estes tendem a um valor constante.

5.2.1.4 Movimento de Reversão à Média com Saltos

Tanto para o propeno quanto para o polipropileno foram usados os mesmos parâmetros relativos aos saltos. Os parâmetros adicionais em relação ao movimento de reversão à média são os parâmetros com relação aos saltos, a saber a frequência dos saltos e o tamanho dos saltos (para cima e para baixo).

Como foi dito, assume-se distribuições simétricas dos saltos para cima e para baixo para que a soma do tamanho dos saltos seja zero, e assim não haja necessidade de compensação (Dias, 2004). Para tanto assume-se que a probabilidade de salto para cima é igual a probabilidade de salto para baixo e os valores médios dos saltos são $\ln(2)=0,69315$ nos saltos para cima e $\ln(0,5)=-\ln(2) = -0,69315$ nos saltos para baixo.

Frequência do salto para cima (λu)	0,12500
Frequência do salto para cima (λu)	0,12500
Tamanho médio do salto para cima	0,69315
Tamanho médio do salto para baixo	-0,69315
$E[\phi^2]$	0,48045

Tabela 11 - Parâmetros dos saltos dos preços MRMS

O valor destes parâmetros são os mesmos típicos de um processo de reversão à média com saltos para preços do petróleo (Al-Harthy, 2007), como no caso da frequência do salto, equivalente a 1 salto a cada oito anos. Assumiu-se também que a correlação entre os saltos

dos preços do propeno e do polipropileno é de 90%, isto é, da mesma ordem de grandeza que a correlação entre a média dos preços anuais.

5.2.2 Processo Estocástico do Crescimento da Demanda Nacional de PP

Pode-se também definir um processo estocástico para o crescimento da demanda do produto no mercado interno. O projeto poderá ser executado imediatamente, com um grande volume de exportação do produto a preços reduzidos. Ou haverá a opção de esperar até que a demanda interna do produto tenha se desenvolvido e possa-haver a venda do produto com preço de paridade de importação (preço de referência mais frete e outros custos).

Abaixo estão os valores do PIB brasileiro entre os anos de 1963 e 2006, em reais constantes de 2006.

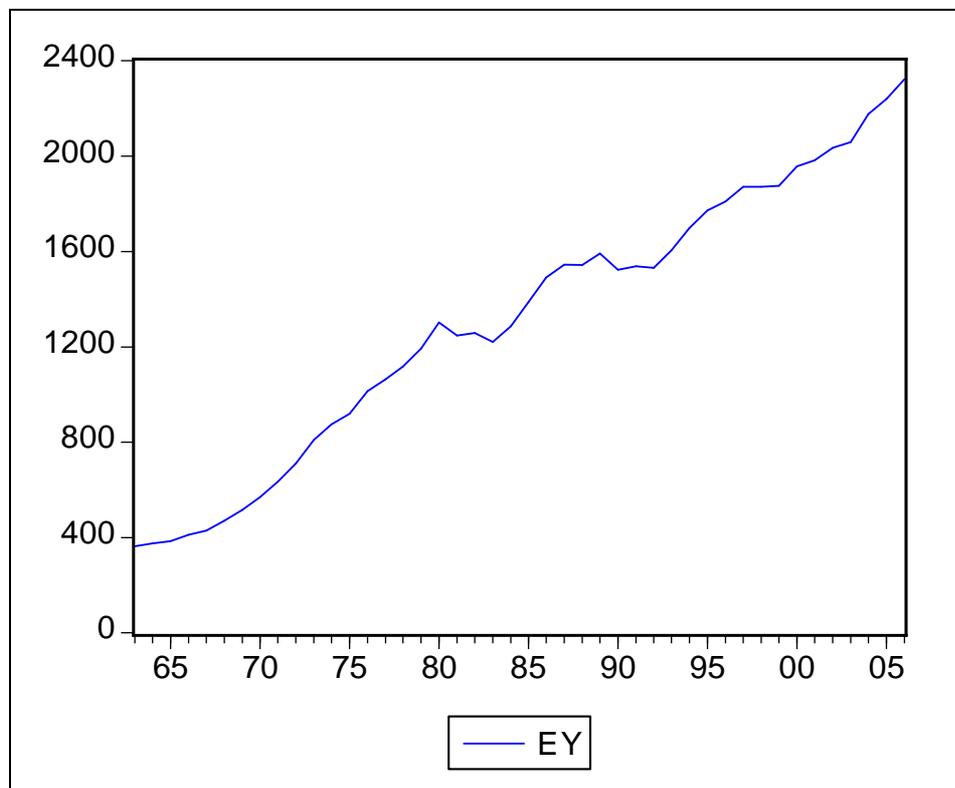


Figura 14 - PIB entre 1963 e 2006

Vê-se que o PIB tem uma tendência bem clara. Possivelmente pode ser modelado como um movimento geométrico browniano.

5.2.2.1 Movimento Geométrico Browniano do Crescimento da Demanda Nacional de PP

A partir das séries históricas para o PIB ($\ln(\text{PIB})$), foram estimados os seguintes parâmetros para o Movimento Geométrico Browniano o PIB:

$\ln(P_t/P_{t-1})$	a. a.
média	4,22%
var	0,16%
desvio padrão	4,03%
alfa	4,31%

Tabela 12 - Parâmetros MGB do PIB

Os valores de α foram calculados através da equação (24).

Abaixo está um gráfico considerando 50 anos de simulação do PIB pelo processo MGB (através da equação 22), até 2056 e dez anos com valores esperados (equação 25), de 2057 até 2066 (Figura 15).

Se a partida da unidade é imediata em 2011, imagina-se que, com grandes chances, um grande volume será exportado. Na medida em que a demanda interna vai crescendo, o volume exportado diminui e as vendas internas aumentam. Desta forma o resultado do projeto tende a melhorar com um tempo maior de espera, pois o preço de venda do produto no mercado interno é maior. Assim, pode haver um valor em se adiar o projeto até que a demanda interna esteja suficientemente desenvolvida. Por outro lado, já foi mostrado que o impacto dessa variável no VPL não é tão significativo. O VPL é mais sensível a variações nos preços dos produtos.

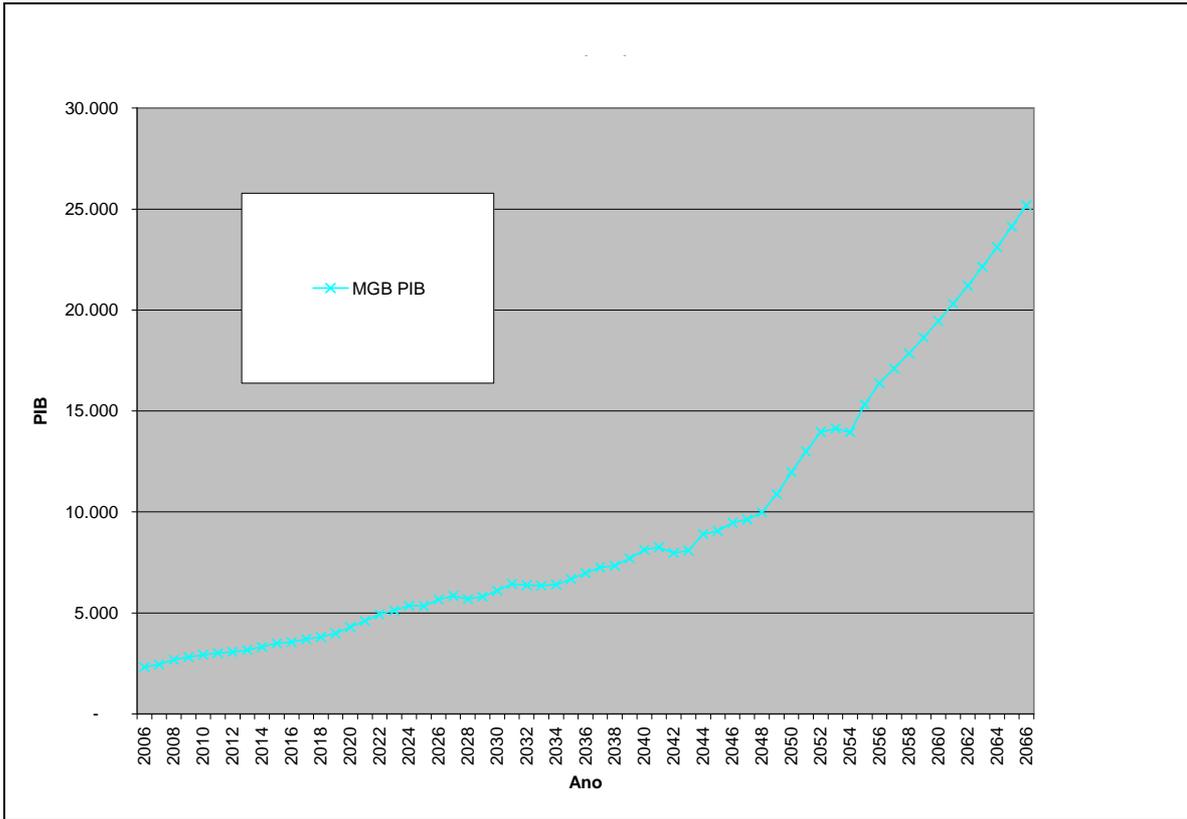


Figura 15 - Simulações do PIB

Considera-se como aproximação que a demanda de polipropileno do mercado interno depende apenas do crescimento do PIB e não do valor do preço do mercado internacional de polipropileno.

5.2.2.2 Teste de Raízes Unitárias para o Crescimento da Demanda Nacional de PP

Como espera-se uma média não nula para os valores do PIB brasileiro e a hipótese é que há tendência, deve-se testar a hipótese de raiz unitária com os dois elementos determinísticos de intercepto e termo de tendência. Utilizando o teste de Dickey Fuller aumentado, para a série histórica anual do PIB, tem-se:

Hipótese Nula: ln(PIB) tem raiz unitária				
Variável exógena: Constante, Tendência Linear				
Tamanho da defasagem: 0 (seleção automática - critério de Schwarz, máx. = 9)				
			Estatística t	Prob.*
Estatística do teste de Dickey-Fuller aumentado			-1.215158	0.8946
Valores críticos do teste:	Nível 1%		-4.186481	
	Nível 5%		-3.518090	
	Nível 10%		-3.189732	
*P-valores unilaterais de MacKinnon (1996).				
Equação de teste do Dickey-Fuller aumentado				
Variável Dependente: D(Y)				
Método: Mínimos Quadrados				
Variable	Coefficient	Std. Error	Estatística t	Prob.
Y(-1)	-0.038666	0.031820	-1.215158	0.2314
C	0.312655	0.195033	1.603084	0.1168
@TREND(1963)	0.000108	0.001394	0.077720	0.9384
R-quadrado	0.244912	Média variável dependente		0.043081
R-quadrado ajustado	0.207158	Desvio padrão var. dep.		0.040387
E. P. da Regressão	0.035961	Info. Critério de Akaike		-3.745528
Soma dos res. quad.	0.051729	Critério de Schwarz		-3.622654
Probabilidade log	83.52886	Estatística F		6.486979
Estat. Durbin-Watson	1.236990	Prob. (estat. F)		0.003630

Tabela 13 - Teste de Raiz Unitária para PIB

Não há indícios suficientes para se rejeitar a hipótese nula, pois o valor da estatística t desta série é menor que o valor crítico ao nível de 10%. Assim, não se pode rejeitar um MGB para o PIB. O valor da demanda interna é calculado em função do PIB, de acordo com o resultado de uma regressão já mostrada anteriormente.

5.3 CÁLCULO DA VOLATILIDADE AGREGADA DO PROJETO

Para o cálculo da volatilidade agregada foi realizada a simulação dos processos estocásticos para o primeiro ano de operação do projeto (2011) e nos demais anos são considerados valores esperados.

A volatilidade do projeto foi calculada em diferentes casos, apresentados a seguir, variando três tipos de processos estocásticos para os preços (movimento geométrico browniano, reversão à média e reversão à média com saltos) e um processo estocástico para o PIB, a partir do qual é calculada a demanda interna do polipropileno.

Nas simulações de Monte Carlo assumiu-se que os preços do propeno e polipropileno estão correlacionados. Esta correlação foi calculada para as séries mensais e o valor obtido foi de 74% (ou 0,74).

Para cada simulação, o V_0 adotado (valor do projeto em $t=0$) foi o valor calculado considerando $N(0;1) = 0$. Este valor de V_0 também é o valor do projeto sem flexibilidade considerando diferentes valores esperados para os diferentes processos estocásticos adotados em cada um dos casos. As saídas da simulação de Monte Carlo utilizadas são a variância do valor do projeto e a média do valor do projeto. A partir do valor de V_0 , da variância do valor do projeto e da média do valor do projeto, calculou-se o valor dos dois parâmetros do MGB do projeto, a saber (i) tendência do valor do projeto, α_v , calculado a partir da equação (51) e (ii) a volatilidade do projeto (desvio padrão), σ_v , calculada a partir da equação (53). As equações (51) e (53) podem ser usadas porque se admitiu que o valor do projeto segue um MGB, como já foi dito. Assim, a saída da simulação de Monte Carlo definida foi o valor do projeto (sem valor do investimento), e não o valor do retorno do projeto, como em CA.

5.3.1 Cálculo da Volatilidade Caso 1: Preços seguindo MGB

No primeiro caso estudado foi admitido que os preços seguem um movimento geométrico browniano. Neste caso, todos os processos inclusive o PIB foram modelados como MGB. Foram calculadas volatilidades também para o caso de só um preço seguir um movimento geométrico browniano. Os resultados estão na tabela a seguir.

Simulação	1	2	3	4
Preço P	CTE	CTE=671,1	MGB	MGB
Preço PP	CTE	MGB	CTE	MGB
Demanda	MGB	CTE	CTE	MGB
V(t = 0), MM USD	284,8	876,87	(259,5)	(52,0)
E[V(t _{simula})]	310,9	1.002,8	(385,8)	(112,4)
Var[V(t _{simula})]	612,5	167.065,8	414.001,5	199.512,8
α_V	8,75%	13,42%	39,66%	77,07%
σ_V	7,95%	39,20%	115,34%	167,95%

Tabela 14 - Volatilidade para MGB nos preços e no PIB

Vê-se que no caso de todos os processos seguindo um MGB (simulação 4) houve uma média de valores do projeto muito negativa, levando a distorções no cálculo da volatilidade. Além disso, o valor do projeto sem flexibilidade (V_0) para este caso é negativo, o que impossibilita o cálculo do valor da opção real. No caso de um MGB somente para os preços do produto (simulação 2), tem-se um resultado com uma ordem de grandeza mais razoável. Considerando que a volatilidade do processo dos preços do polipropileno (tabela 4) é de $\sigma = 23,55\%$, pode-se dizer que a volatilidade deste preço torna a volatilidade do projeto (da simulação 2, $\sigma = 39,20\%$) duas vezes maior.

Outro resultado importante desta série de simulações é a volatilidade (de 7,95%) obtida para o caso de MGB somente para o PIB (simulação 1). Percebe-se que o processo estocástico do PIB tem pouca influência na volatilidade quando se compara com a volatilidade obtida para

os preços. Já tinha sido mostrado que o VPL era menos sensível a variações do PIB que a variações nos preços, pois esta variável afeta somente os primeiros anos do projeto.

5.3.2 Cálculo da Volatilidade Caso 2: Preços seguindo MRM

Para o caso dos preços seguindo reversão à média e o PIB seguindo um MGB, a volatilidade obtida foi de 22,70% (simulação 7). Sem o processo do PIB e do crescimento da demanda, a volatilidade resultante é de 21,22% (simulação 8). Novamente, percebe-se que o impacto desta variável (PIB) não é tão grande e não é aditivo em termos de volatilidade agregada do projeto, provavelmente porque estas variáveis (PIB e preços) incidem apenas sobre a margem dos preços, muitas vezes anulando seus efeitos mutuamente.

Simulação	5	6	7	8	9	10
Preço P	MRM	CTE=671,1	MRM	MRM	MRM	MRM
Preço PP	CTE	MRM	MRM	MRM	MRM	MRM
Demanda	CTE	CTE	MGB	CTE	CTE	CTE
V(t = 0), MM USD	594,2	355,72	280,5	281,1	281,1	281,1
E[V(t _{simula})]	639,6	393,7	303,8	304,1	304,1	304,1
Var[V(t _{simula})]	7.939,9	8.043,5	4.879,8	4.259,9	15.940,0	13,2
α_V	7,36%	10,14%	7,99%	7,88%	7,88%	7,88%
σ_V	13,87%	22,49%	22,70%	21,22%	39,88%	1,20%
Correlação	-	-	0,74	0,74	0,00	1,00

Tabela 15 - Volatilidade para MRM nos preços e MGB para o PIB

As últimas três colunas comparam o efeito da correlação entre os preços sobre a volatilidade do projeto. Vê-se que a alta correlação entre os preços tem grande impacto para diminuir o valor da volatilidade. Se os preços fossem totalmente independentes, isto é, tivessem correlação igual a zero, a volatilidade aumentaria para 39,88% (simulação 9).

5.3.3 Cálculo da Volatilidade Caso 3: Preços seguindo MRM com Saltos

O resultado da simulação considerando processos de reversão à média com saltos para os preços (com correlação de 0,74 para os dz's e 0,90 para os dq's, ver equações 42 e 45) está apresentado abaixo.

Simulação	11
Preço P	MRMS
Preço PP	MRMS
Demanda	MGB
V(t = 0), MM USD	278,6
E[V(t_{simula})]	306,5
Var[V(t_{simula})]	17.908,8
α_V	9,57%
σ_V	41,77%

Tabela 16 - Volatilidade para MRMS nos preços e MGB para o PIB

Comparando-se as variâncias de V das simulações 4, 7 e 11, percebe-se que foi obtido um valor de volatilidade intermediário entre a volatilidade obtida por reversão a média e a volatilidade obtida por movimento geométrico browniano.

5.3.4 Discussão dos Resultados

A tabela abaixo compara o valor obtido pelos três processos diferentes testados para os preços:

Simulação	4	7	11
Preço P	MGB	MRM	MRMS
Preço PP	MGB	MRM	MRMS
Demanda	MGB	MGB	MGB
V(t = 0), MM USD	(52,0)	280,5	278,6
E[V(t_{simula})]	(112,4)	303,8	306,5
Var[V(t_{simula})]	199.512,8	4.879,8	17.908,8
α_V	77,07%	7,99%	9,57%
σ_V	167,95%	22,70%	41,77%

Tabela 17 - Resumo das volatilidade para diferentes processos nos preços

No caso do MRMS foi obtido um valor intermediário para a volatilidade do projeto (41,77%). Apesar do MRMS ser possivelmente o processo mais realista (por se tratar de um processo de reversão à média com possibilidades de choque na oferta e demanda), como não se tem certeza se os parâmetros adotados para o salto dos preços são de fato iguais aos saltos típicos de petróleo (adotados como referência), decidiu-se por não adotar este caso como o caso base. Outro motivo para não se utilizar este processo é que o valor de δ (que pode ser calculado a partir da equação 56) para este caso é negativo (pois a tendência do projeto, α , é maior que taxa ajustada ao risco, R).

O valor da volatilidade para o caso em que os preços seguem um MGB é muito maior do que o caso em que os preços seguem um MRM. Em primeiro lugar, é importante lembrar que o VPL é muito sensível em relação aos preços da matéria-prima e do produto. Outro ponto importante é mostrar como o MGB e o MRM se comportam ao longo do tempo. O gráfico abaixo mostra o comportamento dos processos para o caso de simulação em um único ano e valores esperados para os demais anos.

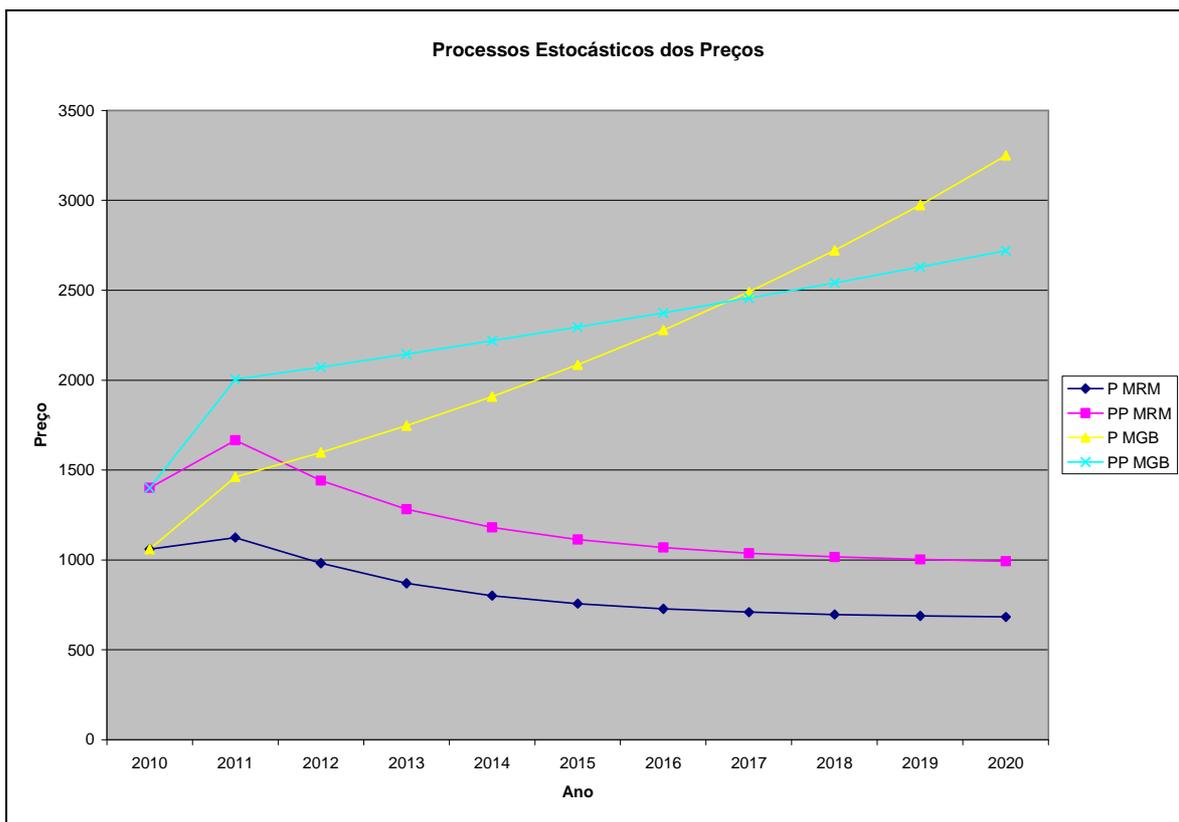


Figura 16 - Exemplo de simulação dos preços para um período (2011) e demais anos como valores esperados

Percebe-se que no MGB os valores esperados aumentam exponencialmente. Além disso, a tendência do propeno (matéria-prima) é maior que a tendência do polipropileno (das tabelas 4 e 5). Assim, o valor do projeto tende a ficar negativo em grande parte da simulação no caso em que os preços são modelados por MGBs. Por isso, a média do valor do projeto é negativa. Isso gera uma distorção dos resultados, além de uma alta volatilidade.

Pode-se também comparar a margem para os dois tipos de processos, considerando um único valor aleatório para uma simulação de preços. O resultado está na figura abaixo.

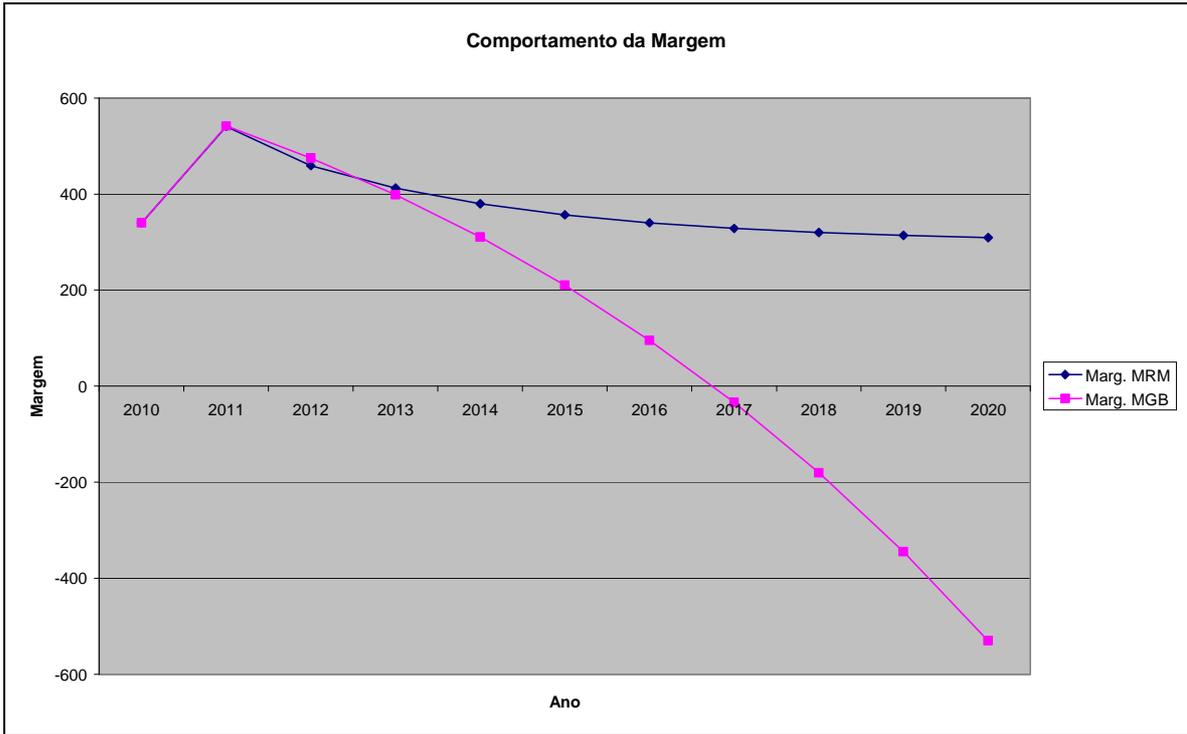


Figura 17 - Exemplo de simulação da margem para um período (2011) e demais anos como valores esperados

Vê-se que as margens dos preços caem rapidamente no caso do MGB, enquanto no MRM a margem tende a um valor constante. Considerando 12 iterações aleatórias, pode-se desenhar o seguinte gráfico para o MGB:

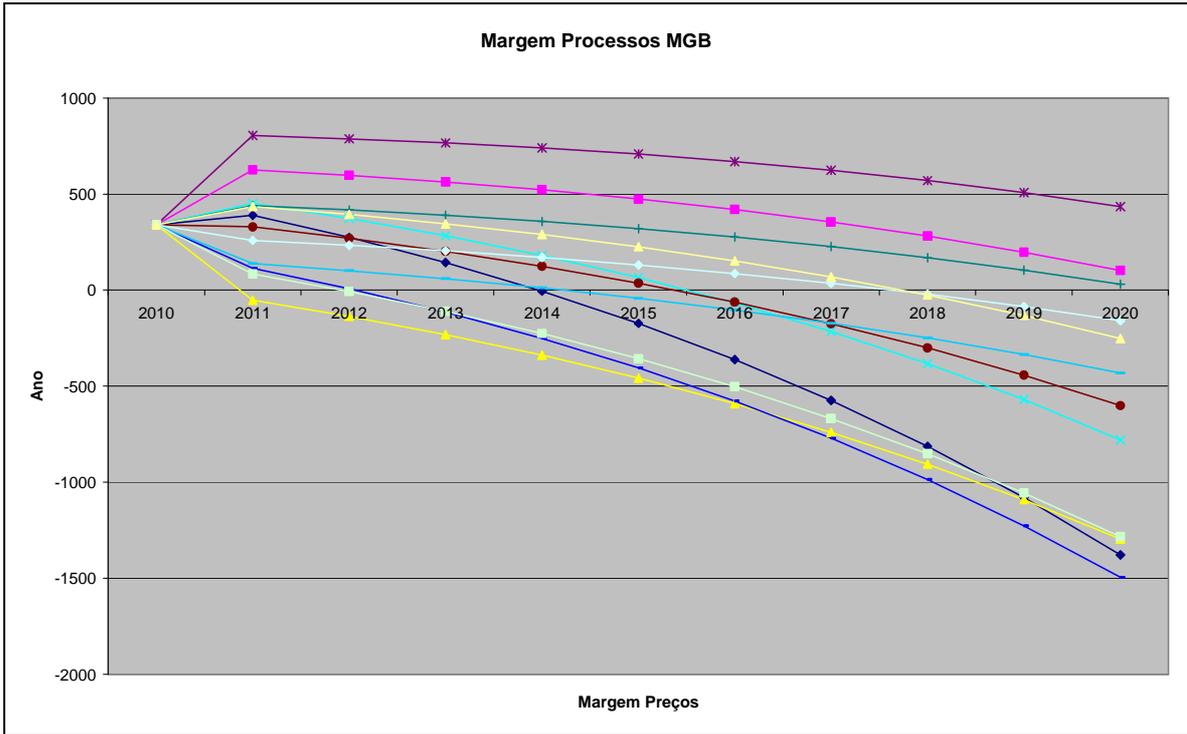


Figura 18 - Várias simulações da margem para um período (2011) considerando preços como MGB e demais anos como valores esperados

E para o MRM, tem-se o seguinte gráfico:

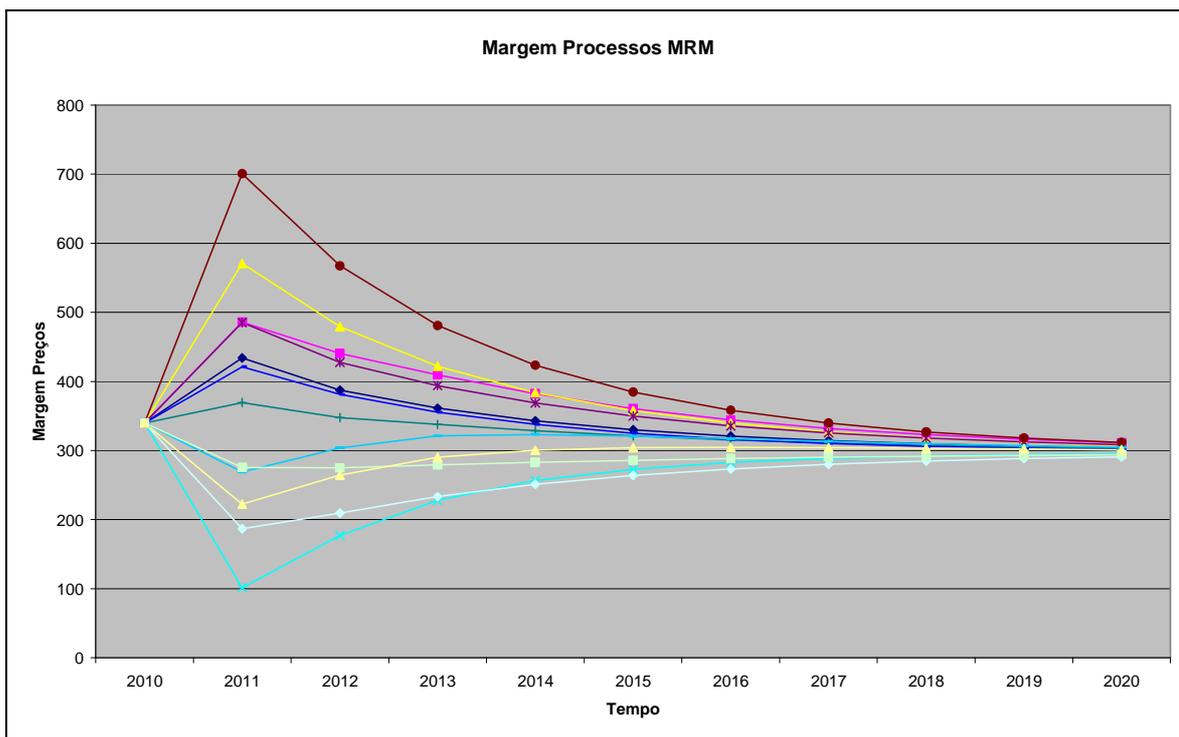


Figura 19 -Várias simulações da margem para um período (2011) considerando preços como MRM e demais anos como valores esperados

Assim, para diversas iterações, isto é, para diferentes valores da distribuição normal (0;1) gerados em simulação, vê-se que enquanto a margem entre o preço de venda e preço da matéria-prima para MRM tende a um valor constante e tem grande variabilidade apenas nos primeiros anos, no caso do MGB a margem não tende para valores constantes, é bastante negativa, apresentando também grande variabilidade. Estes fatos explicam a elevada variância de V e a elevada volatilidade do projeto obtidas para o caso em que os preços seguem um MGB.

Outro ponto importante é mostrar como estes dos processos são afetados por variações da amostra aleatória normal, $N(0;1)$, utilizada nas equações (22), (37) e (45). O gráfico abaixo mostra essa análise de sensibilidade.

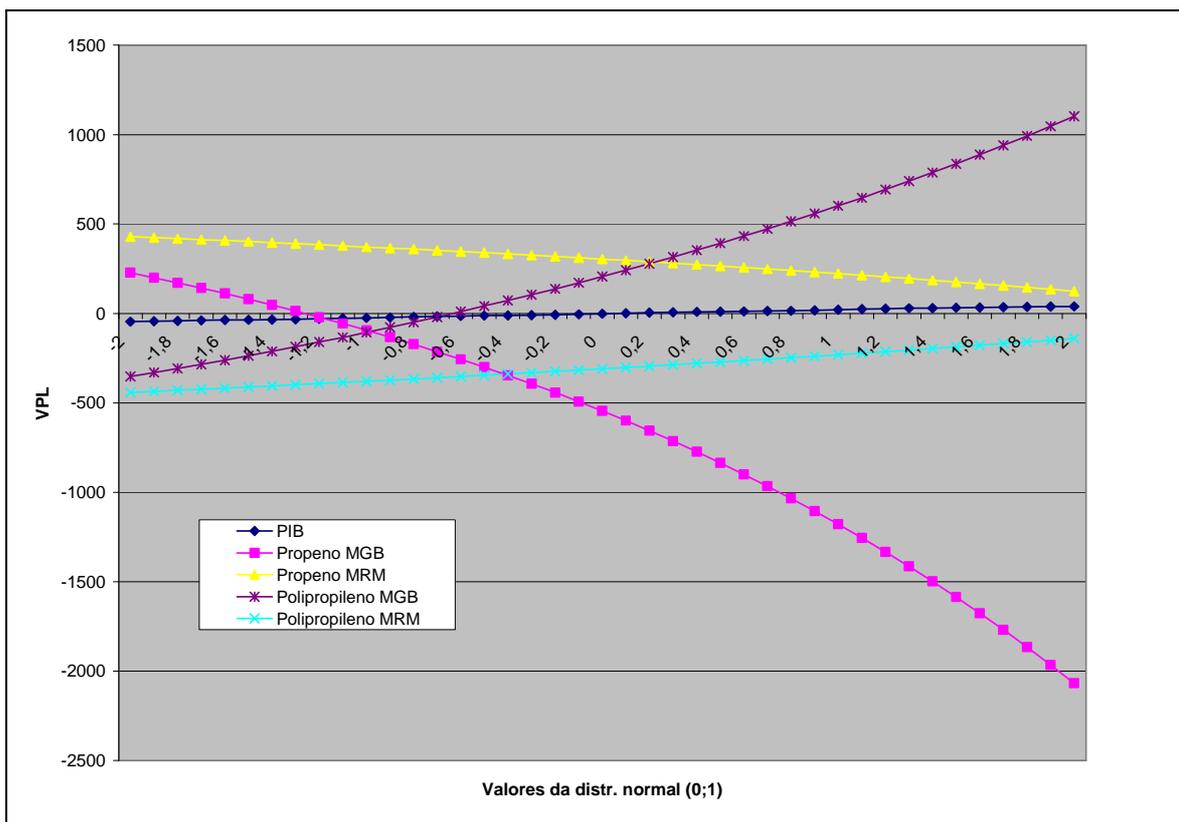


Figura 20 - Análise de sensibilidade do VPL a variações de $N(0;1)$ considerando diferentes processos para os preços

Vê-se novamente que o valor do projeto é altamente sensível a variações do valor da distribuição normal dos preços do propeno e do PP quando estes seguem um MGB. No caso de MRM a sensibilidade é muito menor, e limitada. Esta é outra explicação para a grande volatilidade (ou variância) obtida para o caso dos preços com MGB. Ao mesmo tempo, o efeito sobre o PIB é muito menor ainda.

Optou-se por não usar o valor da volatilidade obtida com preços MGB, pois o V_0 do projeto é negativo (a média do valor do projeto é negativa). Considera-se que os preços não têm uma boa modelagem por estes processos no longo prazo. Não se espera que os preços reais destas *commodities* cresçam com o tempo e principalmente que a tendência do propeno seja maior que a do PP no longo prazo. Estas tendências foram obtidas provavelmente por uma questão do contexto dos anos de amostragem, mas não é uma situação que pode se sustentar por

muitos anos. A tendência do propeno está maior porque nos anos da amostragem ocorreram grandes aumentos do preço do petróleo e o preço do propeno provavelmente foi ajustado mais eficientemente que o preço do polipropileno (este último tem produtos substitutos, como já foi mencionado). Com estes choques no aumento do preço do petróleo, a margem da indústria ficou espremida entre o preço da matéria-prima e o preço da resina (PP). Porém essa tendência de redução de margens não pode se sustentar por muito tempo. Do contrário, todas as unidades de PP fechariam suas portas, levando a um aumento do preço do PP novamente.

Finalmente, pode-se comparar três resultados obtidos para o caso de variação estocástica somente no preço do polipropileno. Este seria o caso de uma empresa integrada em toda a cadeia que teria apenas custos fixos e custos variáveis constantes. A comparação está na tabela abaixo.

Simulação	2	6	12
Preço P	CTE=671,1	CTE=671,1	CTE=671,1
Preço PP	MGB	MRM	MRMS
Demanda	CTE	CTE	CTE
V(t = 0), MM USD	876,87	355,72	349,63
E[V(t_{simula})]	1.002,8	393,7	402,2
Var[V(t_{simula})]	167.065,8	8.043,5	31.108,8
α_V	13,42%	10,14%	14,02%
σ_V	39,20%	22,49%	41,94%

Figura 21 - Volatilidade e tendência para diferentes processos estocásticos somente no preços do PP

Da figura 21, para o caso de processo estocástico apenas para o PP, vê-se que foram obtidas volatilidades semelhantes para o MGB e MRMS, apesar da variância de V ser bem maior para o caso do MGB. Foi obtida uma variância com um valor intermediário no caso de um processo de reversão à média com saltos. Este é possivelmente o melhor processo para se representar preços de produtos petroquímicos. Porém, irá se adotar como caso base a

volatilidade e a tendência obtidas no caso em que se utiliza MRM nos preços e MGB no PIB (simulação 7).

5.4 CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO REAL

O caso base adotado foi obtido com os preços seguindo MRM e com o PIB seguindo um MGB. Os parâmetros para o cálculo da opção estão apresentados abaixo.

V_0	280,48	u	1,255
$X = I$	285,82	d	0,797
τ	10	p	53,8%
σ	22,7%	$1-p$	46,2%
R_f	4,32%	α	7,99%
μ	9,02%	δ	1,03%

Tabela 18 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso base

O valor do VPL sem flexibilidade nesse caso é $VPL = V - I$. Da tabela 17, tem-se que o VPL = US\$ - 5,34 milhões ($VPL = 280,48 - 285,82 = - 5,34$). Este seria o VPL do projeto considerando exercício imediato.

Pode-se então estimar o valor do projeto ao longo do tempo, através da equação (54).

Valor do projeto										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
280,48	348,34	432,61	537,26	667,24	828,65	1029,12	1278,08	1587,27	1971,26	2448,14
	221,24	274,76	341,23	423,78	526,30	653,62	811,75	1008,12	1252,01	1554,89
		174,51	216,73	269,16	334,27	415,14	515,56	640,29	795,19	987,56
			137,65	170,95	212,30	263,67	327,45	406,67	505,05	627,23
				108,57	134,84	167,46	207,97	258,29	320,77	398,37
					85,64	106,36	132,09	164,05	203,73	253,02
						67,55	83,89	104,19	129,40	160,70
							53,28	66,17	82,18	102,06
								42,03	52,20	64,82
									33,15	41,17
										26,15

Figura 22 - Valor do projeto segundo fórmula binomial

O valor da opção da opção é calculado em cada nó a partir da equação (57). O resultado está abaixo. Assim, o valor da opção de espera calculado pela fórmula binomial é de US\$ 99,95 milhões (figura 23, abaixo).

Valor da Opção de Espera											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
99,95	145,71	209,02	294,86	408,92	557,70	748,90	992,38	1301,45	1685,44	2162,33	
	56,05	85,64	128,65	189,68	273,99	387,29	535,54	725,44	966,19	1269,07	
		26,84	43,58	69,66	109,28	167,74	250,96	364,59	513,05	701,74	
			9,86	17,31	30,06	51,46	86,56	142,17	225,89	341,41	
				2,11	4,10	7,95	15,43	29,92	58,03	112,55	
					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	0,00	0,00	0,00	
								0,00	0,00	0,00	
									0,00	0,00	
										0,00	
											0,00

Figura 23 - Valor da opção de espera segundo fórmula binomial

Pode-se também calcular o valor da opção através da planilha Timing, que resolve a equação diferencial parcial de Black-Scholes, considerando as condições de contorno para opção americana com pagamento de dividendos, através de aproximações numéricas. Os resultados estão abaixo. O valor da opção de espera calculado por aproximações da EDP de Black-Scholes foi de US\$ 100,75 milhões (figura 24 abaixo).

2.1) The value of the threshold (level of optimal immediate investment) V^* *

$V^* =$ \$ millions

$V^*/I =$ unitary threshold (see chart below)

Options theory suggestion: WAIT AND SEE as the optimal action under uncertainty

2.2) The value of the option to invest (or the value of the investment opportunity) F

$F =$ \$ millions

So, the option premium value (or the waiting value) = $F - NPV = 99,67$ \$ millions

2.3a) Probability of Exercise Occurrence with **Hybrid Quasi-Monte Carlo Simulation (HQMC)**

Probab* =

2.4a) The expected **first hitting time** T^* for V' to cross the threshold curve, given that the exercise occurs

$T^* =$ years

(using HQR)

Figura 24 - Saída do programa Timing – primeira parte
(disponível em <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>)

Os valores obtidos pelo modelo binomial e através da planilha Timing ficaram muito próximos, respectivamente US\$ 99,95 milhões e US\$ 100,75 milhões. Vê-se nesse caso que há valor em se esperar para realizar o projeto. O valor da opção de espera é maior que o valor do projeto considerando exercício imediato (US\$ - 5,34 milhões).

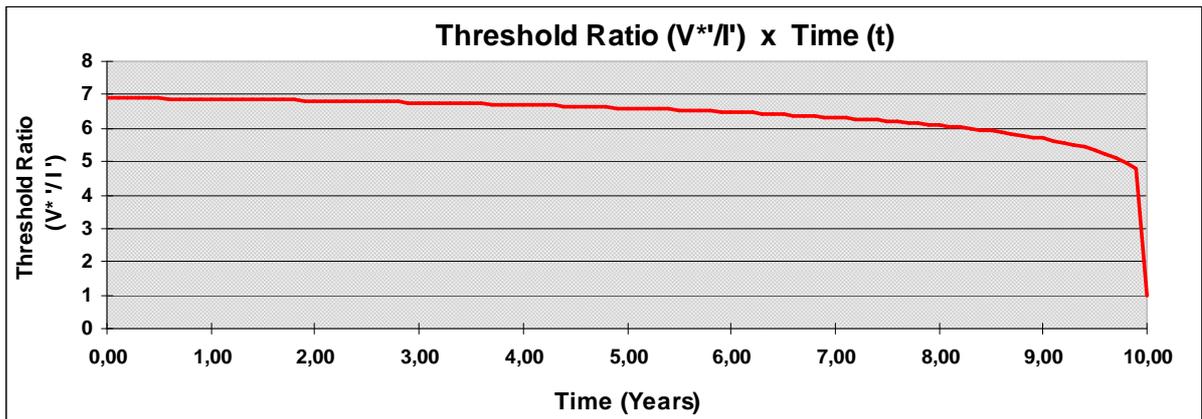


Figura 25 - Saída do programa Timing – segunda parte - Valor do gatilho no tempo
(disponível em <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>)

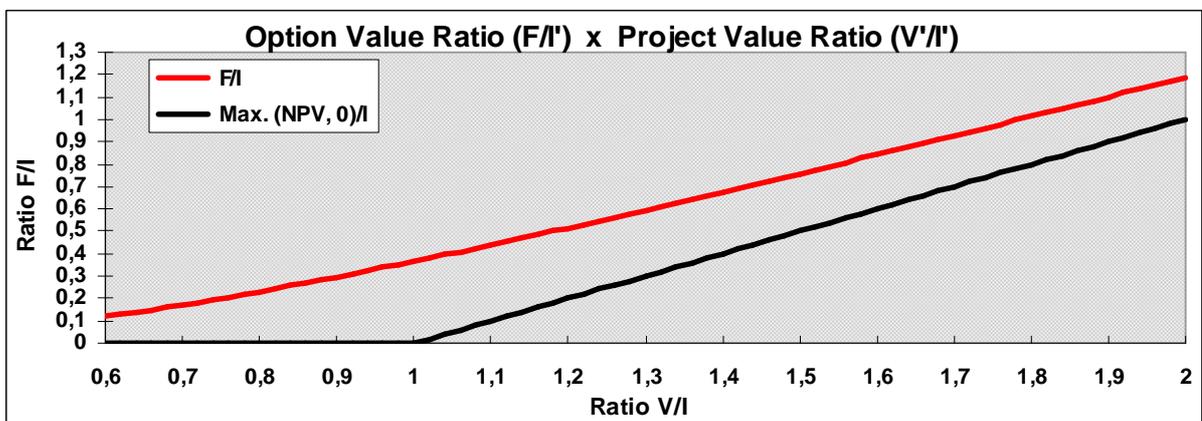


Figura 26 - Saída do programa Timing – segunda parte - Valor da opção de espera
(disponível em <http://www.puc-rio.br/marco.ind/timing.html>)

No gráfico acima (saída da planilha Timing), é possível ver a curva de gatilhos para o valor do projeto. O gatilho é o valor no qual fica indiferente investir ou esperar. Vê-se que o valor

do gatilho é 6,9 vezes o valor do investimento. Se o valor do projeto atingir o valor do gatilho em um dado ano, deve-se investir imediatamente.

Comparou-se também os valores obtidos com o resultado do cálculo da opção europeia através da fórmula de Black-Scholes-Merton (apropriada para opção europeia com pagamento de dividendos). Os resultados estão abaixo.

B&S&M	
d1=	0,7917
d2=	0,0739
N(d1)=	0,7857
N(d2)=	0,5295
F=	100,66

Tabela 19 - Valor da opção de compra europeia com pagamento de dividendos calculado pela fórmula de Black-Scholes-Merton

Também foi calculado o valor de espera como uma opção europeia pelo método binomial. O resultado está abaixo.

Valor da Opção Europeia										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
99,89	145,59	208,80	294,44	408,14	556,25	746,22	987,41	1292,25	1677,07	2162,33
	56,04	85,63	128,63	189,64	273,92	387,16	535,27	724,92	965,19	1269,07
		26,84	43,58	69,66	109,28	167,74	250,96	364,59	513,05	701,74
			9,86	17,31	30,06	51,46	86,56	142,17	225,89	341,41
				2,11	4,10	7,95	15,43	29,92	58,03	112,55
					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							0,00	0,00	0,00	0,00
								0,00	0,00	0,00
									0,00	0,00
										0,00

Figura 27 - Valor da opção de compra europeia com pagamento de dividendos calculado pela fórmula binomial

Vê-se que os resultados da opção de compra europeia calculada pelos dois métodos são próximos, pois a fórmula binomial tende para o resultado da fórmula de Black-Scholes-Merton a medida que o número de passos aumenta. Ao mesmo tempo estes resultados estão próximos do obtido para o valor de compra americana. Isso porque o *dividend yield* ou δ é

pequeno (calculado a partir da equação 56). Sabe-se que se não há pagamento de dividendos, o valor da opção de compra americana é igual ao valor da opção de compra européia. Como o *dividend yield* do projeto, δ , é pequeno, os resultados da opção de compra européia e da opção de compra americana (usada na modelagem da opção de espera) ficaram muito próximos também.

Outro ponto interessante é que os resultados obtidos pela fórmula binomial para opção americana e européia ficaram próximos entre si, assim como o resultado obtido pela EDP de Black-Scholes (para resolver opção americana) e pela fórmula de Black-Scholes-Merton (resolve caso de opção européia) ficaram muito próximos também. Sabe-se que os resultados obtidos por fórmula binomial são discretos. Já no caso da EDP e da fórmula de Black-Scholes os cálculos são feitos para tempo contínuo. Sabe-se também que para muitos passos os resultados obtidos por fórmula binomial tenderiam a ficar bem próximos dos valores obtidos pela EDP de Black-Scholes e pela fórmula de Black-Scholes-Merton.

Como caso alternativo, foi calculado o valor de espera para o caso em que somente o PIB segue um MGB e os preços são considerados constantes (simulação 1). Nesse caso o efeito da volatilidade dos preços é desprezado. O valor de espera é gerado somente pela opção de se esperar até que o mercado interno tenha se desenvolvido e se possa vender o produto no mercado interno sem desconto. Os parâmetros para o cálculo da opção estão abaixo.

V	284,85	u	1,083
X = I	285,82	d	0,924
τ	10	p	75,2%
σ	7,95%	1-p	24,8%
R_f	4,32%	α	8,75%
μ	9,02%	δ	0,27%

Tabela 20 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso alternativo um

O valor do VPL sem flexibilidade nesse caso (caso alternativo) é $VPL = V - I$. Da tabela 19, pode-se calcular o $VPL = US\$ -1,02$ milhões ($VPL = 284,80 - 285,82 = -1,02$).

Usando a fórmula binomial, valor da opção de espera obtido foi de US\$ 91,06 milhões. Vê-se que mesmo com um valor de volatilidade inferior (menor que a metade da volatilidade do caso base), o valor da opção de espera não foi tão reduzido. Em relação ao caso base.

Outro caso alternativo ainda pode ser considerado. Assumindo valores esperados para o crescimento do PIB e Movimentos de Reversão à média para os preços do propeno e PP (simulação 8), obtêm-se os seguintes parâmetros para o cálculo da opção de espera:

V	281,05	u	1,236
X = I	285,82	d	0,809
τ	10	p	54,8%
σ	21,2%	1-p	45,2%
R_f	4,32%	α	7,88%
μ	9,02%	δ	1,14%

Tabela 21 - Parâmetros para cálculo da opção de espera - Caso alternativo dois

O valor da opção de espera (calculado pelo método binomial) nesse caso foi de US\$ 94,65 milhões. Assim, mesmo utilizando-se diferentes variáveis incertas com diferentes modelagens dos processos estocásticos para uma unidade de PP, obtêm-se um valor de espera significativo.

5.5 RESUMO DOS RESULTADOS

Calculou-se o valor da volatilidade do projeto considerando três processos estocásticos diferentes para os preços: movimento geométrico browniano (MGB), reversão à média (MRM), e reversão à média com saltos (MRMS). Para o caso de preços como um MGB, obtiveram-se valores de volatilidade muito altos, além de média negativa para o valor do

projeto. Discutiram-se as razões para essa volatilidade exagerada (e para as médias negativas) do valor do projeto nesse caso.

Também se decidiu por não utilizar os resultados da simulação com MRMS para os preços por haver incerteza na determinação dos seus parâmetros. Além disso, a simulação por MRMS resultou em valores negativos para o *dividend yield*, δ (equação 56) do projeto (pois o valor da tendência α do projeto é maior que a taxa ajustada ao risco, R).

Caso	Base	Altern. 1	Altern. 2
Simulação Nº	7	1	8
Preço P	MRM	CTE	MRM
Preço PP	MRM	CTE	MRM
PIB/ Demanda	MGB	MGB	CTE
VPL do Projeto sem Flexibilidade, MM USD	-5,3	-1,0	-4,8
Volatilidade agregada, σ	22,7%	8,0%	21,2%
Taxa de Dividendos, δ	1,0%	0,3%	1,1%
Valores da Opção de Espera (em MM USD) obtidos por:			
Fórmula Binomial (opção de compra americana)	100,0	91,1	94,6
Fórmula Binomial (opção de compra europeia)	99,9	91,1	94,6
EDP de Black-Scholes	100,7	93,1	95,4
Equação de Black-Scholes-Merton	100,7	93,1	95,3

Tabela 22 – Sumário dos Resultados – Cálculo da Opção Real de Espera

Com os dados da simulação com reversão à média nos preços (caso base), calculou-se o valor da opção real de espera do projeto por quatro maneiras diferentes: fórmula binomial para opção de compra americana, resolução de equação diferencial por aproximações numéricas (*software* Timing), fórmula de Black-Scholes-Merton e fórmula binomial para opção de compra europeia. Estes dois últimos métodos de cálculo da opção real foram utilizados apenas a título de comparação, uma vez que a opção real de espera (assim como a opção de compra americana) pode ser exercida antes da sua expiração. Portanto esses dois últimos métodos não são adequados para o cálculo da opção de espera. Porém, como o valor de δ (equação 56) é pequeno, os resultados ficaram próximos. O valor da opção de espera para o caso base ficou

em torno de US\$ 101 milhões (obtido pela EDP de Black-Scholes). Os resultados estão na Tabela 22 (acima), juntamente com os resultados do cálculo do valor da opção de espera para dois casos alternativos.

No caso alternativo um (ver tabela acima), foi calculado o valor da opção de espera considerando apenas a volatilidade resultante do crescimento da demanda interna. O valor da opção de espera nesse caso é de aproximadamente US\$ 93 milhões (obtido pela EDP de Black-Scholes). Nota-se que o valor da opção de espera no caso base e no caso alternativo um ficaram próximos, mesmo que o valor da volatilidade agregada do caso alternativo seja bem menor que a volatilidade agregada do caso base. Finalmente foi calculado o valor da opção de espera considerando a volatilidade agregada do projeto no caso em que os preços seguem MRMs e o crescimento do PIB é constante (ver tabela 22, caso alternativo dois). Nesse caso o valor da opção de espera ficou em torno de US\$ 95 milhões (obtido pela EDP de Black-Scholes).

5.6 LIMITAÇÕES

A primeira limitação está na escolha correta dos processos estocásticos para os preços. Diferentes processos estocásticos são possíveis de serem utilizados na modelagem dos preços, porém com resultados totalmente diversos. Não foi rejeitada a hipótese de passeio aleatório para os preços. Logo, uma primeira possibilidade de processo para os preços foi o MGB. Por outro lado, não se espera que os preços de commodities subam ao longo do tempo e processos de reversão à média fazem mais sentido para *commodities* em geral (Geman, 2005).

Outra limitação deste trabalho está na modelagem do crescimento da demanda. Assumiu-se que os preços não afetam o crescimento da demanda no Brasil e que este depende apenas do

crescimento do PIB. Ao mesmo tempo, esta modelagem não tem grande efeito no cálculo da volatilidade do projeto, ou em outras palavras, o efeito desta variável não é aditivo no cálculo da volatilidade do projeto, o que pode ser visto comparando-se as simulações 7 e 8.

Assumiu-se que o valor do projeto segue um MGB e a volatilidade agregada do valor do projeto tem uma distribuição log-normal. Porém essa hipótese não foi testada. Se esta hipótese não for verdadeira, nenhum dos modelos de avaliação da opção de espera deste trabalho poderiam ter sido utilizados, pois todos assumem estas mesmas premissas. Não seria possível usar a EDP de Black-Scholes, nem a fórmula de binomial, pois nesses dois casos também se assume que o valor do projeto segue um MGB.

Os modelos de avaliação da opção de espera também assumem como hipótese a exclusividade no exercício da opção. Porém, se houver outros investimentos, isto é, se não houver exclusividade no investimento, o valor da opção de espera é anulado.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Novas unidades de polipropileno estão sendo cogitadas no Brasil e na América do Sul para os próximos anos. Porém, se todas estas unidades iniciarem sua produção ao mesmo tempo, é possível que haja um excesso de oferta no mercado, levado a uma fase de baixa nos preços e na rentabilidade da indústria. Faltam ferramentas que apontem o valor da opção de espera de um novo projeto. O presente estudo buscou avaliar o valor da opção de espera para um projeto de investimento de uma nova unidade de polipropileno no Brasil.

A indústria petroquímica apresenta comportamento cíclico em seus preços e em sua rentabilidade. Este comportamento cíclico é em grande parte causado pela falta de coordenação de novos investimentos. Muitas vezes os produtores decidem investir ao mesmo tempo durante uma fase de alta de preços. Mas o início da operação destes projetos em momentos próximos no futuro leva ao excesso de oferta do produto e à baixa dos preços (fase de baixa do ciclo). O comportamento cíclico dos preços possibilita a modelagem dos preços por diferentes processos estocásticos.

A escolha do processo estocástico mais apropriado para a modelagem dos preços não é simples. Não foi possível rejeitar a hipótese de raiz unitária para as séries de preços disponíveis e, portanto, não se descartou o uso de movimento geométrico Browniano (MGB) para os preços do propeno e do polipropileno. Ao mesmo tempo, não rejeitar uma hipótese

estatística não significa aceitá-la. Também há argumentos em favor de movimento de reversão à média (MRM) para o preço de *commodities*, uma vez que estas não deveriam exibir tendência, a não ser que possuam comportamento cíclico (Geman, 2005). Há processos mais realistas que combinam os dois efeitos, como o processo combinado de reversão à média com saltos (MRMS).

Foram calculadas volatilidades agregadas do valor do projeto considerando três processos estocásticos para os preços: MGB, MRM e MRMS. A maior volatilidade obtida foi para o caso de preços com MGB. A menor volatilidade foi obtida com preços seguindo movimentos de reversão a média (MRM). Para o caso do MRMS obteve-se uma volatilidade intermediária. Uma dessas três volatilidades foi escolhida como caso base para o cálculo da opção real de espera.

A volatilidade obtida com preços seguindo MGB não foi escolhida por dois motivos. Primeiramente, no cálculo dos parâmetros do MGB para os preços, obteve-se uma tendência maior para o preço da matéria-prima do que para a tendência obtida para o preço do produto. Como a partir do ano dois do projeto são utilizados valores esperados para os preços, ocorre que os preços da matéria-prima ultrapassam os preços dos produtos rapidamente nos primeiros anos da vida econômica do projeto, resultado em valores negativos para o valor presente do projeto (e resultando em VPLs ainda mais negativos). Essa é uma situação que não se sustenta no longo prazo. Esse desequilíbrio não se sustentaria por muito tempo, do contrário não haveria novos investimentos, nem a produção do produto. Com isso haveria uma queda na oferta do produto, o que no médio e longo prazo levaria a uma recuperação das margens, isso é, a uma recuperação do preço do polipropileno em relação ao preço do propeno. O MGB não consegue representar essa dinâmica, podendo levar a distorções, como foi o caso. Esse motivo por si só já seria suficiente para descartar esse resultado, apesar de não

haver nenhum problema do ponto de vista estatístico, uma vez que as séries de preços individuais não foram rejeitadas no teste da raiz unitária. O segundo motivo é que a média do valor do projeto torna-se negativa. Neste caso ocorre uma distorção no cálculo do valor da volatilidade do projeto segundo a hipótese de MGB, resultado numa volatilidade ainda maior. Um terceiro motivo ainda pode ser mencionado. O valor de V_0 para o projeto neste caso também é negativo. Isso impossibilita o cálculo do valor da opção real. Se o valor do projeto segue um MGB com distribuição log-normal, não pode haver valores negativos para o valor do projeto.

O MRMS seria a melhor escolha, devido ao grau de realismo deste processo estocástico, que considera uma reversão à média dos preços com a possibilidade de choques no balanço oferta-demanda. Porém optou-se por não utilizar este modelo por não haver segurança na estimação dos seus parâmetros. Os parâmetros foram escolhidos por analogia com os preços do petróleo, isto é, um choque a cada oito anos e o valor do salto igual ao dobro do preço no caso de choques para cima ou igual a metade do preço no caso de choque de preço para baixo. Esse resultado ficou apenas para efeito de comparação. Além disso, o valor da tendência do MGB, α , do valor do projeto ficou mais alto que a taxa de desconto ajustada ao risco do projeto, R . Dessa forma o valor da taxa de dividendos (ou *dividend yield*), δ , seria levemente negativo (da equação (56), $\delta = R - \alpha$).

Como caso base, escolheu-se a menor volatilidade agregada (considerando simulações para as três variáveis incertas do projeto) obtida para o cálculo da opção real (simulação 4), que foi obtida considerando MRM para os preços e MGB para o crescimento da demanda (MGB). Esse seria o caso mais conservador quando se procura representar todas as variáveis incertas por processos estocásticos. Foram calculados valores da opção de espera para dois casos

alternativos (ver tabela 22). O primeiro considera apenas o processo estocástico do crescimento da demanda. O segundo considera apenas processos estocásticos de MRM nos preços da matéria-prima e do produto.

Comparando-se a volatilidade do caso base com a volatilidade do caso alternativo dois (simulações 7 e 8, ou ver tabela 22), nota-se que os valores de σ ficaram próximos e portanto o efeito do crescimento da demanda, como modelado neste trabalho, não tem efeito aditivo sobre a volatilidade do projeto quando processos estocásticos para os preços já estão modelados. Porém, a simulação desta única variável isolada no fluxo de caixa (caso alternativo um ou simulação 1, ver tabela 22) resulta em uma volatilidade agregada de aproximadamente 8%.

O cálculo do valor da opção real de espera foi feito por dois diferentes modelos de avaliação: fórmula binomial e por aproximações numéricas da Equação Diferencial Parcial de Black – Scholes.

Nos três casos escolhidos, a análise de opção real de espera adiciona valor em relação ao VPL sem flexibilidade. Esse valor é da ordem de US\$ 101 milhões para o caso base, US\$ 93 milhões para o caso alternativo um, e US\$ 95 milhões para o caso alternativo dois (valores calculados pela EDP de Black-Scholes). Apesar destes três casos apresentarem volatilidades diferentes, os valores da opção real ficaram próximos. Como implicação gerencial destes resultados, deve-se esperar para investir. Só se deve investir se quando valor do projeto sem flexibilidade for maior que o valor de espera. Nesse caso o valor do projeto estaria “*deep-in-the-money*”.

A taxa de dividendos δ nestes três casos é pequena. Isso faz com que o exercício imediato não seja ótimo e o valor da opção americana e européia fiquem próximos. Para se analisar este efeito, foi calculado o valor da opção européia de compra pela fórmula binomial e pela fórmula de Black-Scholes-Merton. Comparando-se os valores da opção obtidos pela fórmula binomial para opção americana (conforme CA) e para opção européia e comparando-se o valor obtido pela EDP de Black-Scholes-Merton e pela fórmula de Black-Scholes-Merton, nota-se que os resultados são próximos, conforme esperado.

A implicação gerencial desse fato é que quando δ for pequeno, como no caso deste estudo, deve-se esperar o máximo para investir, isto é, não vale a pena exercer a opção antes da sua expiração, a não ser que haja ameaça de projetos concorrentes ou que o projeto se torne “*deep-in-the-money*” após a revelação de novas informações. Por exemplo, caso se consiga elaborar um fluxo de caixa sem flexibilidade que antevêja um ciclo de alta de preços no futuro e que o valor desse VPL seja maior que o valor de espera, deve-se investir imediatamente (mediante a revelação desta nova informação).

Se houvesse um número de passos na árvore binomial (onde é usada a fórmula binomial), os resultados obtidos por fórmula binomial para opção americana e européia (modelos em tempo discreto) ficariam mais próximos dos resultados obtidos pela EDP de Black-Scholes e pela fórmula de Black-Scholes-Merton respectivamente (modelos em tempo contínuo).

Como sugestão para futuros trabalhos, pode-se buscar testar se o valor do projeto segue um MGB. Também pode-se utilizar um modelo de avaliação da opção real que tenha como premissa que o valor do projeto segue um processo de reversão à média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-Harthy, Mansoor H. Stochastic Oil Price Models: Comparison and Impact. **The Engineering Economist**, Philadelphia. 52: p. 269-284, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. Disponível em: <http://www.abiquim.org.br/conteudo.asp?princ=ain&pag=conc> acessado em 23/02/2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. Anuário da Indústria Química Brasileira. São Paulo. 2006.

AUGAT, Thomas; BARTELS, Eric; BUDDE, Florian. Multiple Choice for Chemical Industry. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 3, p. 2-12, 2003. Disponível em: <http://www.mckinseyquarterly.com/article_page.aspx?ar=1322> Acessado em 13 dez. 2006, 17:00.

BARNETT JR, F. W. Taking the Mystery Out of Tomorrow's Prices. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 4, p. 99-107, Winter, 1993.

BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron. The pricing of options and corporate liabilities. **The Journal of Political Economy**. Chicago, v. 81, n.3, p. 637-654, May-June, 1973.

BORDEAUX-RÊGO, Ricardo; PAULO, Goret P.; SPRITZER, Ilda Maria P. A.; Zotes, Luis P. **Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

BRANDÃO, Luiz Eduardo. **Determinação da Volatilidade em Projetos de Opções Reais através de Simulação: uma Proposta Alternativa**. Working Paper, 2006.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. **Principles of Corporate Finance**. 8th Edition. New York: McGraw-Hill- Irwin, 2006.

BRITO, Paulo. **Análise e Viabilidade de Projetos de Investimento**. São Paulo: Atlas, 2003.

BUTLER, Paul; NINIOS, Panos; SABERT, Hendrik; MORECROFT, John. Working to Prevent Cyclicalities. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 1, p. 166-167, 1998.

COPELAND, Tom; ANTIKAROV, V. **Opções Reais – Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos**. Rio de Janeiro. Ed. Campus, 2002.

COPELAND, Tom; KEENAN, Philip T. How Much is Flexibility Worth. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 2, p. 129-141, 1998.

COPELAND, Tom; KEENAN, Philip T. Making Real Options Real. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 3, p. 38-49, 1998.

COPELAND, Tom; TUFANO, Peter. Gestão de opções reais no mundo real. **Harvard Business Review**, São Paulo, p. 84-93, março, 2004.

COURTNEY, Hugh. Games Managers Should Play. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 3, p. 91-96, 1997.

COURTNEY, Hugh. Making the Most of Uncertainty. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 4, p. 38-47, 2001.

DAMODARAN, Aswath. **Investment Valuation**. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

DE ZEN, Maria José C. M. **Avaliação e Gerenciamento de Investimentos na Indústria de Carnes: Uma Abordagem das Opções Reais na Consideração do Risco**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Contabilidade e Atuária da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

DIAS, Marco Antonio G. **Investimento sob Incertezas – Introdução à Teoria das Opções Reais - Notas de Aula**. Universidade Petrobras.–. Rio de Janeiro, 2006.

DIAS, Marco Antonio G. **Opções Reais Híbridas com Aplicação em Petróleo**. Tese (Doutorado) – PUC, Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, 2005.

DIAS, Marco Antonio G. Monte Carlo Simulation of Mean Reversion. 2004. Disponível em http://www.puc-rio.br/marco.ind/sim_stoc_proc.html acessado em 19/10/2007 às 12h.

DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. **Investment Under Uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

ELTON, Edwin J.; GRUBER, Martin J.; BROWN, Stephen J.; GOETZMANN, William N. **Moderna Teoria de Carteiras e Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2004.

GEMAN, Hélyette. **Commodities and Commodity Derivatives**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

GODINHO, Pedro. Monte Carlo Estimation of Project Volatility for Real Option Analysis. **Journal of Applied Finance**. Philadelphia, Spring/ Summer, p. 15-30, 2006.

HEER, Marco; KOLLER, Timothy M. Valuing cyclical companies. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 2, p. 62-69, 2000.

HULL, John C. **Options, Futures and Other Derivatives**. 6th Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2006.

LESLIE, Keith J.; MICHAELS, Max P. The Real Power of Real Options. **The McKinsey Quarterly**, New York, Number 3, p.87-108, 1997.

MAGALHÃES JUNIOR, Frederico. “**Avaliação de Campo de Petróleo Maduro por Opções Reais**”. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração das Faculdades Ibmecc. Rio de Janeiro, 2006.

MCDONALD, Robert L. **Derivatives Markets**. Boston: Pearson Education, Inc, 2003.

MINARDI, Andréa Maria A. F. **Teoria de Opções Aplicada a Projetos de Investimento**. São Paulo: Atlas, 2004.

MICALIZZI, Alberto; TRIGEORGIS, Lenos. Project Evaluation Strategy and Real Options. In: TRIGEORGIS, Lenos. **Real Options and Business Strategy**. London: Risk Books, 1999. p. 1-19.

MONTENEGRO, Ricardo S. P.; ZAPORSKI, Janusz; RIBEIRO, Márcia Cristiane M.; MELO, Kelly Cristina A. A Situação Atual e Futura da Indústria de Polipropileno. **BNDES Setorial**. Rio de Janeiro, setembro, 1996.

PINTO, Carlos L. B. **Avaliação por opções reais de empresa de sistema de informação geográfica**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Administração das Faculdades Ibmecc. Rio de Janeiro, 2004.

ROCHA, André B. S. **Avaliação de Linha Aérea Como Uma Opção Real: Prosseguir, Expandir, Contrair, ou Abandonar?** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Administração da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

ROCHA, Maria M. **Integração Vertical e Incerteza**. Tese (Doutorado) – Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SMIT, Han T. J.; TRIGEORGIS, Lenos. **Strategic Investment, Real Options and Games**. New Jersey: Princeton University Press, 2004.

SMIT, Han T. J.; TRIGEORGIS, Lenos. Growth options, competition and strategy: an answer to the market valuation puzzle? In: TRIGEORGIS, Lenos. **Real Options and Business Strategy**. London: Risk Books, 1999. p. 21-37.

TRIANANTIS, Alexander. Creating and managing shareholder value: a view through a real option lens. In: TRIGEORGIS, Lenos. **Real Options and Business Strategy**. London: Risk Books, 1999. p. 39-58.

WEEDS, Helen. Real Options and Game Theory: When Should Real Options Valuation Be Applied? In: **6th Annual Real Options Conference**. Paphos, July 4-6, 2004. Disponível em: <<http://www.realoptions.org/abstracts/abstracts02.html>> Acessado em 12 dez. 2006.

WILMOT, Paul. **Frequently Asked Questions in Quantitative Finance**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2007.

WONGTSCHOWSKI, Pedro. **Indústria Química: Riscos e Oportunidades**. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 1999.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à Econometria: Uma Abordagem Moderna**. São Paulo. Editora Pioneira Thomsom Learning, 2006

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)