

TT65

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE EMPREENDIMENTOS EM CENÁRIO DE ALTA
INCERTEZA: UMA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE E&P DE PETRÓLEO**

EDUARDO KOITI YOSHIMURA

MESTRANDO EM ENGENHARIA CIVIL, CREA 060088910-7 FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, CAMPINAS/SP, BRASIL,
EDUARDOKY@UOL.COM.BR ENGENHEIRO CIVIL, ANALISTA DE ENGENHARIA A, CLS SÃO PAULO
(SP)/AVALIAÇÕES BANCO DO BRASIL S.A

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE EMPREENDIMENTOS EM CENÁRIO DE ALTA INCERTEZA: UMA AVALIAÇÃO DE PROJETO DE E&P DE PETRÓLEO

EDUARDO KOITI YOSHIMURA

XIV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, IBAPE/BA

NATUREZA DO TRABALHO: ACADÊMICO

RESUMO

Grande parte das empresas utiliza o modelo econômico tradicional, como Fluxo de Caixa Descontado através do Valor Presente Líquido, que é um modelo determinístico cujo processo decisório não considera os ambientes de incertezas. Essas incertezas estão relacionadas ao risco do valor do ativo e seu retorno financeiro. E nesse mercado, essa variabilidade é quantificada pelo desvio padrão, chamado de “volatilidade”. Há uma grande dificuldade de se estimar essa incerteza, cuja volatilidade nas avaliações econômicas de projetos de E&P de petróleo, em razão dos riscos, proporciona, em seus preços, elevadas flutuações. Neste trabalho, a estimativa da avaliação e volatilidade do projeto de E&P de petróleo será através de uma sistemática numérica, com base em simulações, da evolução de preços de petróleo pelo método de Monte Carlo, considerando que ela seja uma variável incerta e se comporte, ao longo do tempo, utilizando dois processos estocásticos para representar a dinâmica de preços: Movimento Browniano Geométrico e Movimento de Reversão à Média. Como os preços são aleatórios, o VPL será uma variável incerta, então seu desvio padrão pode ser utilizado como uma estimativa da volatilidade de projeto.

Palavras chaves: Valor Presente Líquido, Petróleo, Volatilidade, Incerteza.

1. INTRODUÇÃO

Os empreendimentos na exploração e produção de petróleo (E&P) têm alcançado investimentos com valores elevados, não raro têm alcançado a cifra de bilhões de dólares, nos quais apresentam grandes potenciais de perdas ou ganhos. Essa magnitude de recursos financeiros leva os investidores a um tratamento cuidadoso na valorização e tomada de decisão, pois são criadas expectativas não só na maximização do retorno, mas também na diminuição dos riscos decorrentes das incertezas existentes na dinâmica dos preços das *commodities*¹ (petróleo). Eles, portanto, têm procurado um aprimoramento constante de técnicas de análise, métodos e processos que levem a decisões com qualidade superior.

De acordo com Gentry e O'neil (1984), Stermole (1993) e Ross, Westerfield e Jaffe (1999), o modelo padrão, tanto para valoração, como para tomada de decisões, é baseado nos indicadores do Fluxo de Caixa Descontado (FCD)² do projeto, como o método do Valor Presente Líquido (VPL). Esses modelos denominados de tradicionais são aqueles que na sua concepção não levam em conta o fator incerteza. Valem-se de modelos determinísticos como instrumentos auxiliares ao processo decisório, não têm condições de avaliar as probabilidades inerentes aos cenários econômicos baseando-se na experiência adquirida e no bom senso, portanto em probabilidades subjetivas.

A formação dos fluxos de caixa previstos numa análise inicial irá provavelmente diferir do que a administração esperava, pois novas informações surgem a cada instante, resultando gradativamente em dúvidas sobre as condições de mercado e fluxos financeiros previamente estipulados para análise de empreendimentos. Torna-se relevante que os administradores revejam suas posições estratégicas e alterem seus planos de investimento conforme a informação se torna possível. Portanto, é fundamental que as companhias reconsiderem critérios de transformações fundamentais nos orçamentos de capitais para agregar valor em suas operações, capitalizar oportunidades futuras favoráveis ou diminuir perdas.

Apesar do amplo uso de técnicas de auxílio à tomada de decisão, como o Fluxo de Caixa Descontado, surgem críticas sobre a utilização dessas técnicas tradicionais de orçamento de capital em relação ao seu uso estático. Este caráter estático se deve à incapacidade de captar o valor da flexibilidade gerencial e se preocupar somente com o retorno financeiro e econômico com base em fatores tangíveis, sem considerarem aspectos intangíveis relacionados, como vantagem competitiva, colocação no mercado e futuras oportunidades.

De acordo com Bordieri (2004) a incerteza do valor do projeto, chamada de volatilidade (ou variância) do projeto está associada às expectativas que existem no momento atual sobre as incertezas dos futuros resultados de investimentos, caso haja implementação deste projeto.

¹ Por ser de uso corrente na literatura a designação *commodity* para os ativos negociados nas bolsas de mercadorias, utilizamos esta terminologia neste trabalho na falta de adequada tradução para o Português.

² Os métodos tradicionais de análise de investimento são baseados no conceito do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), tendo como indicadores o Valor Presente Líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) entre outros.

A valorização de um projeto é bem diversa de um empreendimento. Os projetos são replicáveis e tem vida finita, já o empreendimento é uma seqüência interminável de projetos.

Existem mercados de *commodity*, com variâncias mensuráveis de preços. É possível, assim, estimar-se indiretamente a volatilidade de projetos mediante correlação, portanto, é importante avaliar-se o comportamento da variância de valores de projetos em relação às oscilações de preços do produto (por exemplo, a volatilidade anual histórica do preço do petróleo é em torno de 20%). Mas, conforme Lima e Suslick (2006), para projetos esse método não pode ser empregado, porque não há séries históricas do seu fluxo de caixa dos projetos, uma vez que diferentes projetos de um mesmo bem mineral possuem características distintas.

Como solução alternativa, Dixit e Pindyck(1994) assumem que a volatilidade do preço da *commodity* é igual à volatilidade do valor do projeto (por exemplo, se assume que a volatilidade de um projeto de petróleo seja também de 20%).

Esse trabalho analisa as relações entre a volatilidade do preço e de projeto de E&P do petróleo e o VPL, considerando-se que o preço da commodity é descrito por dois processos estocásticos distintos: movimento geométrico Browniano (MGB) e movimento de reversão à média (MRM). Verifica-se, também, a validade da hipótese usual de assumir que a volatilidade de projetos seja igual à volatilidade de preços.

2. MÉTODO TRADICIONAL DE AVALIAÇÃO DE PROJETOS - VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

2.1 Definições

O VPL pode ser entendido como a diferença entre o valor presente dos custos e o valor presente dos benefícios, que foram estimados no fluxo financeiro para o projeto. Para a determinação do valor presente, utiliza-se uma taxa de desconto conhecida ou especificada pelo tomador de decisão. De acordo com a teoria do VPL, o projeto deve ser aceito quando seu valor é positivo.

O VPL trata apenas de fluxos de caixa previstos, descontados a uma taxa constante, considerando que o risco continuará constante ao longo da vida do projeto (Copeland e Antikarov, 2001). Para determinação e análise do valor presente usa-se o valor presente de recebimentos e desembolsos de quantias futuras.

Segundo Newman e Lavelle (2000) pode-se aplicar o VPL para determinar o valor presente de uma propriedade rentável, como um poço de petróleo ou um edifício de apartamentos. Conhecendo os custos e receitas futuros com uma taxa de juro adequada, pode-se calcular o valor presente de uma propriedade, dando, por conseguinte, uma boa estimativa do preço de compra ou de venda da mesma. Outra aplicação seria a determinação do valor de ações ou títulos com base na antecipação de benefícios futuros deles decorrentes.

Para Minardi (2004) há duas suposições básicas quando se aplica o método do VPL em projetos ou ativos com risco:

a. Os fluxos de caixa incertos podem ser substituídos por seu valor esperado, estimado no início da vida útil do projeto. Considera que a empresa terá uma gerência passiva que não irá rever suas decisões estratégicas durante a vida do projeto. Suas decisões são estáticas, isto é, seguirão essas estratégias previamente estabelecidas;

b. A taxa de desconto está vinculada ao risco do projeto. A metodologia mais utilizada é a do Custo Médio Ponderado de Capital (*WACC*)³, onde é estimada a estrutura do capital, isto é, o custo de capital de terceiros e o custo de capital próprio. O custo de capital próprio geralmente é estimado através do Modelo de Precificação de Ativos (*CAPM*)⁴, e é necessário estimar os parâmetros desse modelo.

Essas estimativas de custos apresentam várias discussões, mas a premissa (a) acima é o principal modelo de críticas. O cenário empresarial atual é caracterizado por mudanças rápidas, incertezas e competição intensa. À medida que o tempo passa, chegam novas informações que resolvem gradativamente algumas incertezas sobre as condições de mercado e o fluxo de caixa. As empresas revêm suas posições estratégicas e alteram os planos de investimento de acordo com as novas condições do ambiente econômico, e dificilmente irão ter a gestão passiva assumida na projeção de fluxo de caixa.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^N \frac{E(FCD)^t}{(1 + WACC)^t} \quad [\text{Eq. 01}]$$

2.2 Limitações

A abordagem do VPL não modela explicitamente as incertezas no fluxo de caixa esperado do empreendimento. Na verdade, há inúmeras trajetórias para a realização dos fluxos de caixa, do início do projeto até a sua conclusão. Nenhuma delas é considerada quando utilizamos o VPL, ela está restrita a um compromisso antecipado, aceito hoje, de ir em frente ou não e utilizamos apenas as informações disponíveis hoje (Copeland e Antikarov, 2001).

Segundo Minardi (2004) o VPL não deve ser considerado totalmente obsoleto e inútil. Ele pode ser empregado em projetos quando a incerteza é pequena e existe pouca flexibilidade gerencial, como exemplo, temos projetos de redução de custos nas empresas.

3. INVESTIMENTOS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZAS – VOLATILIDADE

3.1 Conceitos Básicos

A volatilidade, representada pelo símbolo “sigma”, indica a movimentação dos preços do ativo subjacente, ou da “incerteza” quanto aos retornos proporcionados por este ativo (HULL, 1995). De fato, quanto maior a movimentação ou a “velocidade” do mercado e dos ativos que o compõem, maior será o valor da opção sobre estes ativos.

Para quantificar essa variabilidade, a medida mais comumente utilizada é o desvio-padrão. O desvio-padrão, numa linguagem simplificada, mede o quanto os vários pontos da série de dados desvia-se de sua média. A expressão que define o desvio-padrão é:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}} \quad [\text{Equação 02}]$$

³ *Weighted Average Cost of Capital*

⁴ *Capital Asset Pricing Model*

Onde, σ = desvio-padrão, x = média, x_j = números da série e N = total de elementos.

O método mais comum para a obtenção da volatilidade histórica é o cálculo da variação do logaritmo neperiano da série de preços. A volatilidade nada mais é do que o desvio padrão desta série:

$$\text{Volatilidade estimada} = \sigma_p = \text{Desvio padrão} \left\{ \left[\ln \left(\frac{S_i}{S_{i-1}} \right) \right]_{i=1}^N \right\} \text{ [Equação 03]}$$

As variáveis econômicas e financeiras (preços, taxas de juros e câmbio) apresentam uma dinâmica de comportamento incerta. Elas são variáveis aleatórias governadas por fenômenos probabilísticos de mercado que não podem ser determinados por cálculos matemáticos tradicionais, conhecidos como modelos determinísticos, que são normalmente utilizados para equacionar processos sem elementos aleatórios.

Conforme Bordieri (2004), a ROA utiliza o cálculo estocástico para elaboração de modelos de previsão de comportamento de variáveis econômicas, chamados de *modelos de volatilidade ou modelos estocásticos*, o que também representa uma grande evolução em relação à metodologia tradicional do FCD. Um processo estocástico é a expressão da evolução no tempo de uma variável incerta. Não é possível, a priori, conhecer seu valor e este pode ser diferente em idênticas condições.

Para Dixit e Pindyck (1994), nos processos estocásticos uma variável desenvolve-se no tempo de um modo que é pelo menos em parte aleatório. Para Hull (2000) qualquer variável cujo valor mude ao longo do tempo de maneira incerta segue um processo estocástico.

Sob incerteza, uma variável futura não pode ser determinada por um único valor, mas por uma distribuição de probabilidade de seus possíveis valores. A volatilidade expressa a medida desta dispersão. Especificamente em aplicações econômicas, a volatilidade σ de um ativo é uma avaliação da incerteza sobre o retorno financeiro proporcionado por esse ativo.

Nas aplicações da ROA, a dependência do valor da opção em relação à volatilidade do valor do projeto σ_v é grande, conforme observam Dixit e Pindyck (1994) ao analisar o valor de uma opção de diferimento mediante o modelo básico desenvolvido por McDonald e Siegel (1986), “O investimento é altamente sensível à volatilidade do valor do projeto, independentemente das preferências do investidor ou gerentes em relação ao risco, e independentemente de como o perfil de risco de V (valor de um projeto ou de um fluxo de caixa) está correlacionado ao mercado”.

Um processo estocástico pode ser considerado como estacionário se, à medida que se desenvolver ao longo do tempo ou do espaço, mantiver suas características independente de seu estado inicial e do intervalo de tempo analisado. Como exemplo de um processo aleatório estacionário, pode-se pensar na cota de altura da superfície de alto mar, em condições de ondas. Os processos não-estacionários são o oposto. A profundidade da plataforma continental à medida que se afasta da costa, ou o preço das ações da Petrobrás, são exemplos. Como os processos não-estacionários apresentam sempre uma tendência de evolução ao longo do tempo ou espaço, suas características dependem das coordenadas de origem ou estado inicial. A altura de superfície do mar e o preço da ação da Petrobrás são processos estocásticos contínuos no tempo, também conhecidos

como modelos de difusão, no sentido que o índice de tempo t é uma variável contínua. Um processo discreto no tempo é aquele no qual a variável pode mudar somente em pontos particulares do tempo.

Segundo Merton (1990), um processo de Markov assume que toda a informação relevante do passado já está considerada no valor corrente da variável, assim as informações do passado são redundantes.

Tipos de Volatilidade

Natenberg (1994) descreve os seguintes tipos de volatilidade:

- Volatilidade Futura: é a volatilidade que todo operador de mercado gostaria de conhecer, ou seja, a volatilidade que melhor descreve a distribuição futura dos preços de um determinado ativo subjacente, e que teoricamente produziria o preço mais preciso para uma opção quando utilizado num modelo de avaliação de opções. Obviamente, esta volatilidade praticamente não é comentada, devido à impossibilidade de se prever o futuro.

- Volatilidade Histórica: mesmo não sendo possível prever o futuro, para a utilização de um modelo de avaliação do preço de opções, é necessário fazer estimativas sobre a volatilidade futura. Uma maneira de se fazer isso é através da utilização de dados históricos.

Há várias formas de se calcular a volatilidade histórica, mas a maioria dos métodos depende da escolha de dois parâmetros: o período histórico sobre o qual a volatilidade será estimada e o intervalo de tempo entre as mudanças sucessivas de preço. Períodos históricos mais longos tendem a aumentar a média da volatilidade, enquanto um período mais curto pode revelar extremos desnecessários na volatilidade.

- Volatilidade Implícita: ao contrário da volatilidade futura e histórica, que está diretamente associada a um ativo subjacente, a volatilidade implícita é associada ao preço da opção, ou seja, iguala o valor teórico de uma opção com o preço de mercado da mesma, obtendo desta forma o parâmetro da volatilidade. A volatilidade implícita é conhecida como a previsão de volatilidade de mercado, pois considera as expectativas que o mercado possui sobre a volatilidade futura, incorporando as informações do passado.

- Volatilidade Sazonal: esta volatilidade está diretamente associada ao movimento de algumas *commodities*, ou ativos agropecuários, no mercado (milho, soja, trigo, café, etc.), que apresentem volatilidade mais sensível às variações climáticas ao longo do ano. Assim, a volatilidade de alguns ativos aumenta ou diminui em função de secas, chuvas, ou pela simples chegada de uma nova estação do ano.

Admitiremos a clássica distinção entre risco e incerteza. Risco refere-se a uma situação na qual os possíveis resultados da decisão não são únicos, isto é, não existe um único conjunto de resultados, mas diversos conjuntos dos mesmos, porém, as dimensões e probabilidades desses conjuntos são conhecidas antecipadamente. Incerteza refere-se a situação em que os possíveis resultados futuros também não são únicos, porém suas dimensões e/ou probabilidades não podem ser especificados objetivamente por antecipação. O termo probabilidade neste contexto significa a possibilidade de que um particular resultado aconteça.

Na realidade, as avaliações de negócios podem ser feitas como projetos de investimentos e, portanto, um investimento de risco. Normalmente, para o público em geral, a palavra “risco” está associado a perdas quando se trata de finanças. Isto

é parcialmente correto, pois ignora a possibilidade de ganho acima do esperado que normalmente acompanha a possibilidade de perda.

Conforme Blararu e Teles (2003) uma definição mais abrangente seria que risco está associado à incerteza. Mais precisamente, incerteza em relação ao valor de determinado ativo, retorno ou fluxo de caixa futuro.

Consideramos cinco alternativas para estimativa de volatilidade: (1) Análise de dados históricos; (2) Estimativas gerenciais; (3) Correlação ao ativo básico; (4) Métodos analíticos e (5) Simulação por método de Monte Carlo. Adotaremos este o primeiro e último em nosso trabalho.

3.2 Simulação por método de Monte Carlo

O método de simulação de Monte Carlo é um famoso método de simulação que tem por base a geração de números aleatórios de acordo com parâmetros definidos para as variáveis que compõem o modelo a ser utilizado.

A palavra simulação refere-se a qualquer método analítico cuja intenção é imitar algum sistema real, especialmente quando outras análises são matematicamente complexas. Num contexto mais moderno, em que as simulações são auxiliadas pela informática.

Por “modelo” entende-se a representação de um sistema. Normalmente buscam-se formas de miniaturizar a realidade para poder estudá-la.

O nome “Monte Carlo” tem sua origem no famoso cassino de Mônaco, fundado em 1862, e da analogia dos cassinos com os mercados financeiros. É uma analogia com os jogos de azar, como a roleta por exemplo, que é um simples gerador de números aleatórios.

Conforme Jorion (1998), “o método de Monte Carlo aproxima o comportamento dos preços de ativos financeiros, através de simulações de computador, que geram trajetórias aleatórias”.

O conceito básico do método de Monte Carlo é a simulação por repetidas vezes (digamos 100.000), de um processo estocástico para uma variável financeira simulando a maior parte das situações/resultados possíveis.

Basicamente, o modelo tem como entradas, variáveis que respeitam certo padrão de distribuição. A partir disso, são gerados números aleatórios para cada uma das variáveis, seguidos dos diversos parâmetros de distribuição. A cada iteração o resultado é armazenado. Ao final de todas as iterações, a seqüência de resultados gerados é transformada em uma distribuição e seus parâmetros, como média e desvio-padrão, por exemplo, podem ser calculados.

De acordo com Copeland e Antikarov (2002), a volatilidade do valor de um projeto pode ser estimada, por extensão do Teorema de Samuelson⁵, como o desvio padrão da taxa de retorno proporcionada pelo fluxo de caixa em dois momentos consecutivos:

$$\sigma_v = \sqrt{\text{Var} \left[\ln \left(\frac{VPL_1}{VPL_0} \right) \right]} \quad \text{[Equação 04]}$$

Onde VPL é o fluxo de caixa líquido no tempo 0 e 1.

O Teorema de Samuelson prova que a taxa de retorno de qualquer ativo seguirá um caminho aleatório, independentemente do padrão do fluxo de caixa esperado, desde que o investidor tenha informação completa sobre o fluxo de caixa.

⁵ Primeiro economista laureado com o prêmio Nobel, em 1965.

Assim, toda informação sobre o fluxo de caixa futuro já está considerada no valor atual do ativo, de forma que se todas as expectativas forem confirmadas, a remuneração do investidor será exatamente a taxa de retorno esperada. Portanto, qualquer variação no retorno esperado, provocada por eventos aleatórios que alterem o fluxo de caixa esperado, representa a incerteza do valor do ativo, que é sua volatilidade. Na obra de Copeland e Antikarov (2002) apresentam-se as provas do Teorema de Samuelson, exemplos numéricos e evidências quantitativas. Bordieri (2004) e Lima e Suslick (2006), estimaram a volatilidade de projetos de E&P de petróleo a partir de dados do mundo real. Os autores concluem considerando que o teorema de Samuelson é uma hipótese suficientemente válida para ser utilizada para avaliação da volatilidade de sigma v e apresentam aplicações da abordagem de Monte Carlo às estimativas de desvio padrão de taxas de retorno de projetos.

Constatou-se no item anterior que os métodos tradicionais de avaliação de investimentos incorporam perspectivas estáticas de projetos e alternativas. Porém, a flexibilidade estratégica para gestão da incerteza tem sido reconhecida como um elemento importante para agregar valor em diversos negócios.

Na realidade, a avaliação de negócios pode ser conduzida como projetos de investimentos e, portanto, um investimento de risco. Normalmente, a palavra “risco” está associada a perdas quando se trata de finanças, isto é parcialmente correto, pois ignora a possibilidade de ganho acima do esperado, que normalmente acompanha a possibilidade de perda.

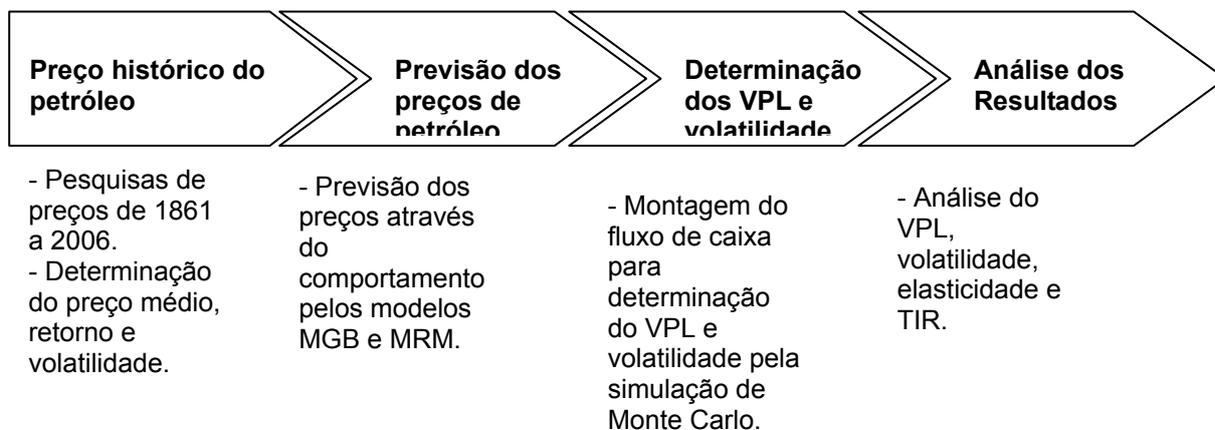
Conforme Blararu e Teles (2003) uma definição mais abrangente colocaria que risco está associado a incerteza. Mais precisamente, incerteza em relação ao valor de determinado ativo, retorno ou fluxo de caixa futuro.

Num jargão mais popular no mercado financeiro, o desvio padrão é também chamado de “volatilidade”.

Conforme Lima e Suslick (2006), as variáveis financeiras (taxa de câmbio, títulos governamentais, etc.) ou *commodities* (petróleo, ouro, cobre, etc.), geralmente, possuem séries históricas longas que possibilitam estimar a volatilidade futura por meio da volatilidade histórica do ativo, definida pela equação 4.

4. METODOLOGIA ADOTADA

Seguiu-se, neste trabalho, o seguinte fluxograma de trabalho:



4.1 Preços - Séries históricas

As variáveis financeiras (taxa de câmbio, títulos governamentais, etc.) ou *commodities*, que são transacionadas em bolsas mercantis (petróleo, ouro, cobre, etc.) geralmente, possuem séries históricas.

Será abordada a análise de preços do petróleo e sua volatilidade futura por meio da volatilidade histórica do ativo cujos dados estão disponíveis no *BP Statistical Review Full Report Workbook 2007* da *British Petroleum* no site www.bp.com. Os dados anuais de preços extraídos desse documento se encontram no anexo 1 – Tabela 1 e anexo 2 – Tabela 2.

Muitas séries temporais econômicas não possuem uma média constante e a maioria exibe fases de tranquilidade seguidas de períodos de alta volatilidade (Enders, 1995). Esse comportamento é bem nítido no gráfico abaixo, Figura 1, confeccionados com base no conjunto de dados da Tabela 1, anexo 1.

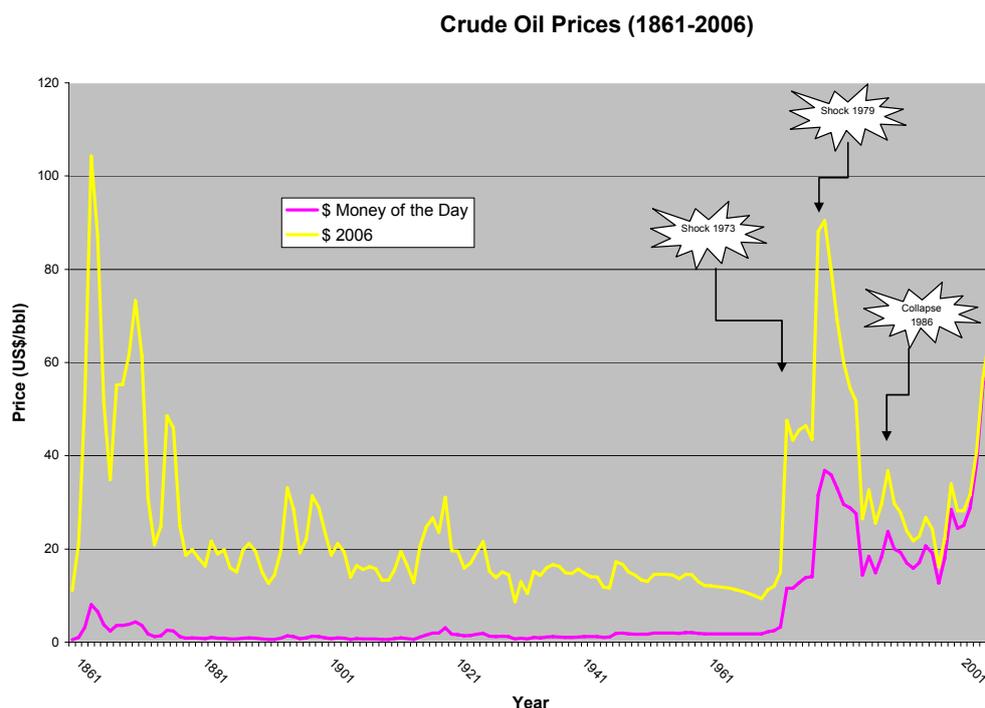


Figura 1: Comportamento dos preços com base anual. Elaboração própria.

A volatilidade histórica baseia-se na análise de séries temporais passadas a fim de conduzir a aproximação satisfatória para o comportamento futuro. Essa análise não é feita diretamente sobre os preços dos ativos, mas principalmente sobre a taxa de retorno, a qual é calculada pelo logaritmo neperiano da divisão do preço atual de um ativo pelo seu preço no período anterior, conforme coluna IV da tabela 2 no anexo 2.

Consiste, então, no cálculo da taxa de retorno e no cálculo do desvio padrão com base em todo o intervalo de dados, ou seja, considerando o período entre 1861-2006. Esse valor não é muito preciso, uma vez que engloba períodos históricos extremamente conturbados no que se refere ao preço do óleo, causando uma possível superestimação do valor da volatilidade (27,14%).

O gráfico da Figura 2 ilustra o comportamento do retorno anual do ativo. Estão indicados os anos correspondentes aos principais eventos de variação nos preços: os choques de 73 e 79 e o antichoque de 1986, todos correspondendo a fatos históricos.

Annual Return (ui) of Crude oil

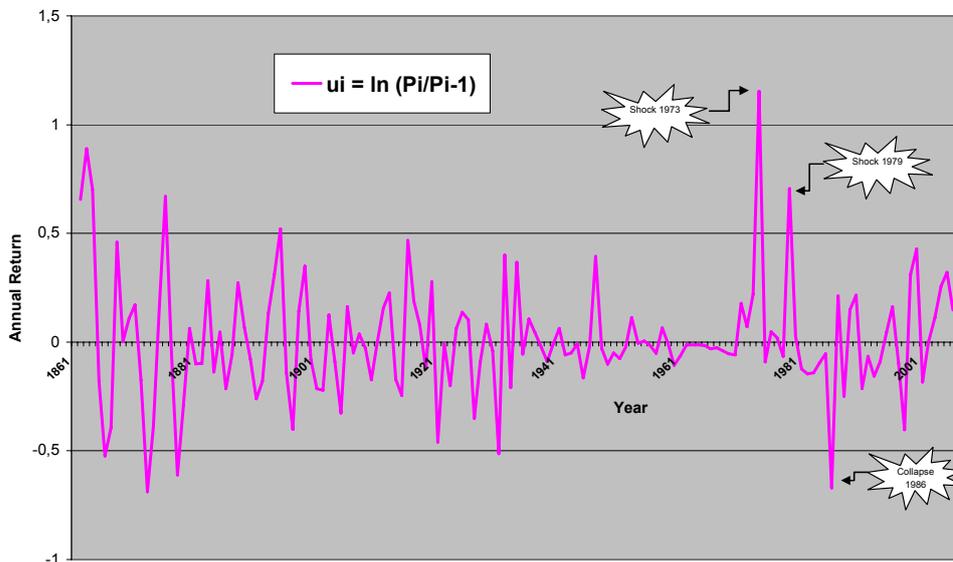


Figura 2: Evolução da Taxa de Retorno para o ativo Óleo cru. Elaboração própria. Segundo Silva Neto e Tagliavini (1994), no que se refere à precificação de ativos, há dois importantes postulados:

- As variações medidas em unidades monetárias são distribuídas log normalmente;
- As variações percentuais no preço de uma mercadoria, equivalentes a taxa de retorno, são distribuídas normalmente.

No conjunto de dados utilizados observa-se essa tendência de distribuição de probabilidade, a qual é ilustrada na figura 3.

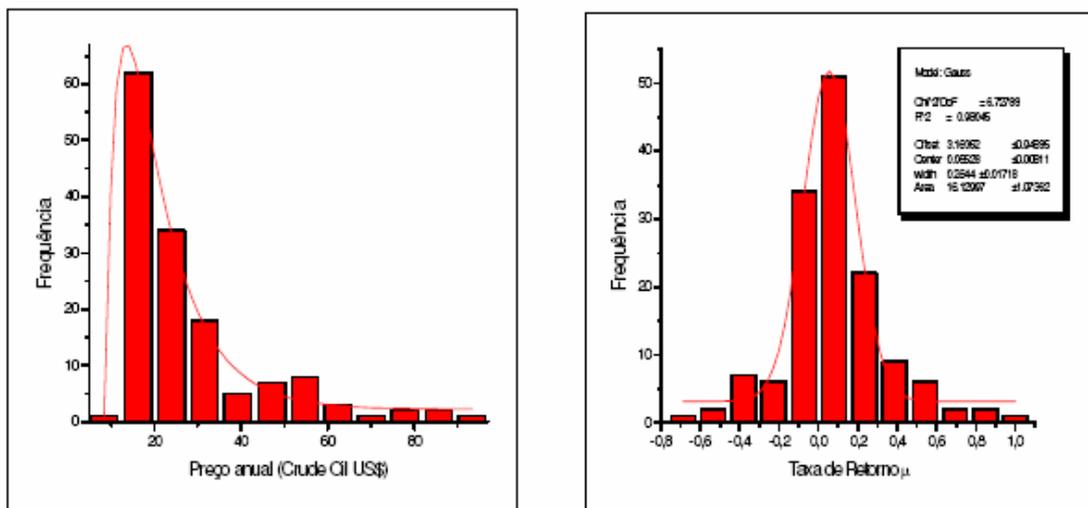


Figura 3: Histograma para a distribuição de preços de petróleo e da taxa de retorno ao longo do tempo.

Uma ferramenta utilizada para descrever resultados prováveis de eventos aleatórios é a curva de distribuição normal. Elas são simétricas e correspondem a

resultados de mais infinito a menos infinito, ou seja, permite a existência de preços negativos. Além disso, a curva indica que as chances de os preços subirem ou caírem são as mesmas, o que não é bem realista. A experiência apresenta sempre alta relativa ao longo do tempo. A fim de corrigir tais questões, utilizam-se as distribuições lognormais.

4.2 Preços - Previsão

Utiliza-se o cálculo estocástico para elaboração de modelos de previsão de comportamento de variáveis econômicas, chamados de *modelos de volatilidade* ou *modelos estocásticos*, o que também representa uma grande evolução em relação à metodologia tradicional de FCD. Um processo estocástico é a expressão da evolução no tempo de uma variável incerta. Não é possível, a priori, conhecer seu valor e este pode ser diferente em idênticas condições. De uma maneira mais formal, um processo estocástico é definido por uma lei de probabilidade para a evolução de uma variável x durante um tempo t .

Um processo estocástico pode ser considerado como *estacionário* se, à medida que se desenvolver ao longo do tempo ou do espaço tiver suas características independentes de seu estado inicial e do intervalo de tempo analisado. Como exemplo de um processo aleatório estacionário, pode-se pensar na cota de altura da superfície de alto mar, em condições de ondas. Os processos *não-estacionários* são o oposto. A profundidade da plataforma continental à medida que se afasta da costa ou o preço das ações da Petrobrás, são exemplos. Como os processos não-estacionários apresentam sempre uma tendência de evolução ao longo do tempo ou espaço, suas características dependem das coordenadas de origem ou estado inicial. A altura de superfície do mar e o preço da ação da Petrobrás são processos estocásticos contínuos no tempo, também conhecidos como modelos de difusão, no sentido que o índice de tempo t é uma variável contínua. Um processo discreto no tempo é aquele no qual a variável pode mudar somente em pontos particulares do tempo.

Segundo Merton (1990) um *processo de Markov* assume que toda a informação relevante do passado já está considerada no valor corrente da variável, assim as informações do passado são redundantes.

Simulações de Monte Carlo foram desenvolvidas em planilhas eletrônicas comuns, como a *Microsoft Excel*, com o auxílio de ferramentas mais poderosas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, como é o caso do software *Crystal Ball 7.2*, desenvolvido pela empresa americana *Decisioneering Inc.*

5. INVESTIMENTOS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZAS – MONTAGEM DOS MODELOS - PREÇOS

Para estimar o comportamento da volatilidade dos valores de projetos às alterações da variável crítica de entrada, este trabalho utiliza dois modelos para simular o comportamento de preços: Movimento Geométrico Browniano (MGB) e Movimento Geométrico de Reversão à Média (MRM).

O MGB é um processo de difusão lognormal não estacionário, tendo como principal característica o crescimento linear da variância ao longo do tempo. Segundo Hull (2000), este é o modelo mais amplamente utilizado nas simulações de comportamento dos preços de ações. Para MGB, Bordieri(2004) mostra:

$$P_{t+1} = P_t e^{[(\alpha - 0,5\sigma^2)\Delta t + \varepsilon^* \sigma \sqrt{\Delta t}]} \quad [\text{Eq. 05}]$$

Onde P é preço do petróleo, α é parâmetro de taxa de tendência, σ é o parâmetro da taxa de volatilidade, ε é a variável aleatória amostrada em uma distribuição normal reduzida, $N(0,1)$. Observa-se que como o MGB é um Processo de Markov, o valor de P_{t+1} depende apenas de P_t e não adicionalmente do que ocorreu antes do tempo t (e que apenas um preço inicial é necessário para se obter a distribuição de probabilidade de preços futuros).

Tabela 1: Médias anuais para taxa de crescimento α_p e σ_p de preços do petróleo.

Período da amostra	Taxa de crescimento α	Volatilidade de preços σ_p
1870 - 1996	-0,0027	0,2072
1880 - 1996	0,0064	0,1794
1890 - 1996	0,0052	0,1784
1900 - 1996	0,0018	0,1702
1910 - 1996	0,0111	0,1740
1920 - 1996	0,0050	0,1720
1930 - 1996	0,0069	0,1603
1940 - 1996	0,0096	0,1603
1950 - 1996	0,0067	0,1725
1960 - 1996	0,0091	0,1762
1970 - 1996	0,0144	0,2069

Adaptado de Pindyck (1999).

A estimativa do parâmetro α foi feita com base na Tabela 1 acima. Foi adotado o valor de 1% enfatizando as amostras do período após o 1º choque de preços de petróleo, ocorrido em 1972. A volatilidade dos preços do petróleo σ_p foi modelada variável, na faixa de 10 a 30%.

Através da aplicação de uma simulação com 100.000 iterações a equação 05 com $\sigma_p = 27,14\%$, $\alpha_p = 1\%$ e o preço inicial $P_0 = 26,10$ US\$/bbl, tabela 3 do anexo 3, obteve-se uma distribuição de probabilidade para preços de petróleo com o perfil característico apresentado na figura 4.

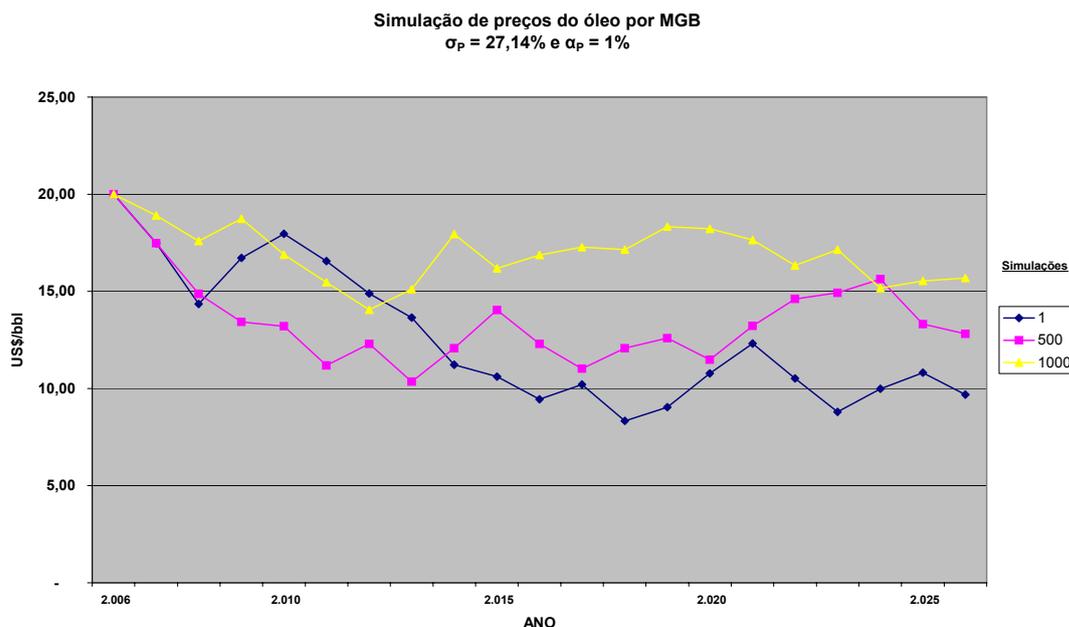


Figura 4: Amostra de trajetórias de preços por MGB.

O MRM é um processo de difusão lognormal estacionário, mas com a variância crescendo não proporcionalmente ao intervalo de tempo (equação 06). As principais aplicações do MRM são em modelos de preços de *commodities* e taxas de juros.

$$P_{t+1} = e^{\left\{ \left[(\ln P_t) e^{-\eta \Delta t} \right] + [\ln \bar{P}] (1 - e^{-\eta \Delta t}) - \left[\frac{\sigma^2}{4\eta} (1 - e^{-2\eta \Delta t}) \right] + \varepsilon^* \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-\eta \Delta t}}{2\eta}} \right\}} \quad [\text{Eq. 06}]$$

Onde P é preço inicial do petróleo, \bar{P} é um patamar de preços de equilíbrio estacionário ou uma média que reflete os custos marginais de produção para o qual o preço tende a reverter, η é o parâmetro de velocidade de reversão, σ é a volatilidade de preços.

Através da aplicação de uma simulação com 100.000 iterações usou-se a equação 06 com $\sigma_p = 27,14\%$, tabela 4 do anexo 4, assumindo para o preço inicial e o preço médio de longo prazo do petróleo os mesmos valores, iguais a 26,10 US\$/bbl. Admitiu-se que a velocidade de reversão à média η tenha valor de 0,139, que corresponde a um fator de meia-vida de 5 anos, calculados por $\ln(2)/5$. Este fator é o tempo para que um preço atinja um patamar intermediário correspondendo à metade do intervalo entre seu valor corrente P_t e o preço médio histórico \bar{P} , para o qual MRM converge no longo prazo. De maneira diferente do MGB, cuja variância tende ao infinito, pode-se observar que o processo do MRM é estacionário, com variância limitada com o perfil característico apresentado na figura 3.

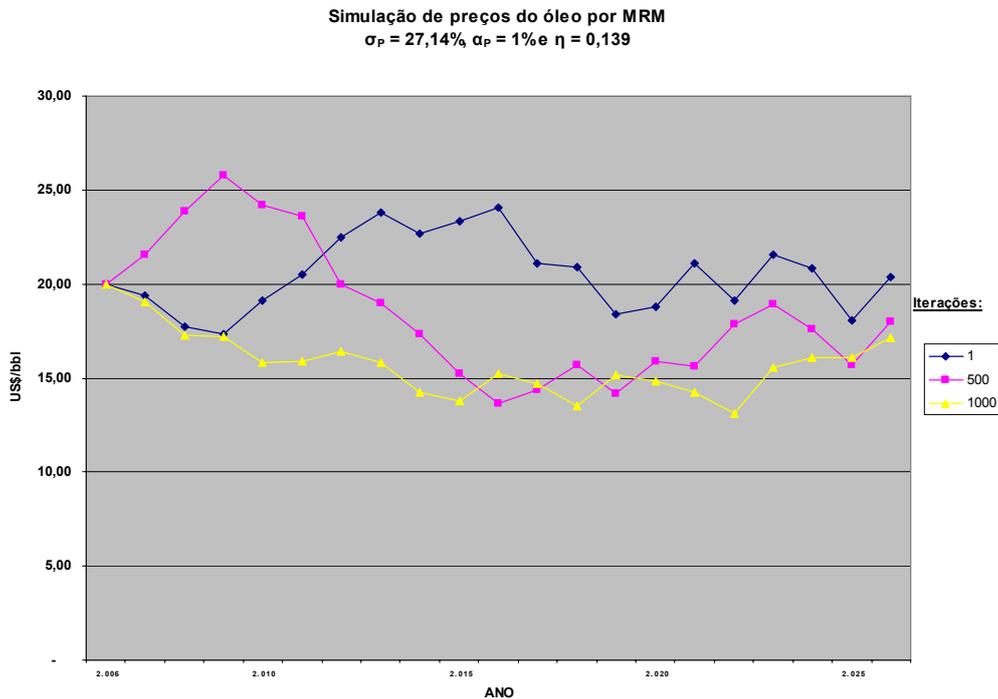


Figura 5: Amostra de trajetórias de preços por MRM.

6. MODELAGEM ADOTADA PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS E&P DE PETRÓLEO

Apresentamos a descrição da montagem experimental da metodologia para a obtenção de resultados e o método de cálculo utilizado. A base de dados, deste trabalho, sobre um projeto de produção de reservas de petróleo não desenvolvidas, foi obtida no Laboratório de Análise Geoeconômica de Recursos Minerais (LAGE) do

Instituto de Geociência da UNICAMP (Universidade de Campinas). Ela consta do volume de óleo recuperável, o perfil anual de produção, os valores de investimentos e os custos operacionais previsto para a exploração.

O fluxo de caixa de projetos de E&P é composto essencialmente por valores monetários de entradas e saída de caixas, provenientes de receitas pela venda da produção de óleo e gás e despesas da atividade de exploração de uma jazida petrolífera. As despesas podem ser classificadas em investimentos, despesas operacionais e carga fiscal, resumindo-se em “*Capital Expenditures*” (CAPEX), “*Operational Expenditures*” (OPEX) e “*Government Take*” (GT), respectivamente. Usualmente CAPEX são as despesas de capital com investimentos nas atividades de exploração (por exemplo, mapeamentos geológicos e sísmicos), avaliação (poços pioneiros, testes de produção, perfilagem) e desenvolvimento (perfuração e completação de poços produtores e injetores, equipamentos de superfície e plantas de processos, plataformas, etc.). OPEX são todas as despesas operacionais variáveis da fase de produção (por exemplo, custos de aluguel de sondas, mão-de-obra, materiais e insumos, *work-over*, manutenção, tratamento de efluentes, entre outros itens). A fatia governamental GT inclui as participações governamentais (*Royalties*, Participação Especial, Retenção de Área), Imposto de Renda de Pessoa Jurídica (IRPJ), a Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSLL), o COFINS e o PIS.

Como as receitas e despesas ocorrem ao longo do tempo de vida útil de um campo em diferentes momentos e com diferentes magnitudes, os valores podem ser atualizados para uma data arbitrária com finalidade de análise, através de aplicação de mecanismo de valoração do capital no tempo. Quando se calcula o somatório dos valores de um Fluxo de Caixa Descontado (FCD) para a data atual de maneira líquida, isto é, com resultado da diferença ou saldo entre entrada e Saída, tem-se o VPL, anexo 3 e 4.

Faz-se a aplicação das equações acima descritas, para o projeto de E&P de petróleo. A principal característica técnica, econômica e financeira do projeto encontra-se na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de entrada do projeto de petróleo

Taxa Mínima de Atratividade		12,00%	
Royalty			10,00
		%	
I. Renda			25%
Contribuição Social		8%	
Pis/Pasep+Confins		3,65%	
Preço do óleo			R\$/bb
		13,05l	
Taxa de Cambio		2,00	R\$/Us\$
Retenção Exploração	Area	300	R\$/km2
Retenção Avaliação	Area	600	R\$/km2
Retenção Produção	Area	3000	R\$/km2

t_0	2006	
σ_P	27%	
α_P	1%	
P_0	26,10	US\$/bbl
α_p	0,01	
η	0,14	
Area do Campo	250	Km²
Reserva do Campo	238,96	MMbb
Custo de produção	365,35	MMR\$
Investimentos	525,24	MMR\$

No modelo de estimativa do VPL dos projetos, primeiramente trata-se de construir o fluxo de caixa por meio da projeção de custos, preços, produção, etc. Obtém-se o valor presente do fluxo de caixa do projeto de petróleo conforme anexo 3 e 4.

As figuras 2 e 3 apresentam um exemplo com uma série de preços gerada por simulações de MGB e MRM conforme equações 5 e 6. Através da aplicação de simulações de 50.000 iterações dessas equações, obteve-se uma distribuição de probabilidade do VPL conforme figuras 6 e 7. Essas simulações foram efetuadas por amostragem no aplicativo *Crystal Ball* através dos dois modelos estocásticos de comportamento de preços, em planilhas que geram os possíveis resultados para o VPL do projeto.

O VPL através do método tradicional, sem as simulações por MGB e MRM, resultou em R\$ 448 MM com TIR de 18 %, isto é, o resultado das tabelas 3 e 4 com os dados da tabela 2.

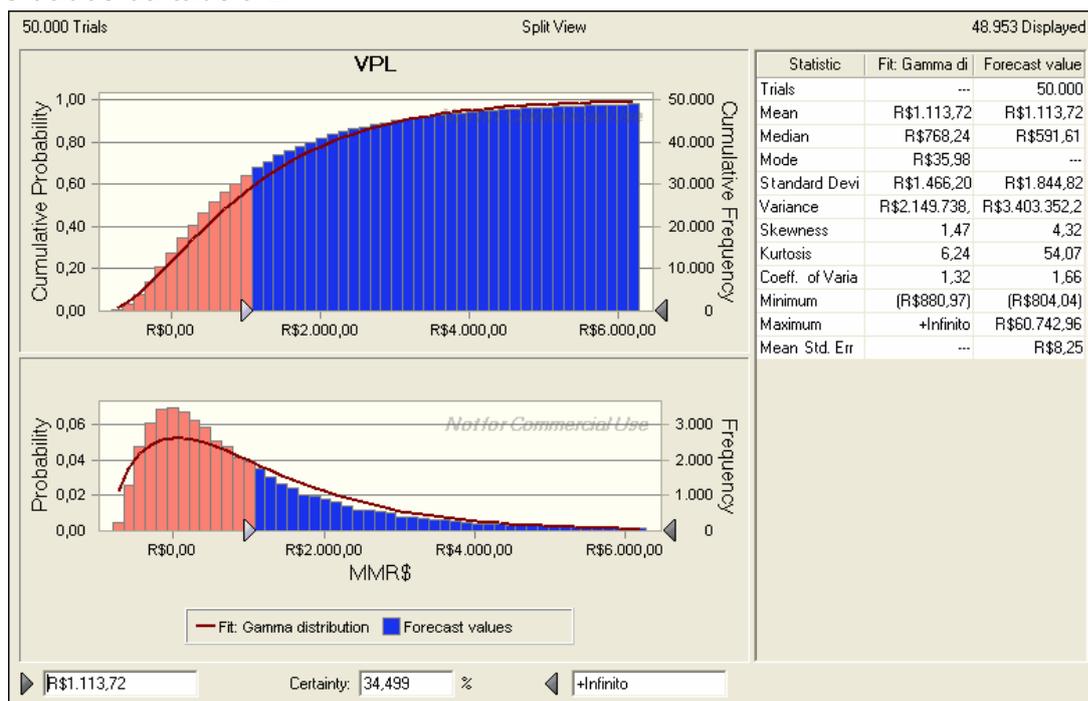


Figura 6: Resultados da simulação por MGB.

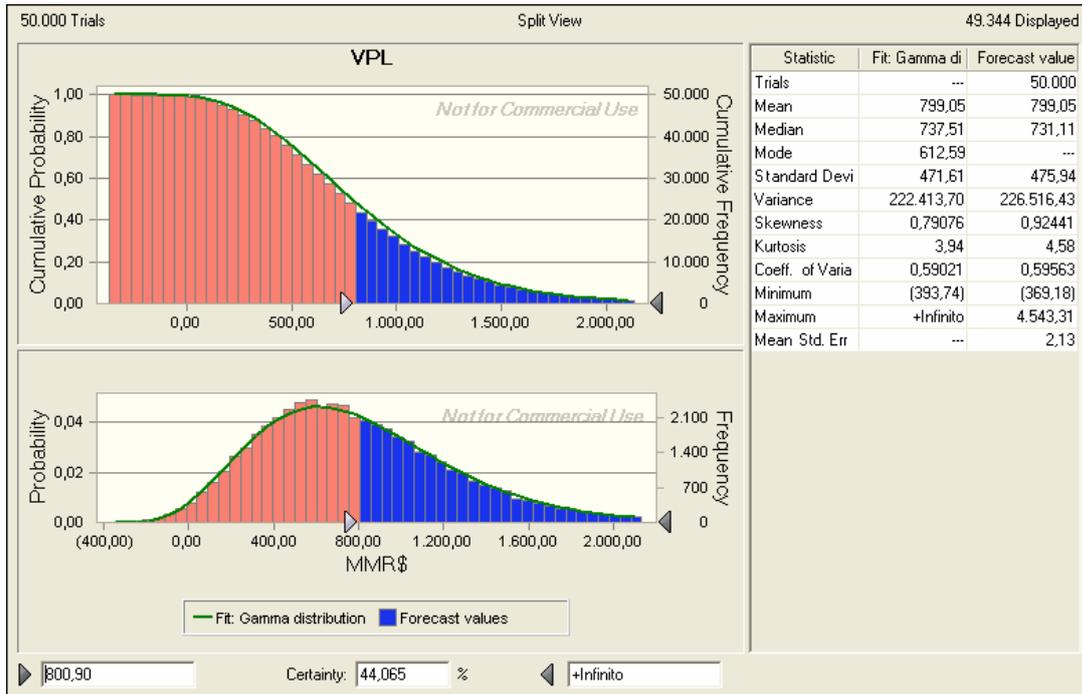


Figura 7: Resultados da simulação por MRM.

Para estimar a volatilidade do valor dos projetos, foi adotada, neste trabalho, a metodologia proposta por Copeland e Antikarov (2001), que por extensão do Teorema de Samuelson, considera a volatilidade como a dispersão das amostras dos resultados de investimento em relação ao valor esperado, avaliado, pela hipótese, como o desvio padrão dos logaritmos naturais do quociente dos valores dos projetos em dois instantes consecutivos de tempo. Os denominadores são constantes, calculados para os preços iniciais e equivalentes aos valores do projeto no ano zero. Os numeradores, que são os valores do VPL no final do primeiro ano, variam a cada passo, com os dados obtidos por simulações dos processos estocásticos de fluxos de caixa com preços aleatórios.

O programa *Cristal Ball* repete as iterações, armazena os resultados do VPL_1 calculados para todas as iterações (50.000), divide o valor obtido por VPL_0 , calcula os logaritmos naturais do quociente em planilha com dados de saída e estima o desvio padrão da amostra (σ_v). As figuras a seguir mostram a tela de saída de resultados.

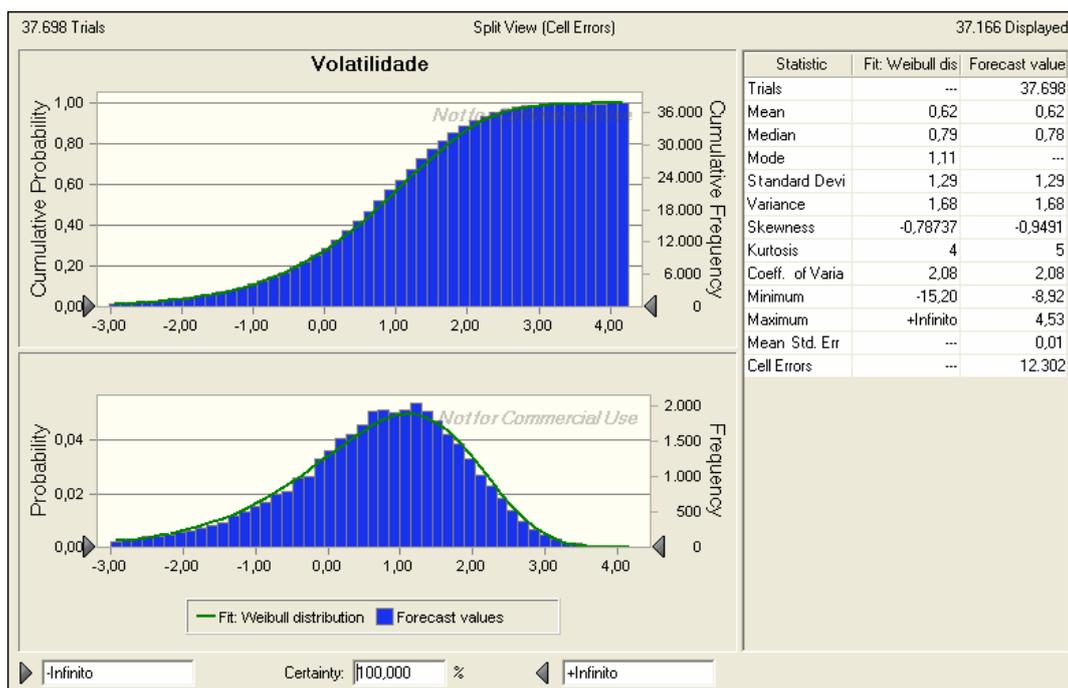


Figura 7: Resultados da simulação por MGB para volatilidade.

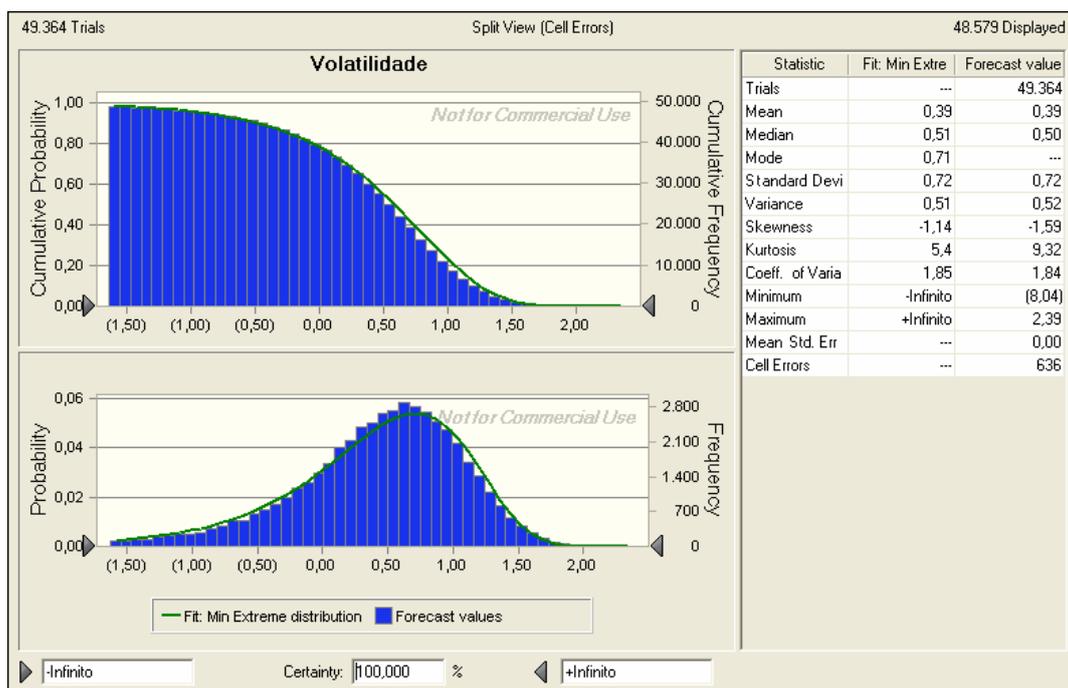


Figura 8: Resultados da simulação por MRM para volatilidade.

Estas simulações foram feitas estimando-se VPL e σ_v em função da variação de σ_p com 50.000 iterações cada.

7. RESULTADOS DA MODELAGEM: PROJETOS E&P DE PETRÓLEO

Para a interpretação dos resultados das simulações no fluxo de caixa para determinação do VPL e volatilidade de projeto de E&P de petróleo foram listados os resultados da modelagem do item anterior, tabela 3.

Modelo	VPL-MMR\$	Desvio Padrão	Desvio/VPL	σ_p	σ_v	Elasticidade	TIR
Tradicional	448,41						18%
MGB	1.113,72	591,61	0,53	27,14%	129%	4,75	20%
MRM	799,85	475,94	0,60	27,14%	72%	2,65	22%

Tabela 3: Resultados da modelagem

Os resultados da tabela 3 indicam que o resultado do VPL apresenta maior pelos VPL simulados por MGB e MRM que pelo método tradicional de 148 e 78, respectivamente, e a volatilidade de projeto apresenta também uma grande diferença “a maior” da volatilidade de preços. Seu valor de volatilidade corresponde a um aumento de 72% a 129% (MGB e MRM) do preço do petróleo.

Para as estimativas da elasticidade inicial $E_0 = (\sigma_v / \sigma_p)$, para $\sigma_p = 27,14\%$, conforme tabela 3, procedeu-se a uma verificação comparativa do MGB e MRM, onde se pode perceber a semelhança de comportamento, com tendência inversamente proporcional dessas variáveis. Quanto à magnitude entre MGB e MRM, tal se deve porque o primeiro é um processo não-estacionário, isto é, seus valores tendem a ser mais voláteis, enquanto pelo MRM, processo estacionário, seus valores tendem ao valor do preço médio.

Para os projetos seguirem um MGB ou MRM, a Elasticidade (E) > 1 , ou seja, significa que $\sigma_v > \sigma_p$. Portanto a solução tradicional de adotar $\sigma_v = \sigma_p$ tende a subestimar a incerteza real dos valores dos projetos de E&P de petróleo.

As análises de sensibilidade mostram que $\sigma_v = \sigma_p$ somente em casos muito especiais e irreais em que se verificam:

- a. Baixíssimo custo operacional e/ou
- b. Alto preço da *commodity*.

No atual estágio de conhecimento dos depósitos minerais e reservas do petróleo, tais características já não ocorrem.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A primeira pergunta é: qual dos dois modelos é o mais apropriado para a modelagem de preço das *commodities*, avaliação e estimativa da volatilidade dos projetos de E&P de petróleo. Pode-se dizer que a volatilidade da *commodity* depende muito do período em que a análise é realizada. Assim, no longo prazo, num mercado competitivo sem barreiras à entrada ou saída, o preço pode seguir um modelo de reversão à média (MRM) e, conseqüentemente, gerar volatilidade mais baixa. Por outro lado, no curto prazo, se o preço seguir um Movimento Geométrico Browniano (MGB), ele tende a crescer exponencialmente ao longo do tempo e gerar maiores volatilidades, sendo, assim mais compatível com a hipótese de exaustão dos recursos minerais.

Os resultados deste trabalho indicam que a hipótese tradicional de assumir a aproximação que a volatilidade de preços de petróleo represente a volatilidade de projetos de E&P pode induzir a sub estimativas.

Para Bordieri (2004) esta metodologia proposta para determinação da volatilidade de projetos representa uma contribuição, por ser um processo simples e eficiente, que fornece subsídio para aprimoramento dos processos de cálculo em avaliação moderna de investimento. A importância da simplicidade é facilitar o entendimento e aplicabilidade do método.

A limitação deste trabalho é que ele está baseado em simulações numéricas, cujos resultados foram obtidos para uma amostra limitada, em função dos dados

disponíveis. Assim, estes resultados não podem ser entendidos de maneira genérica para aplicação direta na análise de outros projetos com diferentes parâmetros, sendo necessário fazer uma análise específica para obter estimativas menos imprecisas dos valores prováveis para σ_v de cada projeto em particular.

Novas pesquisas poderão explorar o comportamento do VPL e volatilidade de projetos sob um modelo que considere os efeitos de incertezas de custos operacionais, de custo de capital e de parâmetros geológicos.

Para continuidade, seria interessante programar uma rotina para estimativa de VPL e volatilidade de projetos de E&P de petróleo, com base nos parâmetros de entrada e metodologia deste trabalho, que venha a possibilitar uma rápida avaliação de projetos de forma geral.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLANARU, A, TELES E.L., Estudo sobre a avaliação de empresas diante das condições de incertezas das premissas: análise probabilística gerada por simulação de Monte Carlos como auxílio ao processo decisório. www.eac.fea.usp.br, caderno de estudo, 1993.

BORDIERI, C.A Um Método Quantitativo para Estimativa da Volatilidade de Projetos de Produção de Petróleo. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, 2004. 153 p. Dissertação de mestrado.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 368 p

DIXIT, A.K. ; PINDYCK, R.S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994. 468 p.

GENTRY, D.W.; O'NEIL, T.J. Mine investment analysis. New York: Society of Mining Enginee. AIME, 1984,502 p.

HULL, J.C., **Introduction to Futures & Option Markets**, 2.ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall Inc. 1995, p.262

JORION, P., Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk; tradução da Bolsa de Mercadorias & Futuros. São Paulo: BM&F, 1998.

LIMA, G.A C., SUSLICK S.B. ESTIMATION OF VOLATILITY OF SELECTED OIL PRODUCTION PROJECTS. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amsterdean, 2006.

LIMA, G.A C., SUSLICK S.B. Estimativa da volatilidade de projetos de bens minerais. **REM Revista Escolar de Minas**, Ouro Preto – MG, v.59, n.1, p. 37-46, jan./mar. 2006.

LUEHRMAN, T.A. Investment opportunities as real options: getting started on the numbers. **Harvard business review**, p. 51-67, jul./aug. 1998.

MCDONALD, R., SIEGEL, D. The Value of Waiting to Invest. *Quartely Journal of Economics*, p. 707-727, November 1986.

MERTON, R.C. *Continuous-Time Finance*. Blackwell Publisher Inc, Cambridge, MA, 1990 (revised edition, 1992), 734 p.

MERTON, R. Theory of ration option pricing. **Journal of Economy and Management**, n.4, p.141-183, spring, 1973.

MINARDI, A.M.A.F. **Teoria de opções aplicada a projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2004. 135 p.

NATENBERG, S., *Option Volatility & Pricing: Advande Trading Strategies and Techniques*, McGraw-Hill, 1994, 468 p.

NEWNAN, D.G., LAVELLE, J.P. **Fundamentos de Engenharia Econômica** Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.,2000. 359 p.

ROSS,S.A.,WESTERFIELD,R.W.;JAFFE,F.J.**Administração financeira**. São Paulo, Atlas, 1999.

SILVA NETO, L.A. & TAGLIAVINI, M. **Opções: Do tradicional ao exótico**. São Paulo, Atlas, 1994, 287 p.

STERMOLE, F.J.; STERMOLE J.M. **Economic evaluation and investment decision methods**. 8 th ed. Golden, Colorado: Investment Evaluations Corporation, 1993, 479 p.

TRIGEORGIS, L. **Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2000. 427 p.

ANEXO 1 – Tabela 1: Preços do óleo cru de 1881 a 2006

Oil: Crude oil prices 1861 - 2006

US dollars per barrel		
Year	\$ money of the day	\$ 2006
1861	0,49	11,04
1862	1,05	21,29
1863	3,15	51,79
1864	8,06	104,35
1865	6,59	87,15
1866	3,74	51,69
1867	2,41	34,87
1868	3,63	55,17
1869	3,64	55,33
1870	3,86	61,76
1871	4,34	73,32
1872	3,64	61,50
1873	1,83	30,91
1874	1,17	20,94
1875	1,35	24,88
1876	2,56	48,64
1877	2,42	45,98
1878	1,19	24,96
1879	0,86	18,68
1880	0,95	19,91
1881	0,86	18,02
1882	0,78	16,35
1883	1,00	21,70
1884	0,84	18,91
1885	0,88	19,80
1886	0,71	15,98
1887	0,67	15,08
1888	0,88	19,80
1889	0,94	21,16
1890	0,87	19,58
1891	0,67	15,08
1892	0,56	12,60
1893	0,64	14,40
1894	0,84	19,64
1895	1,36	33,04
1896	1,18	28,66
1897	0,79	19,19

1898	0,91	22,11
1899	1,29	31,33
1900	1,19	28,91
1901	0,96	23,33
1902	0,80	18,69
1903	0,94	21,16
1904	0,86	19,36
1905	0,62	13,96
1906	0,73	16,43
1907	0,72	15,62
1908	0,72	16,21
1909	0,70	15,76
1910	0,61	13,24
1911	0,61	13,24
1912	0,74	15,50
1913	0,95	19,44
1914	0,81	16,36
1915	0,64	12,80
1916	1,10	20,44
1917	1,56	24,70
1918	1,98	26,70
1919	2,01	23,59
1920	3,07	31,11
1921	1,73	19,64
1922	1,61	19,51
1923	1,34	15,95
1924	1,43	16,98
1925	1,68	19,46
1926	1,88	21,57
1927	1,30	15,20
1928	1,17	13,86
1929	1,27	15,05
1930	1,19	14,46
1931	0,65	8,66
1932	0,87	12,93
1933	0,67	10,49
1934	1,00	15,14
1935	0,97	14,33
1936	1,09	15,94
1937	1,18	16,65
1938	1,13	16,26
1939	1,02	14,88
1940	1,02	14,74
1941	1,14	15,69
1942	1,19	14,79
1943	1,20	14,06

1944	1,21	13,95
1945	1,05	11,83
1946	1,12	11,63
1947	1,90	17,24
1948	1,99	16,74
1949	1,78	15,13
1950	1,71	14,39
1951	1,71	13,34
1952	1,71	13,04
1953	1,93	14,61
1954	1,93	14,54
1955	1,93	14,60
1956	1,93	14,38
1957	1,90	13,66
1958	2,08	14,58
1959	2,08	14,46
1960	1,90	13,00
1961	1,80	12,19
1962	1,80	12,05
1963	1,80	11,90
1964	1,80	11,74
1965	1,80	11,56
1966	1,80	11,21
1967	1,80	10,91
1968	1,80	10,48
1969	1,80	9,94
1970	1,80	9,38
1971	2,24	11,21
1972	2,48	12,01
1973	3,29	14,99
1974	11,58	47,54
1975	11,53	43,38
1976	12,80	45,52
1977	13,92	46,48
1978	14,02	43,50
1979	31,61	88,13
1980	36,83	90,46
1981	35,93	79,93
1982	32,97	69,08
1983	29,55	59,99
1984	28,78	54,55
1985	27,56	51,71
1986	14,43	26,45
1987	18,44	32,69
1988	14,92	25,50
1989	18,23	29,61

1990	23,73	36,76
1991	20,00	29,71
1992	19,32	27,84
1993	16,97	23,83
1994	15,82	21,74
1995	17,02	22,74
1996	20,67	26,77
1997	19,09	24,26
1998	12,72	16,22
1999	17,97	22,10
2000	28,50	33,93
2001	24,44	28,21
2002	25,02	28,24
2003	28,83	31,59
2004	38,27	40,83
2005	54,52	56,27
2006	65,14	65,14
		26,10

1861-1944 US Average.

1945-1983 Arabian Light posted at
Ras Tanura.

1984-2006 Brent dated.

ANEXO 2: Determinação da volatilidade do preço do petróleo- Tabela 2.

Oil: Crude oil prices 1861 - 2006

US dollars per
barrel

Year	\$ 2006	P_i/P_{i-1}	$u_i = \ln (P_i/P_{i-1})$
1861	11,04		
1862	21,29	1,92789	0,65643
1863	51,79	2,43289	0,88908
1864	104,35	2,01492	0,70058
1865	87,15	0,83517	-0,18012
1866	51,69	0,59304	-0,52249
1867	34,87	0,67467	-0,39353
1868	55,17	1,58227	0,45886
1869	55,33	1,00276	0,00276
1870	61,76	1,11619	0,10992
1871	73,32	1,18733	0,17171
1872	61,50	0,83871	-0,17589
1873	30,91	0,50267	-0,68783
1874	20,94	0,67727	-0,38968
1875	24,88	1,18848	0,17267
1876	48,64	1,95482	0,67030
1877	45,98	0,94535	-0,05620
1878	24,96	0,54291	-0,61082
1879	18,68	0,74812	-0,29019
1880	19,91	1,06583	0,06375
1881	18,02	0,90529	-0,09950
1882	16,35	0,90708	-0,09752
1883	21,70	1,32736	0,28319
1884	18,91	0,87156	-0,13747
1885	19,80	1,04706	0,04599
1886	15,98	0,80721	-0,21417
1887	15,08	0,94359	-0,05806
1888	19,80	1,31289	0,27223
1889	21,16	1,06860	0,06635
1890	19,58	0,92529	-0,07765
1891	15,08	0,77033	-0,26093
1892	12,60	0,83540	-0,17984
1893	14,40	1,14312	0,13376
1894	19,64	1,36341	0,30999
1895	33,04	1,68277	0,52044
1896	28,66	0,86747	-0,14217
1897	19,19	0,66953	-0,40119

1898	22,11	1,15192	0,14143
1899	31,33	1,41737	0,34881
1900	28,91	0,92265	-0,08051
1901	23,33	0,80680	-0,21467
1902	18,69	0,80120	-0,22164
1903	21,16	1,13221	0,12417
1904	19,36	0,91478	-0,08908
1905	13,96	0,72111	-0,32696
1906	16,43	1,17701	0,16298
1907	15,62	0,95082	-0,05043
1908	16,21	1,03748	0,03680
1909	15,76	0,97254	-0,02784
1910	13,24	0,84027	-0,17404
1911	13,24	1,00000	0,00000
1912	15,50	1,17065	0,15756
1913	19,44	1,25378	0,22616
1914	16,36	0,84157	-0,17249
1915	12,80	0,78239	-0,24540
1916	20,44	1,59744	0,46840
1917	24,70	1,20790	0,18889
1918	26,70	1,08108	0,07796
1919	23,59	0,88377	-0,12356
1920	31,11	1,31861	0,27658
1921	19,64	0,63116	-0,46019
1922	19,51	0,99344	-0,00658
1923	15,95	0,81753	-0,20147
1924	16,98	1,06461	0,06261
1925	19,46	1,14621	0,13646
1926	21,57	1,10830	0,10283
1927	15,20	0,70467	-0,35003
1928	13,86	0,91217	-0,09193
1929	15,05	1,08530	0,08186
1930	14,46	0,96109	-0,03969
1931	8,66	0,59919	-0,51218
1932	12,93	1,49189	0,40005
1933	10,49	0,81159	-0,20875
1934	15,14	1,44308	0,36678
1935	14,33	0,94664	-0,05484
1936	15,94	1,11193	0,10610
1937	16,65	1,04482	0,04384
1938	16,26	0,97679	-0,02348
1939	14,88	0,91505	-0,08878
1940	14,74	0,99056	-0,00949
1941	15,69	1,06434	0,06235
1942	14,79	0,94254	-0,05918
1943	14,06	0,95091	-0,05034

1944	13,95	0,99167	-0,00836
1945	11,83	0,84803	-0,16484
1946	11,63	0,98317	-0,01697
1947	17,24	1,48238	0,39365
1948	16,74	0,97147	-0,02895
1949	15,13	0,90350	-0,10148
1950	14,39	0,95124	-0,04999
1951	13,34	0,92677	-0,07605
1952	13,04	0,97805	-0,02219
1953	14,61	1,12029	0,11359
1954	14,54	0,99519	-0,00482
1955	14,60	1,00403	0,00402
1956	14,38	0,98476	-0,01535
1957	13,66	0,95033	-0,05095
1958	14,58	1,06684	0,06470
1959	14,46	0,99197	-0,00806
1960	13,00	0,89879	-0,10671
1961	12,19	0,93784	-0,06418
1962	12,05	0,98847	-0,01159
1963	11,90	0,98737	-0,01271
1964	11,74	0,98720	-0,01288
1965	11,56	0,98405	-0,01608
1966	11,21	0,96960	-0,03087
1967	10,91	0,97388	-0,02647
1968	10,48	0,96030	-0,04051
1969	9,94	0,94860	-0,05276
1970	9,38	0,94346	-0,05820
1971	11,21	1,19476	0,17794
1972	12,01	1,07210	0,06962
1973	14,99	1,24756	0,22119
1974	47,54	3,17188	1,15432
1975	43,38	0,91256	-0,09150
1976	45,52	1,04927	0,04810
1977	46,48	1,02116	0,02094
1978	43,50	0,93589	-0,06626
1979	88,13	2,02573	0,70593
1980	90,46	1,02643	0,02609
1981	79,93	0,88367	-0,12367
1982	69,08	0,86421	-0,14594
1983	59,99	0,86842	-0,14108
1984	54,55	0,90939	-0,09498
1985	51,71	0,94784	-0,05357
1986	26,45	0,51155	-0,67031
1987	32,69	1,23595	0,21184
1988	25,50	0,78009	-0,24835
1989	29,61	1,16116	0,14942

1990	36,76	1,24120	0,21608
1991	29,71	0,80822	-0,21292
1992	27,84	0,93733	-0,06472
1993	23,83	0,85576	-0,15576
1994	21,74	0,91253	-0,09153
1995	22,74	1,04577	0,04476
1996	26,77	1,17714	0,16309
1997	24,26	0,90639	-0,09829
1998	16,22	0,66844	-0,40281
1999	22,10	1,36245	0,30929
2000	33,93	1,53577	0,42903
2001	28,21	0,83145	-0,18459
2002	28,24	1,00094	0,00094
2003	31,59	1,11877	0,11223
2004	40,83	1,29237	0,25648
2005	56,27	1,37798	0,32062
2006	65,14	1,15779	0,14651
Desvio Padrão:			0,27144

ANEXO 3: Tabela 3 - Planilha parcial de simulação do modelo MGB

MBG															
Ano		Preço óleo R\$/bbl	Produção (MM bbl)	Investimento				Investimento total (MMR\$)		Receita Bruta (MMR\$)	Royalty (MMR\$)	Pis/Pasep Cofins (MMR\$)		Retenção área (MMR\$)	Custo Operacional total (MMR\$)
				Exploração (MMR\$)	Avaliação (MMR\$)	Desenvolvimento									
						Poços (MMR\$)	Facilidades (MMR\$)								
2006		13,05		6,75			6,75						0,08		
2007	0	12,70			11,43	0,05	0,07	11,55					0,15	0,04	
2008	0	12,37				11,48	17,21	28,69					0,15	10,43	
2009	0	12,04				28,61	42,92	71,54					0,15	26,01	
2010	0	11,72				34,22	51,33	85,56					0,15	31,11	
2011	0	11,41	14,00			16,97	25,46	42,43	159,76	15,98	5,83		0,75	27,25	
2012	0	11,11	22,00			16,97	25,46	42,43	244,41	24,44	8,92		0,75	30,56	
2013	0	10,82	24,51			16,97	25,46	42,43	265,09	26,51	9,68		0,75	33,16	
2014	0	10,53	29,00			16,97	25,46	42,43	305,35	30,53	11,15		0,75	35,36	
2015	0	10,25	30,00			16,45	24,67	41,12	307,52	30,75	11,22		0,75	35,98	
2016	0	9,98	30,00			6,07	9,11	15,18	299,37	29,94	10,93		0,75	25,40	
2017	0	9,71	26,00					0,00	252,59	25,26	9,22		0,75	18,65	
2018	0	9,46	20,00					0,00	189,16	18,92	6,90		0,75	17,10	
2019	0	9,21	15,00					0,00	138,11	13,81	5,04		0,75	16,57	
2020	0	8,96	10,00					0,00	89,64	8,96	3,27		0,75	15,60	
2021	0	8,73	7,64					0,00	66,67	6,67	2,43		0,75	14,84	
2022	0	8,50	6,04					0,00	51,31	5,13	1,87		0,75	14,23	
2023	0	8,27	4,77					0,00	39,45	3,95	1,44		0,75	13,06	
2024	0	8,05					147,71	147,71	147,71	0,00	0,00				
2025	0	7,84													

ANEXO 4: Tabela 4 - Planilha parcial de simulação do modelo MRM

MRM														η	
Year		Preço óleo R\$/bbl	Produção (MM bbl)	Investimento				Investimento total (MMR\$)	Receita Bruta (MMR\$)	Royalty (MMR\$)	Pis/Pasep Cofins (MMR\$)	Retenção área (MMR\$)	Custo Operacional total (MMR\$)	Participação especial anual (MMR\$)	
				Exploração (MMR\$)	Avaliação (MMR\$)	Desenvolvimento									
						Poços (MMR\$)	Facilidades (MMR\$)								
2006		13,05		6,75			6,75					0,08			
2007	0	12,64			11,43	0,05	0,07	11,55				0,15	0,04		
2008	0	12,29				11,48	17,21	28,69				0,15	10,43		
2009	0	11,99				28,61	42,92	71,54				0,15	26,01		
2010	0	11,74				34,22	51,33	85,56				0,15	31,11		
2011	0	11,53	14,00			16,97	25,46	42,43	161,38	16,14	5,89	0,75	27,25		
2012	0	11,34	22,00			16,97	25,46	42,43	249,55	24,96	9,11	0,75	30,56		
2013	0	11,19	24,51			16,97	25,46	42,43	274,17	27,42	10,01	0,75	33,16	0,17	
2014	0	11,05	29,00			16,97	25,46	42,43	320,48	32,05	11,70	0,75	35,36	0,22	
2015	0	10,93	30,00			16,45	24,67	41,12	328,04	32,80	11,97	0,75	35,98	0,23	
2016	0	10,83	30,00			6,07	9,11	15,18	325,04	32,50	11,86	0,75	25,40	0,27	
2017	0	10,75	26,00					0,00	279,45	27,95	10,20	0,75	18,65	0,25	
2018	0	10,67	20,00					0,00	213,47	21,35	7,79	0,75	17,10	0,18	
2019	0	10,61	15,00					0,00	159,13	15,91	5,81	0,75	16,57	0,13	
2020	0	10,55	10,00					0,00	105,53	10,55	3,85	0,75	15,60		
2021	0	10,50	7,64					0,00	80,26	8,03	2,93	0,75	14,84		
2022	0	10,46	6,04					0,00	63,20	6,32	2,31	0,75	14,23		
2023	0	10,43	4,77					0,00	49,73	4,97	1,82	0,75	13,06		
2024	0	10,39					147,71	147,71	147,71	0,00	0,00				
2025	0	10,37													
2026	0	10,34													