

5

Opções Reais em Projetos de Exploração de Petróleo (E&P)

A atividade de E&P é influenciada por inúmeras incertezas: as de mercado, que são correlacionadas com os movimentos econômicos (variações no preço spot de petróleo, variação nos custos de produção e das taxas de aluguel das sondas de exploração), variações abruptas na taxa de câmbio; as incertezas estratégicas, que são representadas pela interação entre as empresas que compõem o mercado em análise, no seu exercício ótimo de opções, baseada na teoria dos jogos e que busca analisar conflito e cooperação; as incertezas técnicas, que são representadas pelos conhecimentos sobre o porte das jazidas, suas características geológicas e a evolução das propriedades dos fluidos.

As incertezas técnicas, por sua vez, não devem ser modeladas com processos estocásticos, pois a simples passagem do tempo não influencia a sua determinação. A correta está condicionada à chegada de novas informações e não evoluem segundo algum processo estocástico, e sim com o processo denominado revelação da informação (desenvolvido por Dias (2006) em sua tese de doutorado).

A adoção de um modelo de opções reais aplicados a empresas do setor de petróleo requer uma análise detalhada dos principais fatores para a análise econômica de projetos de investimento. Assim, analisar-se-ão, principalmente, os fatores de risco de mercado. As análises, estratégica e técnica, serão desenvolvidas pelo autor em sua tese de doutorado.

A valoração de um projeto pode ser interpretada como a avaliação econômica de uma concessão ou um contrato de risco. O proprietário dos direitos de exploração precisa conhecer o valor monetário que pode auferir através do exercício de seus direitos. Além disso, o mesmo deseja saber o exato valor do projeto, em cada instante de tempo, avaliando assim a viabilidade do investimento. A análise do gatilho, que refletirá, na definição exata do melhor timing de investimento, é de fundamental importância, pois, a cada instante, a opção de aguardar ou investir é avaliada. Nesse caso, se o valor do projeto for

pelo menos igual à soma do investimento com o valor da opção de aguardar, ocorre o investimento. Caso contrário, espera-se por melhores condições.

5.1

Premissas Básicas Adotadas para Valoração de Projeto de Exploração.

A variável estocástica principal é V que terá proporção do valor do preço do petróleo, do preço das sondas e será estimada pelo fluxo de caixa do projeto, assim como o investimento, que também depende das sondas. Assim, a partir de um fluxo de caixa, serão determinadas as variáveis de projeto, investimento e custos para análise por opções reais.

A seguir serão definidas as premissas básicas para cada componente da análise do projeto.

5.1.1

Determinação das premissas do fluxo de caixa do projeto

O fluxo de caixa consiste no resultado do confronto entre as entradas e as saídas esperadas de recursos de determinado investimento. Seus componentes são expectativas, ou seja, representam a expectância do comportamento dos fluxos de caixa no futuro.

Componentes do Fluxo de Caixa básico de um Projeto

Receita Bruta Operacional

(-) Deduções

Receita Líquida Operacional

(-) Custos e Despesas Operacionais (antes da depreciação)

EBITDA – Earning Before interest, Taxes, Depreciation and Amortization

(-) Depreciação

EBIT – Earning Before Interest and Taxes

(-) Impostos sobre o Lucro (calculado com base no EBIT)

NOPAT – Net Operating Profit After Taxes

- (+) Depreciação
- (-) Investimento Bruto (CAPEX – Capital Expenditures)
- (-) Variações na Necessidade de Capital de Giro (Δ NCG)
- (+) Valor Residual

FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

O fluxo de caixa acima representa um esquema básico de fluxo para projetos de diversos setores econômicos. Desse modo, pode-se generalizar essa estrutura para uma estrutura de projetos mais próxima da realidade.

5.1.2

Componentes de um fluxo de caixa de um projeto de E & P

Tempo de Expiração: A variável tempo de expiração dos direitos, que antes não existia, devido ao monopólio, aparece como um fator relevante na análise econômica de projetos na nova conjuntura. Nesse trabalho, serão considerados 20 anos para a expiração, ou seja, 2010 a 2029.

Taxa de Desconto: A taxa de desconto utilizada para os fluxos foi calculada pelo WACC(Weighted Average Capital Cost):

$$WACC = (r[1 - tax]\frac{D}{A}) + (m\frac{E}{A}) \quad (5.1)$$

Utilizando para isso uma estrutura de 70% do capital próprio e o restante de terceiros, ou seja, $(E/A) = 0,7$ e $(D/A)=0,3$. Já o retorno sobre capital próprio assumido foi: $\mu = 8\%$.

Taxa de Distribuição de Dividendos: Taxa constante e igual a 6%: O retorno esperado do investimento ou a taxa de desconto ajustada ao risco μ pode ser vista como a soma da taxa de crescimento do projeto (“drift” α) adicionada à taxa de dividendos δ . Assim, é usual, na teoria de opções reais, assumir a premissa de que as variações em μ são todas devido às variações em α e, conseqüentemente, adotar δ constante.

Segundo Dias (1996) “Devido à estocasticidade dos fluxos de caixa do projeto, poder-se-ia intuir que tal simplificação não seja adequada, no entanto algumas considerações sobre o fluxo de caixa (depleção e custo operacional) mostram que considerar o valor de δ como constante é bem razoável, especialmente num projeto de E&P.

Ainda segundo o autor, a taxa de distribuição de fluxo de caixa líquido (δ) pode ser considerada constante, pois se o lucro operacional (dividendos) declina, o valor do projeto (valor econômico das reservas remanescentes) também apresenta decrescimento. É possível interpretar esta relação como constante, mas calculado como a média das taxas de dividendos dos fluxos de caixa esperados, usando estimativas de projetos reais.

Myers & Majd (1990) corroboram esse fato, mostrando que o valor de δ não é afetado por erros de estimativa do valor esperado do fluxo de caixa, uma vez que o valor esperado do projeto seria igualmente afetado e, portanto, a razão não seria modificada por esses erros. Isso reforça a premissa de δ não flutuar com as variações de V e ser plausível considerar δ como constante. Para mais detalhes, Dias (1996).

Fluxo de Receitas: O fluxo de receitas do projeto é mensurado através do produto da quantidade produzida pelo preço da mercadoria. Adotou-se, para o item quantidade, a expectativa da quantidade de barris produzida por dia. Para o item preço, utiliza-se a commodity negociada no mercado internacional WTI, que representa um fator de risco relevante à análise e ao cômputo das opções de investimento do projeto.

Fluxo de Custos: A correlação positiva entre custos operacionais (sondas) e o preço do petróleo é considerada um fato estilizado na análise de poços do tipo off-shore, intensivos em capital (sondas). Alguns autores elaboraram testes econométricos que corroboram isso: Beike & Holtz (1995), Holtz & Beike (1991) e Kuuskraa & Godec & Morra Jr. (1986). Assumiu-se que o custo operacional se divide em fixo e variável.

Custo Operacional Fixo: O fluxo de custos fixos apresenta um percentual estocástico. Cerca de 30% do custo fixo se deve às sondas que realizam workover, que variam segundo a taxa de aluguel de sondas e, portanto, será outro fator estocástico da modelagem. Sua frequência ocorre a cada 5 anos. Os outros 70%

que incluem mão de obra, serviços de terceirizadas dentre outros, serão considerados determinísticos, pois não oscilam de forma abrupta no tempo, sendo facilmente incorporados ao planejamento dos projetos ao longo do tempo.

Tributos: Carga Tributária de 34%

Depreciação e tempo de depreciação: O investimento é 70% depreciável e será depreciável em 15 anos.

Royalties: Taxa de distribuição de 5%.

Premissas de Produção e Investimento: A produção da unidade exploradora durará 20 anos, sendo a quantidade produzida variável segundo a seguinte hipótese: Em cinco anos, a produção alcançará seu máximo, sendo a produção no primeiro e segundo anos igual a zero. No terceiro ano, a produção será de 10 % do total. No quarto, 50% do total e, no quinto, completa sua totalidade. A partir do sexto ano, a produção decai a uma taxa constante de 10% da produção total.

O fluxo de investimentos será de 10%, no primeiro ano, acrescidos de 50%, no segundo, e de 40%, no terceiro, completando o fluxo total de investimentos. Seu montante correspondente ao investimento não depreciável apresenta um componente estocástico que será considerado. Esse montante, que se aproxima de 50% do total de investimento não depreciável, deve-se aos custos de perfuração e completação. Esse montante é estocástico devido à variação nas taxas diárias de aluguel de sondas, quantidade de poços em operação e tempo gasto para perfurar e completar tais poços.

O custo total de perfuração e completação é dado pelo produto da taxa de aluguel diária de sondas com o número de poços e o tempo gasto para perfurar e completar. Esse tempo, em média, será considerado de 90 dias por poço.

5.1.3

Exposição das principais contas do fluxo de caixa

Receita Total = Preço do WTI * Quantidade Produzida

Investimento Total = Investimento Depreciável + Investimento não Depreciável

Produção = Quantidade de Barris Produzida

Custo Operacional = Custo Operacional Fixo + Custo Operacional Variável

Royalties = Taxa de Distribuição segundo a legislação vigente

Custo de Abandono = Custo após o fechamento da reserva

Fluxo de Caixa Tributável = Montante do Fluxo que é tributado

Tributos = Alíquota de impostos da atividade petrolífera

Fluxo de Caixa Livre

5.1.4

Fatores de Risco

O fator de risco relevante é, sem dúvida, o preço do petróleo denominado WTI. O mesmo alimenta as receitas do projeto impactando decisivamente sua rentabilidade. Numa primeira abordagem, analisar-se-á o investimento adotando que o preço se mantém flat durante o tempo do projeto. Posteriormente, será analisado o resultado com o projeto, seguindo um Movimento Geométrico Browniano (MGB). No tópico da aplicação do modelo, será feita uma análise de sensibilidade mostrando seus efeitos na análise do fluxo de caixa e no valor das opções.

Outros fatores de risco poderiam ser considerados, de modo a trazer à modelagem do projeto mais próxima da realidade. A taxa do aluguel das sondas off-shore representam um importante fator de risco quanto aos custos operacionais e investimentos em exploração. Tal série é estratégica para a Petrobrás e para o setor de petróleo, de modo que não se encontra disponível de forma livre.

Diante dessa restrição importante, buscou-se uma forma de incorporar tal fator de risco, sem a utilização da série original. À modelagem de sondas, buscou-se, em fontes públicas e de analistas o comportamento da série temporal em valores médios, ao longo dos anos. Utilizou-se, para a simulação de seu processo estocástico, a sua forte correlação com o preço spot do petróleo. Para modelar o projeto, admitiu-se que WTI segue um processo estocástico MGB e admiti-se correlação unitária com o processo estocástico da sonda. Essa premissa apesar de simplificadora, não é uma hipótese irreal.

Outro fator de risco relevante que afeta o fluxo de caixa de maneira diferente são movimentos fortes na taxa de câmbio, que ocorre de forma rápida e condicionada a eventos específicos: crises, forte entrada ou saída de capitais no país etc. Geralmente seu movimento é correlacionado com fatores econômicos e, algumas vezes, seu movimento pode ser modelado com processos de saltos. Tal fator é relevante para análise do fluxo de caixa em Reais, pois fortes movimentos podem causar desbalanceamento nos fluxos. Elevações nas cotações do dólar geram um efeito adverso na provisão de pagamentos de impostos gerando problemas de gestão de caixa no curto prazo.

A última crise econômica mostrou esse aspecto, na gestão de caixa da empresas que tem ativos e passivos cotados em dólar. No entanto, consideraram-se os fluxos (receitas e despesas) em dólar, como fazem praticamente 100% das empresas do setor de exploração de petróleo.

5.1.5

Cálculo da Opção do Projeto

Para corroborar a análise do cálculo da opção via método de Simulação de Monte Carlo, adotou-se também o método de solução analítica proposto por Bjerksund e Stenslend. Quanto à aplicação, a comparação com um método de solução analítica parece factível. Isso acontece porque, em projetos de investimentos, a análise do timing de investimento é relevante, sobretudo, devido à irreversibilidade do investimento.

Sendo assim, como existe uma solução analítica para opções do tipo americana, desenvolvida por Bjerksund e implementada em VBA, por Dias, decidiu-se utilizá-la para realizar uma análise comparativa de ambas as metodologias, com testes de aderência e simulação dos principais fatores, bem como da comparação das curvas de gatilho por ambos os métodos.

5.2

Análise das Opções do Projeto

A abordagem conterà duas análises: A primeira analisará o comportamento do preço do petróleo e da taxa de aluguel de sondas de maneira flat. Ou seja, o

tomador de decisão assume o modelo ingênuo para o comportamento dos seus fatores de risco. Como não é possível determinar os preços futuros, supõe-se que se mantenham constante durante toda a vida útil do projeto. Embora seja uma hipótese simplificadora, muitas vezes, na prática, os agentes realizam esse tipo de análise, pois a previsão exata do comportamento futuro dos preços de commodities, num horizonte de vinte anos, é impossível, em termos econômicos.

De forma a atenuar o problema, assumi-se que seguem processos estocásticos como: Movimento Geométrico Browniano, Reversão a Média, dentre outros. Assim, simula-se o comportamento futuro, utilizando o método de Monte Carlo de forma a melhorar a visão do tomador de decisão e da expectativa do possível comportamento dos fluxos do projeto, bem como dos valores das opções. Tal análise, baseada no MGB e na Simulação de Monte Carlo, é mais completa que a primeira e compõe a segunda etapa do estudo.

5.2.1

Análise Flat para WTI e Sondas

Nesse tópico, será abordado um projeto de E&P supondo que o preço do petróleo se comporta de maneira flat, em 60 US\$/bbl, e constante durante toda vida útil do projeto. Assumiu-se, à taxa diária de aluguel de sondas, comportamento flat, em 200 mil dólares ao dia, taxa média comumente no mercado off-shore.

5.2.1.1

Nível de Produção

No Gráfico 5.1, pode-se visualizar o comportamento da produção de petróleo. Nos dois primeiros anos, a produção é nula e, a partir do terceiro, inicia-se a produção de uma pequena quantidade que chega ao seu ponto de máximo no quinto ano. A partir do sexto ano, decai a uma taxa de aproximadamente 10%, até a expiração e o conseqüente abandono do campo.

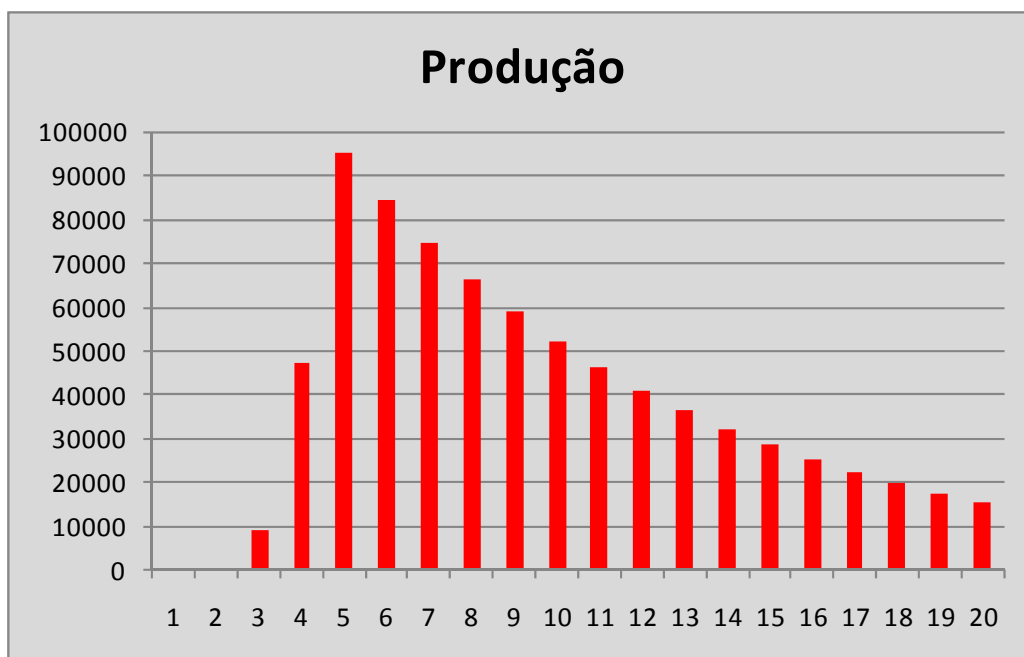


Gráfico 5.1 – Volume de Produção Diária Barris

5.2.1.2

Fluxo de Investimentos

O investimento é um fator essencial para a abordagem da teoria de opções reais, pois seu volume determina diretamente o valor da opção. O investimento pode ser separado em depreciável e não depreciável sendo sua evolução tal que nos três primeiros anos seu fluxo é negativo, o que parece bem intuitivo, visto que nesse período estão ocorrendo os dispêndios necessários ao empreendimento. No contexto de análise de investimentos, é necessário um investimento inicial para que haja geração de fluxos de caixa futuros.

5.2.1.3

Fluxo do Valor Operacional do Projeto

O valor operacional do projeto é definido pela soma dos montantes dos valores presentes líquidos do projeto e do investimento. O valor da opção de investimento é o valor econômico de um projeto considerando a liberdade gerencial embutida nessa oportunidade.

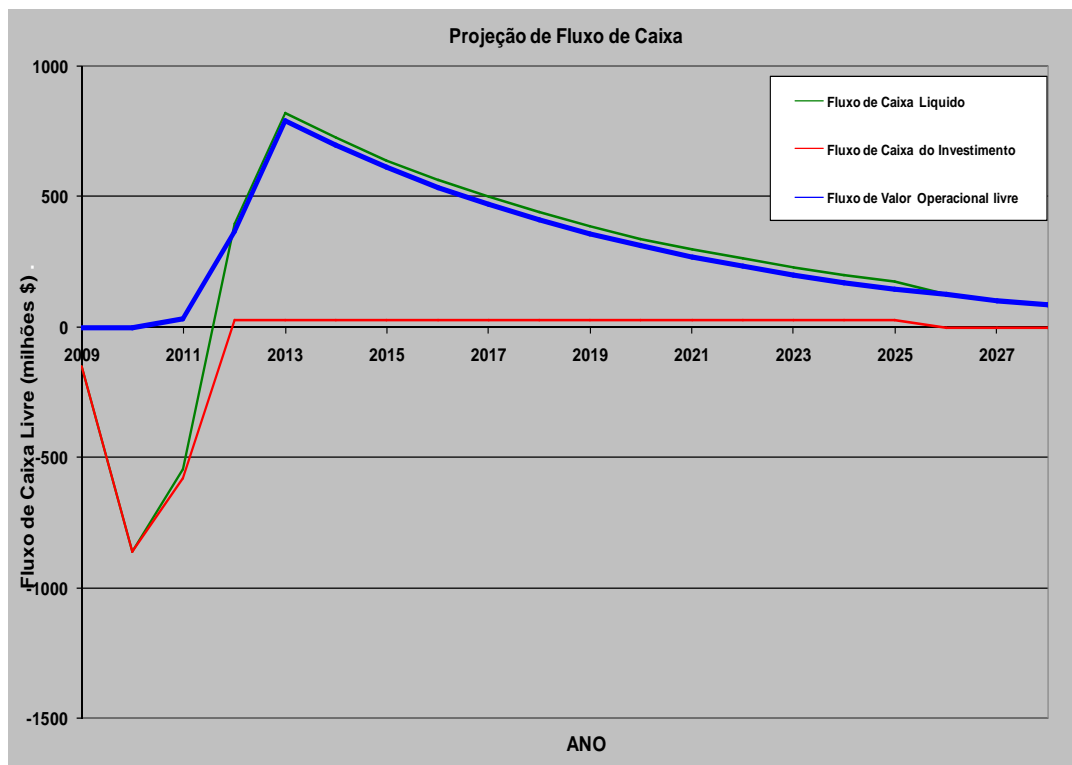


Gráfico 5.2 – Fluxo de Caixa Livre do Projeto

5.2.1.5

Cômputo do Valor da Opção do Projeto

Valor Operacional do Projeto: 3.815 milhões

Investimento: 1258,50 milhões

Taxa Livre de Risco: 6% ao ano

Dividendos: 6% ao ano

Prazo para o Vencimento da Opção de Investir: 2 anos

Valor da Opção de Investir utilizando Aproximação: 2557,05 milhões

Valor da Opção de Investir utilizando Monte Carlo: 2463,57 milhões, utilizando 10000 simulações.

Valor da Opção de Investir utilizando o Método Binomial: 2556,50 milhões, com 10000 passos para a árvore binomial.

5.2.1.6

Cálculo do Gatilho

Ponto de exercício ótimo da opção por diferenças finitas: 1,55

Ponto de exercício ótimo da opção pelo Método de Gatilho LSM: 1,42

Ponto de exercício ótimo da opção pelo Método de Gatilho LSM: 1,54

5.3

Validação do LSM utilizando o Movimento Geométrico Browniano WTI e Sondas

Quanto à análise dos fatores de risco do projeto, assumi-se que, tanto o preço do petróleo quanto a taxa de sondas, seguem um MGB. A utilização de outros processos pode não levar a melhorias significativas nos resultados, pois se eleva o custo matemático.

A utilização do MGB se deve ao comportamento não estacionário dos fatores, como mostra, em detalhes, a análise feita no item 5.3.1.1, onde se testa a hipótese de rejeição do Movimento Browniano Geométrico.

5.3.1

Análise do comportamento do WTI

Segue abaixo o gráfico 5.3 que ilustra o comportamento do ativo no período selecionado.

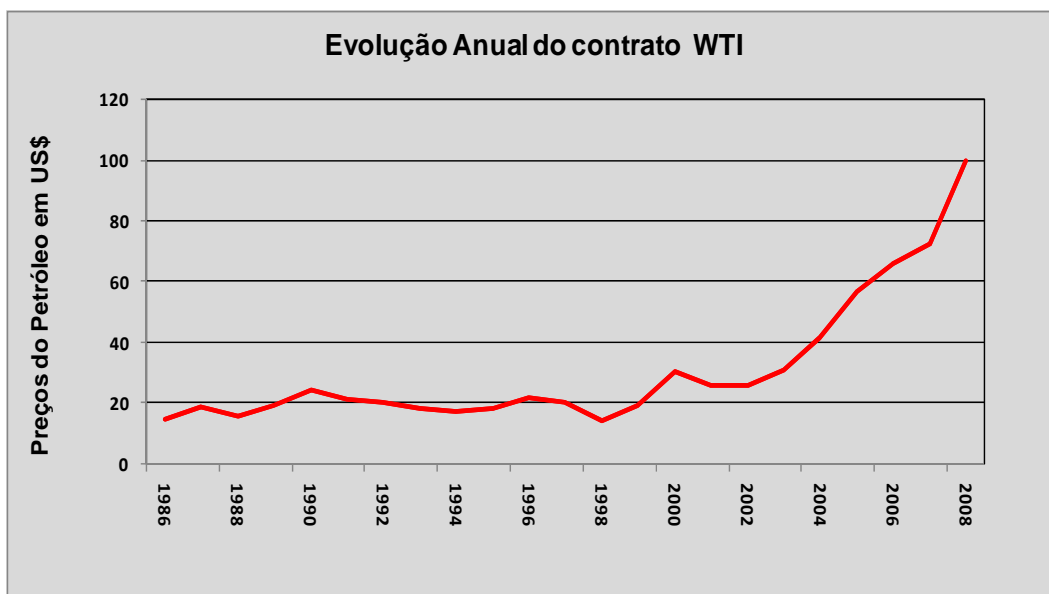


Gráfico 5.3 – Preço Spot Petróleo

Percebe-se que o comportamento dos preços, a partir de 2002, iniciou uma forte elevação e distanciou-se abruptamente da média anual chegando a atingir um máximo de 145 dólares, em 2008. Porém, em 2009, o contrato chegou a ser negociado a 37 dólares o barril. Esta variação evidencia um comportamento não estacionário da série temporal. Para corroborar, realizou-se um teste de raiz unitária Dickey-Fuller aumentado, no software Eviews 4.0, cujos resultados são expostos na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Teste de Estacionariedade do Preço do Petróleo WTI

Null Hypothesis: CAMBIO has a unit root		
Exogenous: Constant		
Lag Length: 0 (Automatic based on SIC, MAXLAG=12)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.811410	0.8118
Test critical values: 1% level	-3.489659	
5% level	-2.887425	
10% level	-2.580651	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

A hipótese da série ser estacionária foi rejeitada, evidenciando a hipótese de não rejeição do MGB. Dias (2001), em sua tese de doutorado, realizou o mesmo teste que apontaram não rejeitar a hipótese do MGB. Dixit & Pindyck

utilizaram 30 anos de dados e encontraram os mesmos resultados. Somente conseguiu-se rejeitar a hipótese do MGB nos testes em que foram usados 117 anos de dados.

Alguns autores, portanto, questionaram o uso de séries temporais tão longas argumentando que a quebra estrutural no setor, ocasionada pelos choques do petróleo e pelo aparecimento da OPEP, distorcem os resultados da análise.

5.3.2

Simulação de Preços utilizando Movimento Browniano Geométrico

O principal aspecto da abordagem é mostrar como se comportam os fluxos, levando em conta a estocasticidade dos seus componentes. A simulação dos fatores de risco via simulação de Monte Carlo permite maior flexibilidade ao analista, pois, permite a inclusão dos diferentes processos estocásticos, agregando informação para o modelo, sem perda de precisão. Neste caso, os fluxos de receita, investimento e custos seguem um processo estocástico Browniano. Como citado, o processo do preço e da sonda seguirão os mesmos parâmetros, dado a impossibilidade de utilização da série de sondas. No gráfico 5.4, simulam-se processos estocásticos correlacionados.

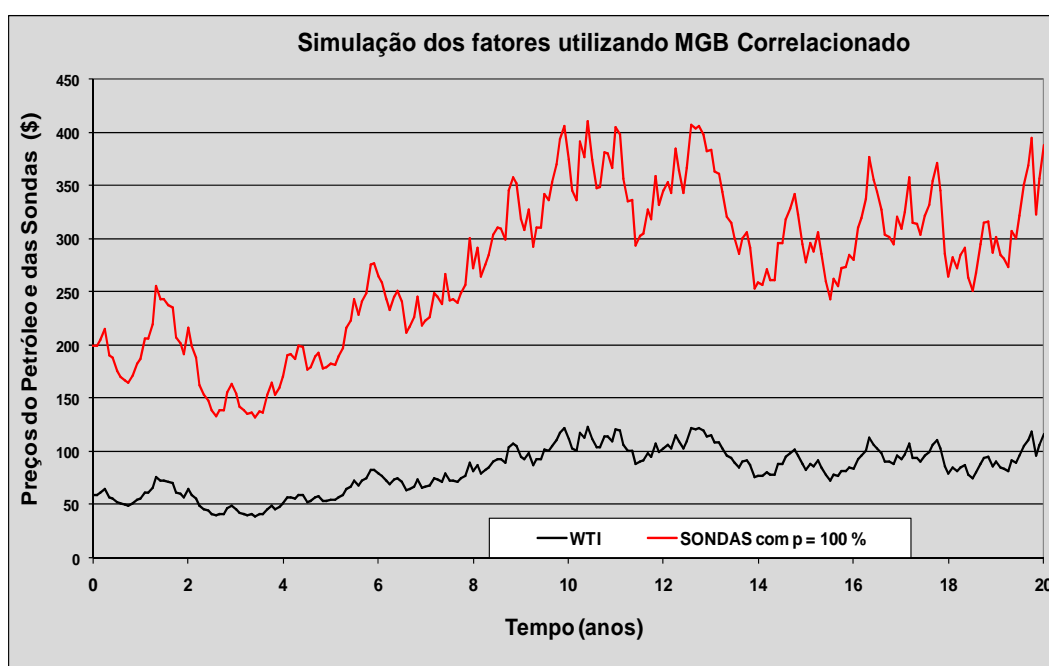


Gráfico 5.4 – Simulação de Preços utilizando Movimento Browniano Geométrico

A simulação de tais processos estocásticos é relevante à análise. O cenário mais provável para os fatores foi obtido através da simulação das variáveis estocásticas. Para a simulação, foi utilizada a seqüência de baixa discrepância de Quase Monte Carlo para, geração dos números aleatórios. Este fato confirma o exposto no capítulo 3, no qual a simulação de Quase Monte Carlo foi considerada a ferramenta mais apropriada á simulação.

5.3.3

Nível de Produção e Fluxo de Investimentos

O fluxo de produção que gerará as quantidades previstas será o mesmo obtido pela análise flat. O fluxo de investimentos antes flat, apresentará um componente estocástico, pois é composto pelas taxas de sondas de perfuração. Portanto, o volume de investimentos se eleva.

Apresentam-se, abaixo, as principais contas do fluxo de investimentos, bem como os componentes determinísticos e aleatórios.

Receita Total = Preço do WTI * Quantidade Produzida; Evoluirá segundo um Movimento Geométrico Browniano.

Investimento Total = Investimento Depreciável + Investimento não Depreciável; Evoluirá segundo um Movimento Geométrico Browniano.

Produção = Quantidade de Barris Produzida; Apresenta comportamento determinístico.

Custo Operacional = Custo Operacional Fixo + Custo Operacional Variável; O montante correspondente a taxa de sondas evoluirá segundo um Movimento Geométrico Browniano.

Royalties = Taxa de Distribuição segundo a legislação vigente; Determinístico.

Custo de Abandono = Custo após o fechamento da reserva; Determinístico.

Fluxo de Caixa Tributável = Montante do Fluxo que é tributado; Dependente do comportamento dos fatores de risco.

Tributos = Alíquota de impostos da atividade petrolífera; Determinístico.

Fluxo de Caixa Livre; Dependente do comportamento dos fatores de risco.

Valor Operacional do Projeto: Depende dessa composição de processos.

5.3.4

Simulação dos Processos Estocásticos

Para a estimação dos parâmetros do Movimento Geométrico Browniano utilizou-se as equações abaixo:

$$\alpha = N \left\{ \text{Média} \left[\ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \right] + 0,5 \frac{\sigma^2}{N} \right\} \quad (5.2)$$

$$\sigma^2 = N \left\{ \text{Var} \left[\ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right) \right] \right\} \quad (5.3)$$

A volatilidade foi obtida a partir das séries diárias de petróleo WTI, assim como o drift que foi estimado, num horizonte temporal superior ao da volatilidade. Foram obtidos para o drift e variância respectivamente 2% e 40% anualizados. Tais parâmetros foram utilizados para as simulações do MGB.

Assim, os preços seguem uma distribuição de probabilidade do tipo Log-Normal, como pode ser observada na análise do gráfico 5.5. O mesmo raciocínio foi utilizado para obtenção das diversas distribuições de probabilidade de ambos os preços. Em outras palavras, assumiu-se a mesma dinâmica do petróleo a taxa de aluguel de sondas foi simulada com os mesmos parâmetros do WTI.

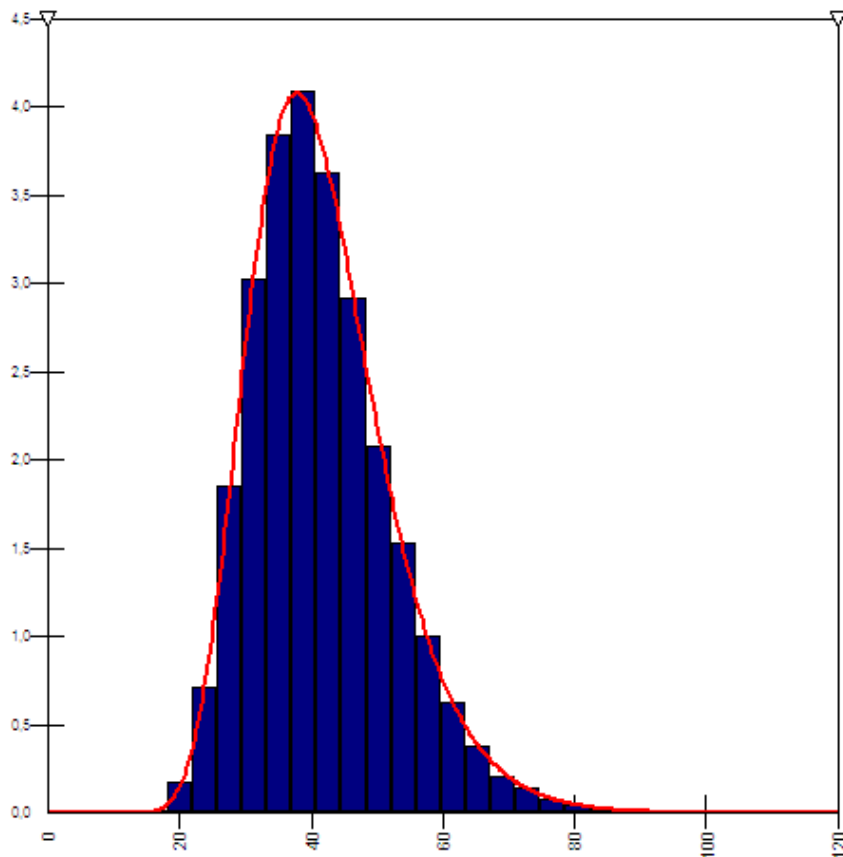


Gráfico 5.5 – Simulação da distribuição de probabilidade do WTI

A partir da média da distribuição de preços, calcula-se o cenário para preço de 2010 até 2029. O cenário de 2009 é determinístico para ambos os fatores em 40 dólares o barril, para o petróleo, e 200 mil dólares, para sondas. Os gráficos 5.5 e 5.6 ilustram, respectivamente, a distribuição de probabilidade estimada para os cenários futuros mais prováveis do preço do petróleo e da taxa de aluguel de sondas. Para ambos os processos, a distribuição encontrada foi a distribuição log-normal.

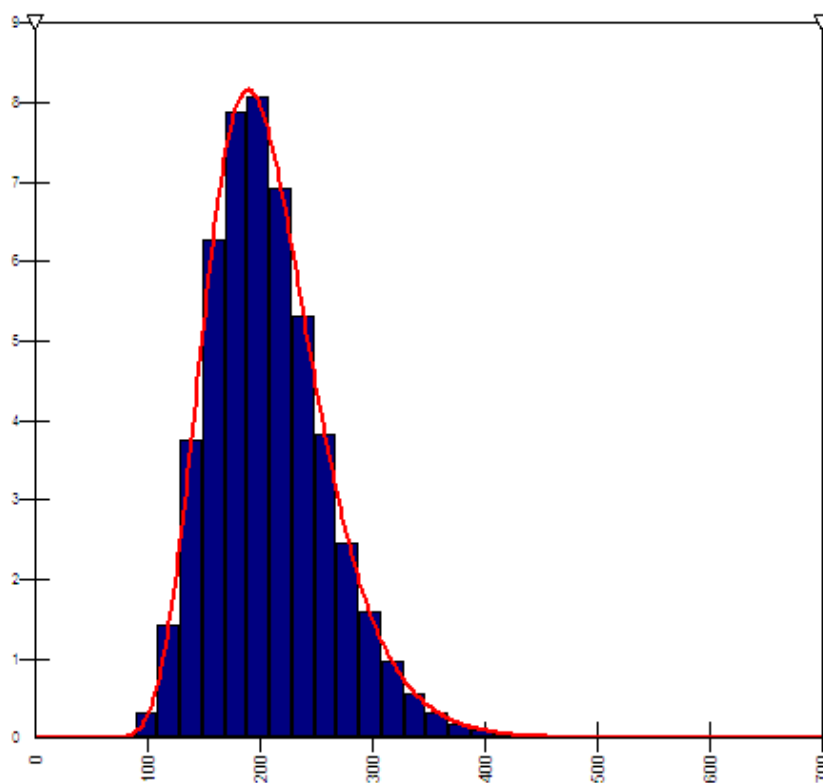


Gráfico 5.6 – Simulação da distribuição de probabilidade das Sondagens

5.3.5

Fluxo de Caixa Livre do Projeto

Introduzindo no modelo seus componentes estocásticos, percebe-se que o nível de investimento se elevou, ao mesmo tempo os custos de produção e os preços do WTI apresentaram comportamento volátil. Este mecanismo faz com que o valor Operacional do Projeto e o Fluxo de Caixa Líquido diminuam, o que faz com que o Valor Presente Líquido do Projeto fique muito próximo de zero. Na abordagem tradicional de investimentos, muito provavelmente o projeto seria rejeitado. No entanto, pela teoria de opções reais, o projeto possui valor e é um caso de interesse e se constitui a principal análise da dissertação.

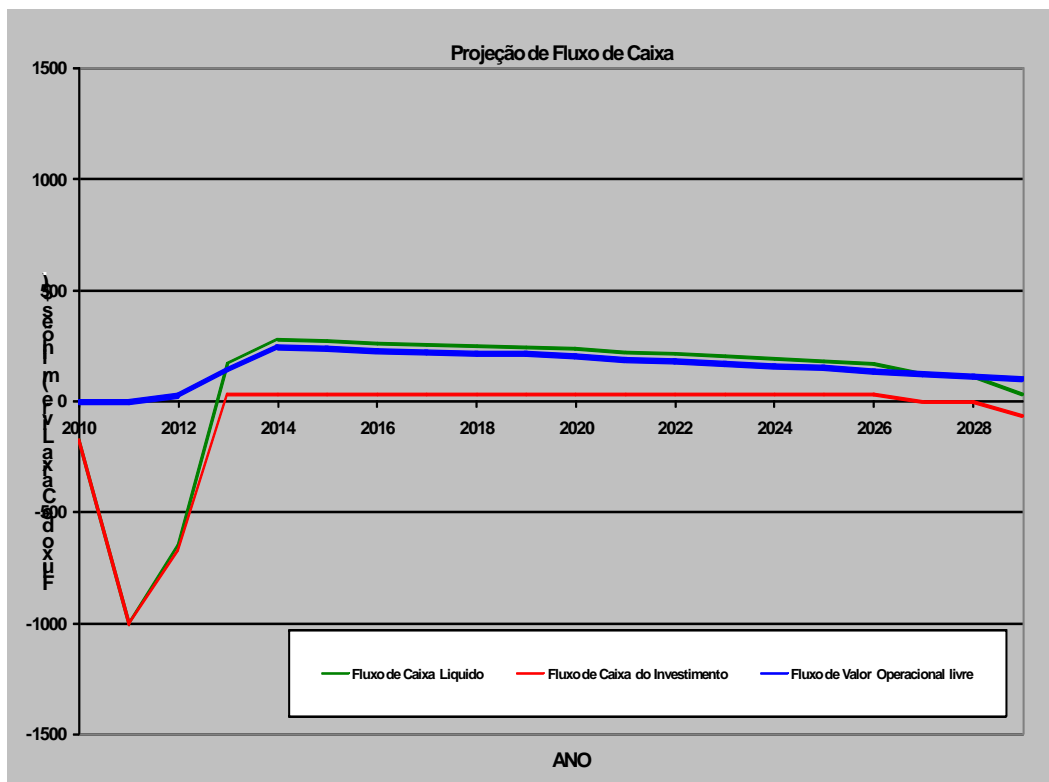


Gráfico 5.7 – Projeção de Fluxo de Caixa com fatores de risco seguindo um MGB

5.3.6

Cômputo do Valor da Opção do Projeto

Valor Operacional do Projeto: 1465,22 milhões

Investimento: 1465,22 milhões

Taxa Livre de Risco: 6% ao ano

Dividendos: 6% ao ano

Prazo para o Vencimento da Opção de Investir: 2 anos

Valor da Opção de Investir utilizando Diferenças Finitas: 281,19 milhões

Valor da Opção de Investir utilizando Monte Carlo: 279,46 milhões

5.3.7

Cálculo do Gatilho

Ponto de exercício ótimo da opção pela solução analítica 2655,06

Ponto de exercício ótimo da opção pelo método do LSM 2549,48

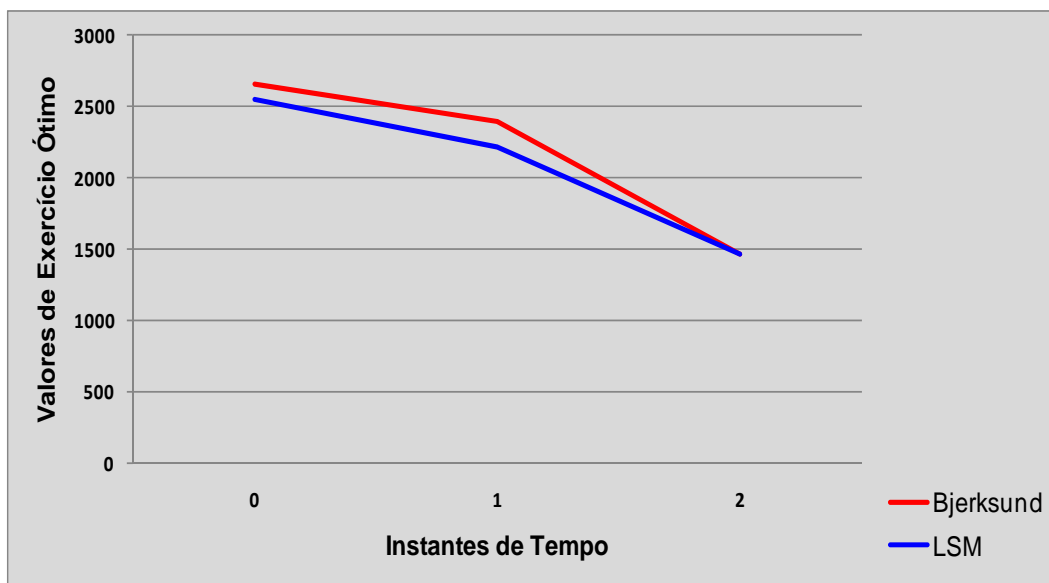


Gráfico 5.8 – Curva de Gatilho comparando solução analítica com LSM

O gráfico 5.8 mostra a resolução dos pontos da curva de gatilho para os instantes de tempo 0, 1 e 2. A análise foi elaborada de tal modo que fosse possível a comparação dos pontos de exercício ótimo da solução analítica, com o modelo de gatilho proposto. Salienta-se que a solução para curva de gatilho, pelo método LSM, foi obtida através da solução da equação abaixo.

$$f(V_{t_i}) = \hat{V}_{t_i} - C_{t_i} = [\alpha_0 + \alpha_{i1} \cdot V_{t_i} + \alpha_{i2} \cdot (V_{t_i})^2 + \dots] - [V_{t_i} - K] \quad (5.4)$$

Existem duas possibilidades para a construção do gatilho. A primeira é a construção da curva de gatilho recursiva ponto a ponto de acordo com o método de Grant Vora Weeks.

A segunda é a resolução da equação 5.4 e a determinação de suas raízes que, conseqüentemente, resultarão nos instantes ótimos de exercício da opção. Embora seja um procedimento relativamente demorado, em VBA, é suficiente e é uma boa aproximação para encontrar os pontos ótimos de exercício.

5.3.8

Análise de Sensibilidade dos Fatores da Opção

Na análise de sensibilidade do método LSM, variaram-se os parâmetros do projeto definidos no item 5.3.1.6.

O gráfico 5.9 descreve o comportamento do valor da opção com a elevação da volatilidade dos fatores de risco simulados através de um MGB.

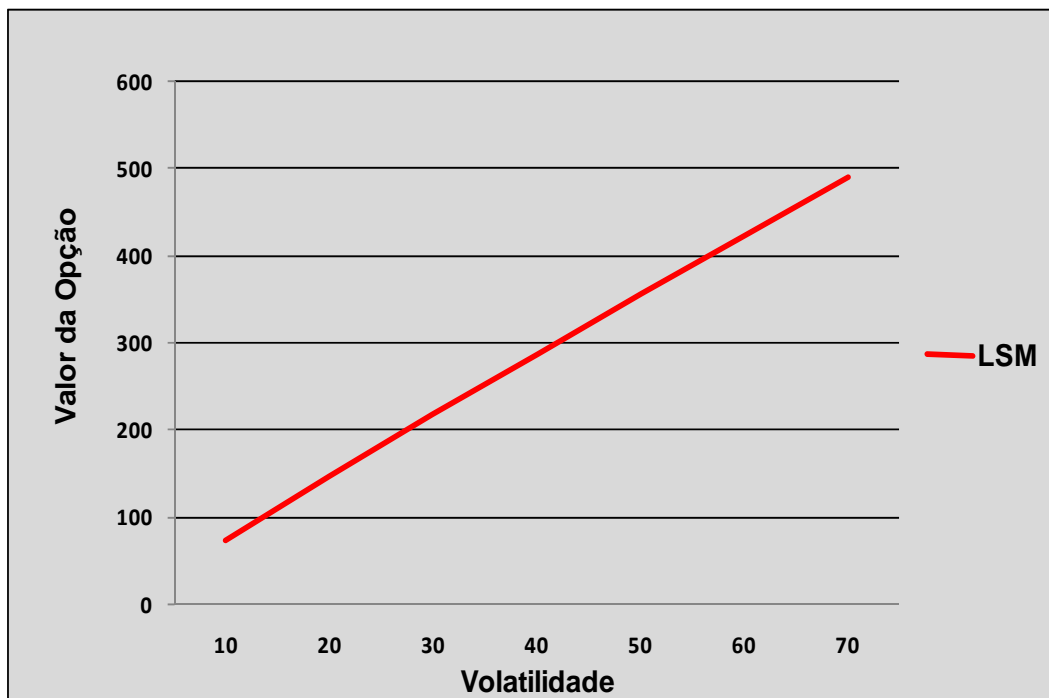


Gráfico 5.9 – Efeito da Volatilidade no Valor da Opção LSM

Verifica-se que, à medida que a incerteza se eleva, o valor da opção tende a subir. O mesmo efeito ocorre com a taxa de juros, como evidencia o gráfico 5.10.



Gráfico 5.10 – Efeito da Taxa de Juros no Valor da Opção LSM

Assim como a taxa de juros e a volatilidade, o tempo para o vencimento da opção influencia positivamente o valor da opção. Isso acontece, pois, quanto maior o prazo da opção, maior a probabilidade de que a opção seja exercida. Com efeito, espera-se que, quanto maior o tempo para o vencimento, maior é o valor da opção.

Quanto ao vencimento da opção, destaca-se que a abordagem pelo LSM não consegue se adequar perfeitamente a elevação do tempo para o vencimento, como mostra o gráfico 5.11.

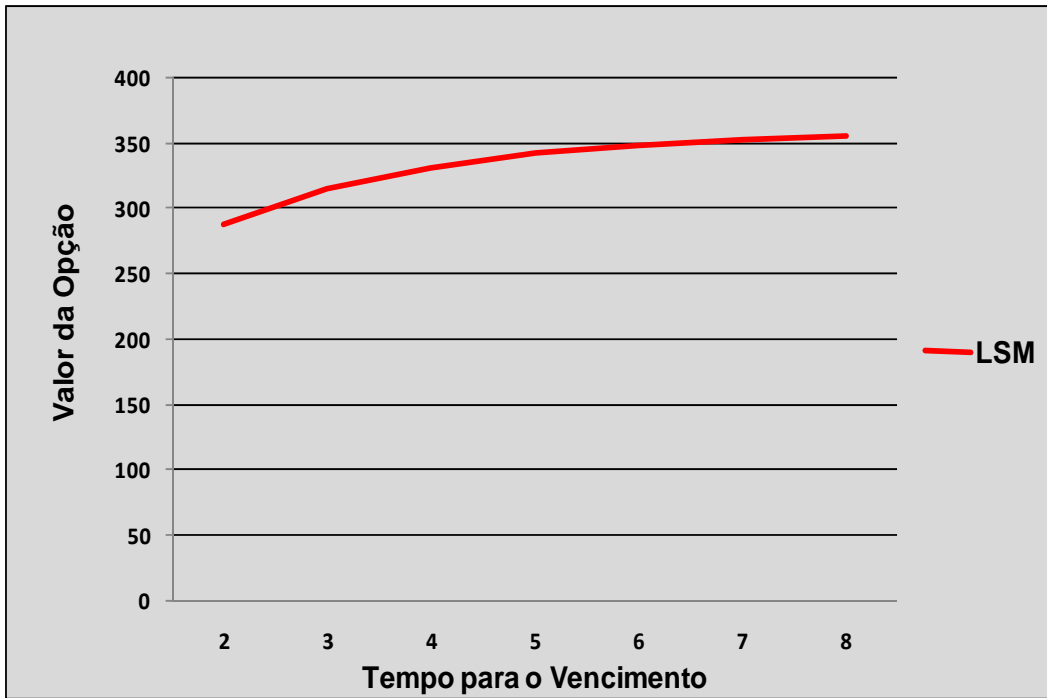


Gráfico 5.11 – Efeito do Tempo para o Vencimento no Valor da Opção LSM

Diferentemente dos parâmetros anteriores, os dividendos afetam de maneira inversamente proporcional o valor da opção. À medida que se eleva a taxa de dividendos do projeto, menor é o valor da opção, o que é bastante intuitivo.

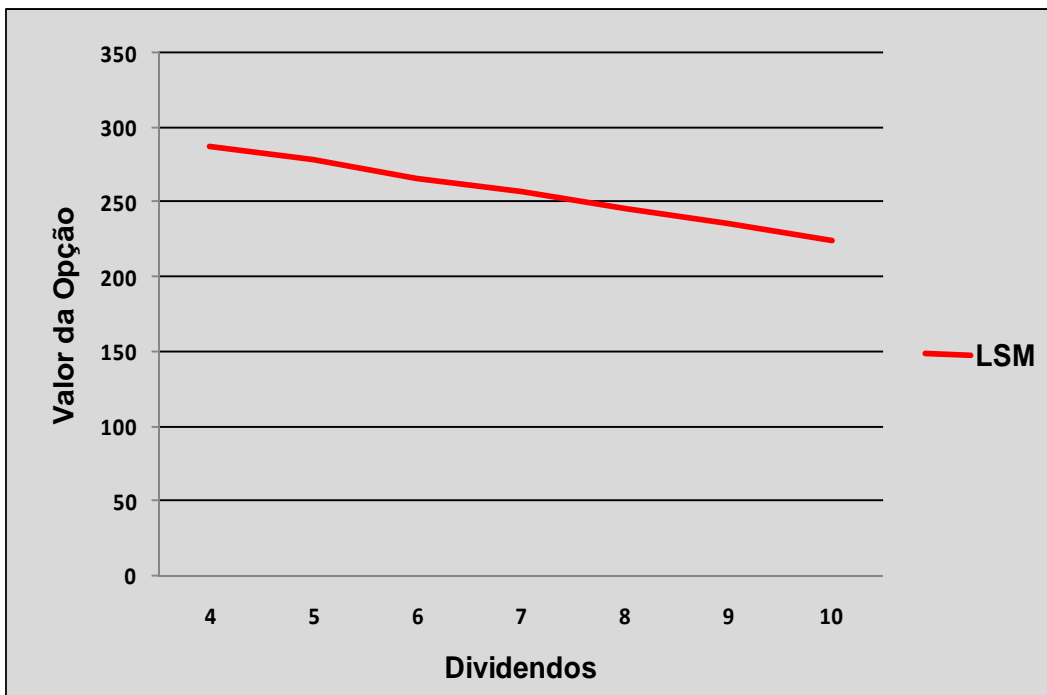


Gráfico 5.12 – Efeito dos Dividendos no Valor da Opção LSM

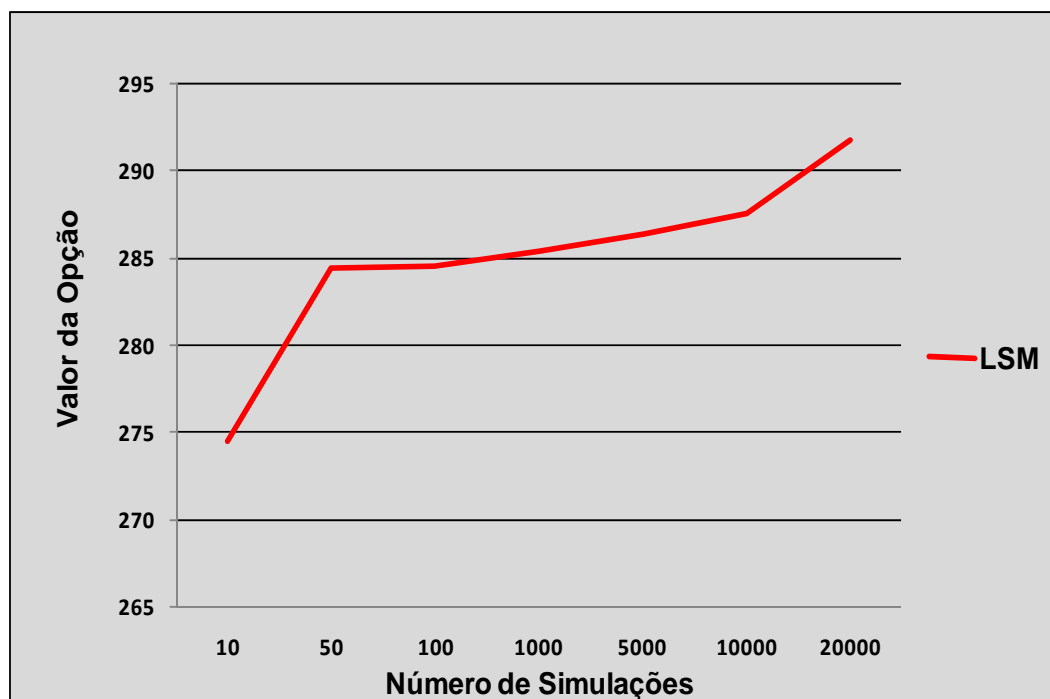


Gráfico 5.13 – Efeito do Número de Simulações no Valor da Opção LSM

O número de simulações é relevante para abordagem pelo LSM. Um dos pressupostos para convergência do método é a utilização de um número grande de simulações. A grande questão discutida na literatura é a definição exata do número de simulações que garanta a convergência do método. Dentre os trabalhos os quais abordam a precificação de opções pelo método LSM, a sugestão é que sejam utilizadas pelo menos 10000 simulações, pois resultados empíricos desenvolvidos por Araújo (2005) e Frota (2003) mostraram tal número como suficiente para garantir a convergência.

O gráfico 5.13 ilustra o comportamento da opção frente à elevação do número de trajetórias feitas para o ativo objeto. É importante salientar que, à medida que são geradas mais trajetórias, o método se aproxima mais do valor de referência.

Neste contexto, o grau do polinômio da regressão pode ser uma variável a ser estudada. Dentre os trabalhos feitos não há um consenso em relação à quantidade de graus do polinômio. Conforme sugestão de Longstaff & Schwartz (2001), utilizou-se o polinômio de grau 2.

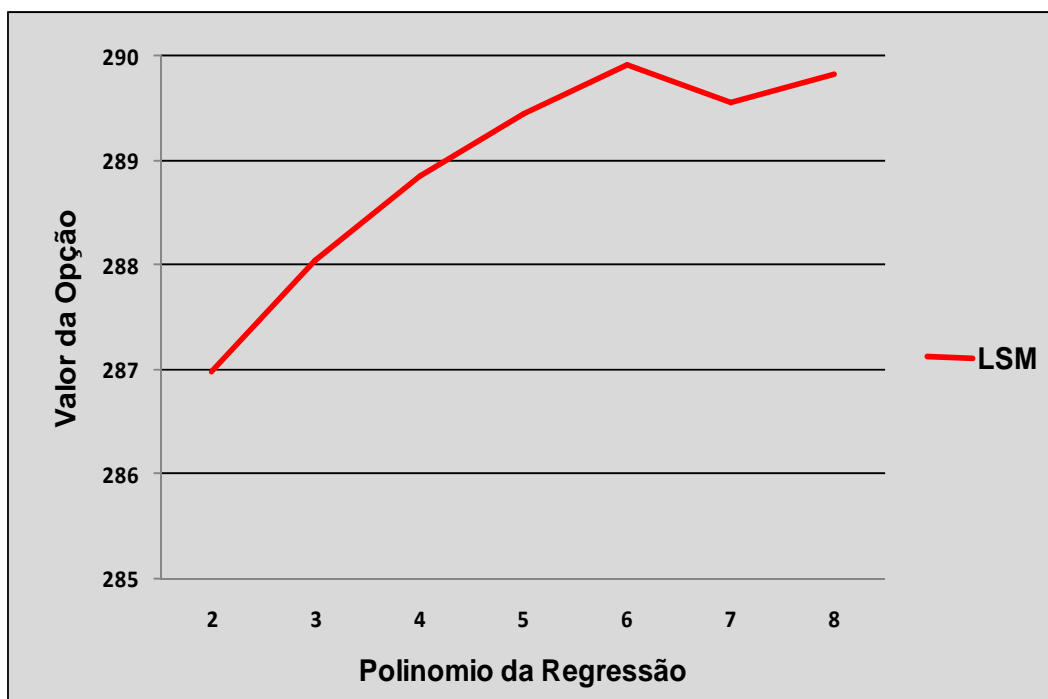


Gráfico 5.14 – Efeito do Polinômio da Regressão no Valor da Opção LSM

A utilização do polinômio de grau 2 é mais aconselhável que os de graus superiores. Tal abordagem gera uma parametrização excessiva da função de avaliação da continuidade da opção. Além de não trazer vantagens significativas em relação ao resultado desta função, resulta em erros de ajustamento da função polinomial, elevando assim seu custo computacional, bem como o aumento da possibilidade de se cometer algum tipo de imprecisão ao avaliar a função.

5.3.9

Análise Comparativa da Sensibilidade dos Principais Fatores pelos Dois Métodos

A seguir, serão expostos os resultados obtidos para o projeto, evidenciando o impacto da variação das principais variáveis do problema no valor da opção, tais como: volatilidade, prazo para o vencimento, dividendos.

Um dos principais objetivos é a viabilidade da utilização dos Mínimos Quadrados de Monte Carlo nos problemas de opções reais. Para que um método possa ser considerado apto, é necessário que o seu desempenho seja relativamente próximo aos modelos vigentes na literatura. Para tanto, é interessante uma análise

da sensibilidade através da variação dos parâmetros e do comportamento do modelo.

No gráfico 5.15, verifica-se a análise comparativa de ambos os métodos, considerando o tempo de vencimento. Percebe-se que a medida que se elevam os valores de tempo de expiração, o LSM distancia-se dos de Bjerksund.

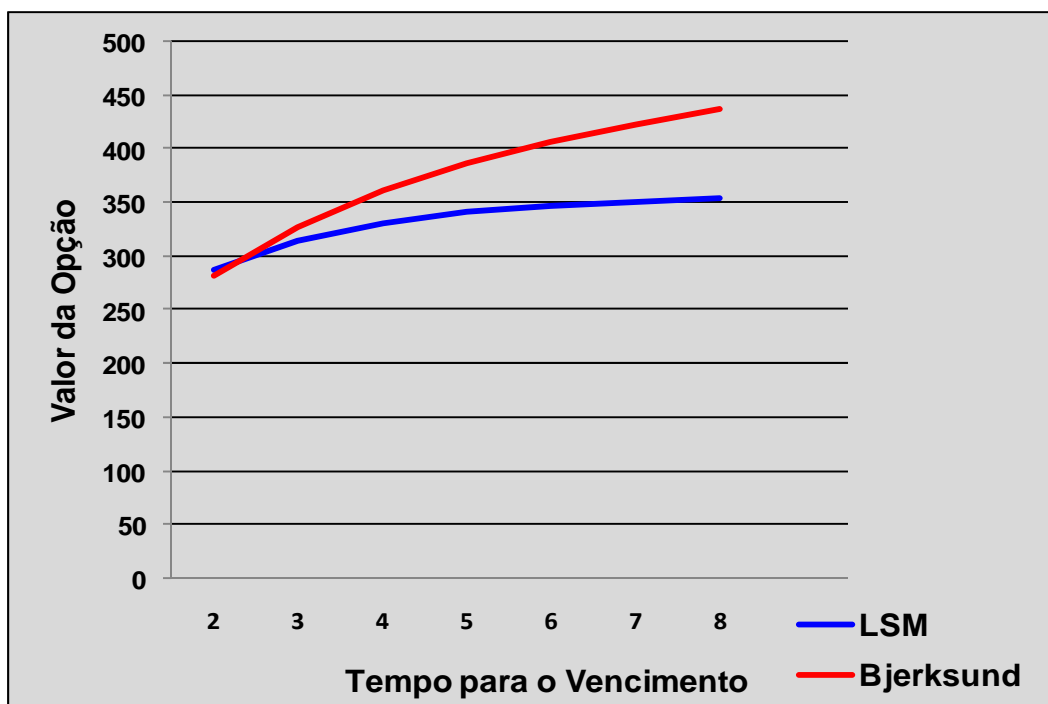


Gráfico 5.15 – Análise Comparativa do Tempo para o Vencimento

Devido a isso, testaram-se inúmeros valores para volatilidade, dividendos e taxa de juros, confirmando o resultado apresentado no gráfico 5.15.

Para a volatilidade, efetuou-se a mesma análise de sensibilidade e verificou-se que o comportamento dos valores da opção, em relação à volatilidade, se mantém estáveis à medida que este fator se eleva.

Tabela 5.2 – Análise Comparativa da Volatilidade

Resultados Comparativos			
Volatilidade	LSM	Bjerksund	Diferença
10	73,13	77,51	0,06
20	145,90	154,74	0,06
30	217,21	231,21	0,06
40	286,99	306,44	0,06
50	356,00	379,93	0,06
60	423,04	451,23	0,06
70	488,79	519,91	0,06

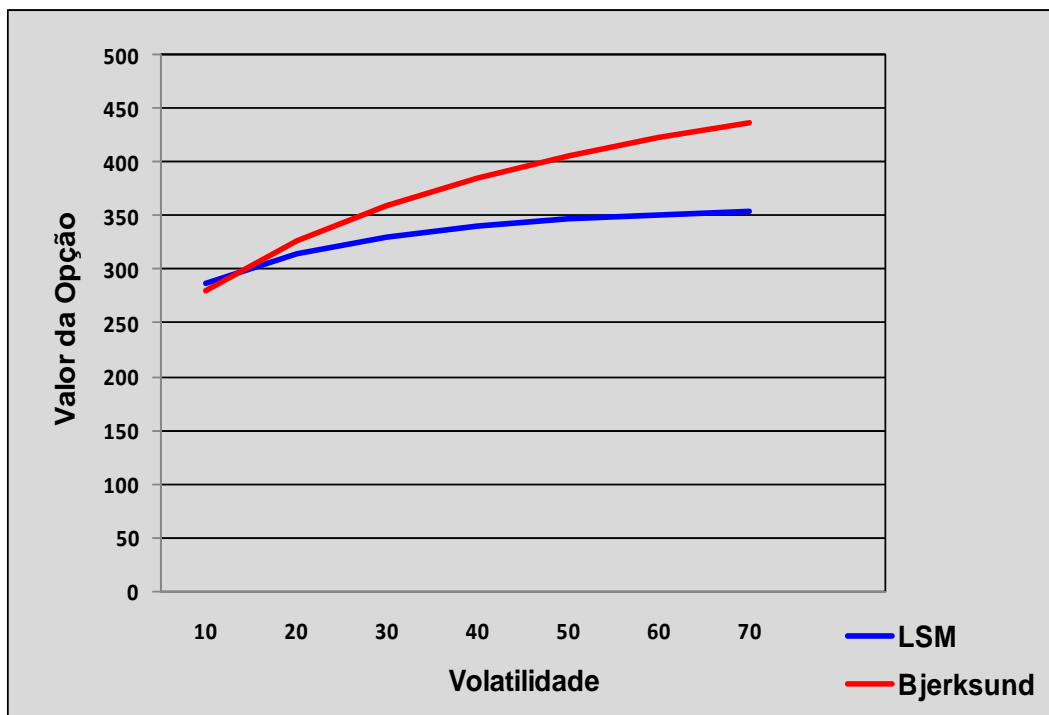


Gráfico 5.16 – Análise Comparativa da Volatilidade

Assim como a volatilidade, a taxa de dividendos também se mantém estável à medida que se elevam as taxas de dividendos.

Tabela 5.3 – Análise Comparativa dos Dividendos

Resultados Comparativos			
Dividendos	LSM	D.F.	Diferença
4	286,99	306,44	0,02
5	278,23	293,12	0,05
6	265,53	281,19	0,06
7	256,12	270,07	0,05
8	245,71	259,68	0,05
9	234,62	249,89	0,06
10	223,82	240,86	0,06

O gráfico 5.17 evidencia o comportamento da diferença existente entre os métodos. Verifica-se que este fator se mantém estável em ambos os métodos.

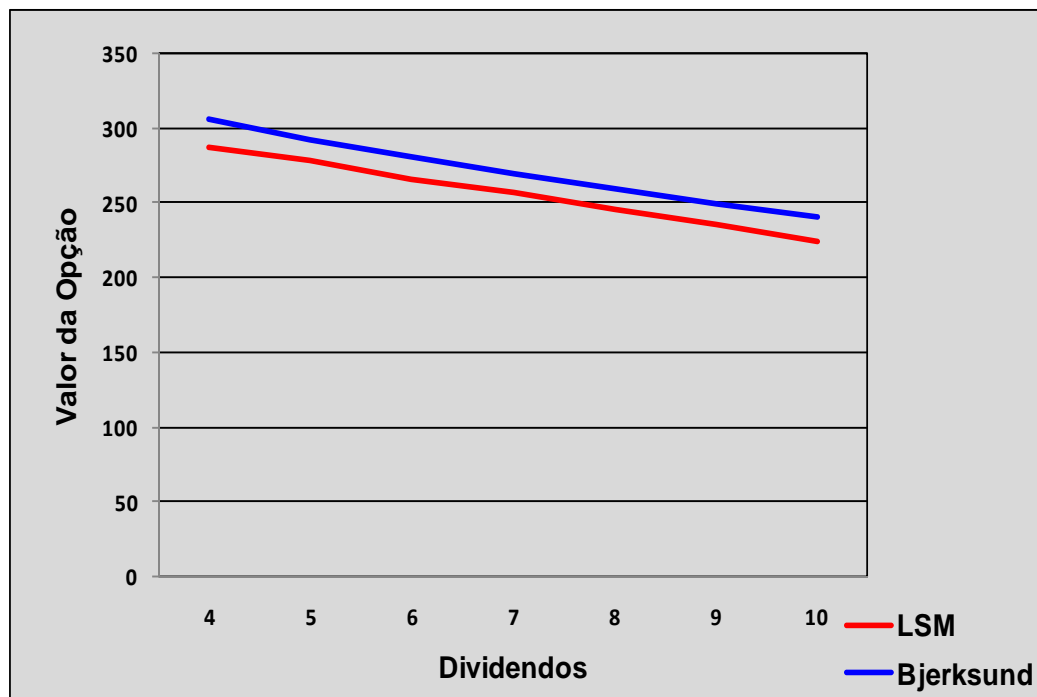


Gráfico 5.17 – Análise Comparativa dos Dividendos

O mesmo comportamento dos dividendos é verificado com a taxa de juros, como mostra a tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Análise Comparativa da Taxa de Juros

Resultados Comparativos			
Taxa de Juros	LSM	Bjerksund	Diferença
4	286,99	281,19	0,02
5	294,59	289,32	0,02
6	302,95	297,67	0,02
7	311,02	305,94	0,02
8	320,36	314,23	0,02
9	328,48	323,26	0,02
10	335,87	332,91	0,01

O gráfico 5.18 evidencia o comportamento dos métodos com a elevação nas taxas de juros do projeto.



Gráfico 5.18 – Análise Comparativa da Taxa de Juros

De modo geral, pela análise de sensibilidade, pode-se afirmar que o LSM constitui uma boa aproximação para o valor das opções. Para alguns fatores, como as taxas de juros e dividendos, o método se mostra eficiente. Quanto ao tempo de exercício, a elevação do tempo implica o aumento da diferença entre os métodos.