



IBP1089_06

OPÇÕES REAIS: UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE
INVESTIMENTOS NO SETOR DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL
Rafael Leone da Cunha¹, Thereza C. N. Aquino², Regis R. Motta³

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Este trabalho busca apresentar, de forma clara e simples, as bases que sustentam a Teoria das Opções Reais, uma ferramenta alternativa para análise de investimentos que vem, nos últimos anos, substituindo outros métodos mais tradicionais. Com uma abordagem focada para a indústria do petróleo e do gás natural, o texto mostra como a metodologia pode ser aplicada em projetos que envolvem incertezas técnicas e econômicas e busca transmitir a importância da flexibilidade gerencial na gestão do negócio, bem como introduzir essa variável na análise do projeto, agregando valor ao mesmo. Exatamente essa flexibilidade será o grande diferencial da Teoria das Opções Reais em relação ao tradicional método do Fluxo de Caixa Descontado. A base matemática empregada nos instrumentos derivativos do mercado financeiro servirá de suporte para a introdução aos cálculos do valor da opção real, cabendo ressaltar que, para os casos com maior grau de complexidade (projetos em E&P, por exemplo), a ajuda virá de métodos de solução e aproximação analítica. Por fim, a resolução de um estudo de caso de um projeto de E&P esclarece pontos sobre a aplicabilidade da ferramenta, compara os resultados encontrados por cada um dos três métodos (solução analítica, aproximação de Barone-Adesi & Whaley e aproximação de Bjerk Sund & Stensland) e comprova as vantagens da Teoria das Opções Reais sobre outras metodologias.

Abstract

The purpose of this paper is to present support for the Real Option Theory in a comprehensible and simple way, an alternative tool for investment analysis which have been replacing other more traditional methods over the past few years. This approach focuses on the oil and natural gas industry, showing the methodology application that applies in projects involving technical and economical uncertainties and point out the importance of managerial flexibility, as well as introducing this variable with added value. It is this flexibility will supply the important differential between the Real Option Theory and the traditional method of Discounted Cash Flow. The mathematical basis used in the financial market derivatives instruments that will provide support for the Real Option Value. It must be emphasized that the cases with a major degree of complexity (E&P projects, for example) contributes towards methods for solution and analytical approximation. Finally, E&P project solution of case study is clarified by the applicability of the tools by a comparison of the results found by each one of the three methods (analytical solution, Barone-Adesi & Whaley approximation and Bjerk Sund & Stensland approximation) and proves the advantages of the Real Options Theory over other methodologies.

¹ Engenheiro de Produção – ANP

² Doutoranda, Economia Mineral – UFRJ/IGEO/DGE

³ PhD, Engenheiro Civil, Professor – UFRJ/EP/DEI

1. Introdução

A Teoria das Opções Reais pode ser considerada uma das idéias mais importantes em finanças corporativas surgidas nos últimos 30 anos. É uma das mais novas ferramentas de avaliação de projetos que envolvem riscos e incertezas, e tem sido usada cada vez mais por gerentes durante o seu processo decisório. Principalmente para decisões de investimentos com horizontes de mais de um período, na maioria dos casos, a Análise de Opções Reais é superior ao tão disseminado método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), que baseia sua decisão no Valor Presente Líquido (VPL) ou na Taxa Interna de Retorno (TIR). Isso porque a flexibilidade gerencial de um projeto não é considerada quando se analisa friamente um único número, resultado dos fluxos operacionais futuros do empreendimento.

Portanto, a Análise de Opções Reais leva em conta o que o VPL não considera nem consegue considerar: o valor da flexibilidade. Num mundo de incertezas, as opções reais oferecem a flexibilidade de expandir, estender, reduzir, abandonar ou adiar um projeto em resposta a eventos imprevistos que aumentam ou diminuem o valor do ativo com o passar do tempo. Essas opções devem ser avaliadas no início de uma análise de investimentos e durante toda a vida de um projeto. O FCD, por outro lado, supõe que as opções gerenciais não existem. Embora a abordagem das opções reais esteja ganhando terreno, há décadas a medida do VPL tem sido o paradigma básico de avaliação de grandes projetos e, atualmente, quase a totalidade das grandes empresas utilizam o VPL como seu critério básico.

Essa nova teoria pode ser aplicada a qualquer tipo de indústria ou setor produtivo, desde que envolva decisões sob cenários incertos. Porém, este trabalho focará sua atenção em projetos do setor de petróleo e gás natural, com ênfase maior à etapa de Exploração e Produção (E&P), já que essa fase é a que acumula o maior grau de risco e demanda a maior quantidade de aporte de capital. Durante todo o texto serão citados casos que demonstrem a aplicabilidade da teoria na indústria petrolífera, traçando, sempre que possível, um paralelo entre ela e as indústrias de outros setores da economia.

2. Analogia entre Opções Reais e Opções Financeiras

Os princípios básicos dos modelos de precificação de opções financeiras podem ser utilizados para se criar modelos para avaliação de ativos reais que possuam características de opções. Pode-se assim, traçar um paralelo entre uma opção financeira e uma oportunidade de investimento (que pode ser chamada de uma opção real). Analogamente a uma opção financeira, uma empresa que possua uma opção real tem o direito, mas não uma obrigação, de realizar um investimento para criação de valor. Exemplos destes tipos de investimentos são projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), projetos do setor mineral e do setor de petróleo, implantação de novas plantas e *joint ventures*. A Tabela 1, adaptada de Rigolon (1999), traz as principais características desta analogia.

Tabela 1. Comparação entre opções financeiras (sobre ações) e opções reais

	Opção Financeira	Opção Real
Custo	Preço de exercício	Investimento
Ativo subjacente	Ação	Projeto
Retorno do ativo	Retorno da ação	Retorno do projeto
Ganhos de capital	Variações no preço da ação	Variações no valor do projeto
Retorno com dividendos	Fluxo de dividendos da ação	Fluxo de caixa líquido do projeto

A grande maioria dos investimentos em ativos reais (projetos) possui certas características próprias que nos permitem comparar com as opções financeiras. Dentre as características dos investimentos produtivos, três se destacam: irreversibilidade, incertezas envolvidas e possibilidade de adiamento (*timing*). Na presença dessas características, isoladas ou em conjunto, a Teoria das Opções Reais deve ser utilizada em substituição a métodos tradicionais de avaliação de ativos, como o FCD.

Essas três características podem ser sintetizadas na seguinte analogia entre a oportunidade de investimento e a opção financeira: uma firma com uma oportunidade de investimento irreversível carrega uma opção de investir no futuro (ou esperar), pois ela tem o direito (mas não uma obrigação) de comprar um ativo (o projeto) no futuro, a um preço de exercício (o investimento). Quando a firma investe, ela exerce a opção e paga um custo de oportunidade igual ao seu valor. O exercício da opção (o investimento) é irreversível, mas a firma sempre tem a possibilidade de preservar o valor de sua opção (adiar o investimento) até que as condições de mercado se tornem mais favoráveis (Dixit e Pindyck, 1994).

O exemplo em questão envolve uma opção de espera, apenas mais um dentre os diversos tipos de opções reais já definidos pela literatura acadêmica. O próximo item do trabalho é dedicado exatamente ao detalhamento desses diversos tipos de opções, com os quais um gerente se depara ao longo do tempo de vida de um projeto.

3. Principais Tipos de Opções Reais

Opções reais são flexibilidades gerenciais embutidas nas oportunidades de investimento e nos projetos em geral (Dias, 1996). Algumas dessas opções ocorrem naturalmente, são independentes da vontade do administrador, enquanto outras podem ser planejadas e incorporadas em um projeto, porém, sob um custo adicional. Dentre as opções que ocorrem naturalmente, podem ser citadas as opções de espera, de contração de capacidade, de parada temporária e de abandono. Na outra ponta, as opções que podem ser planejadas a um custo adicional. São as opções de expansão de capacidade, de mudança de uso (de um ativo como, por exemplo, uma plataforma móvel para exploração *offshore*) e de mudança de insumo. Serão descritas a seguir as opções mais importantes e comuns no setor de petróleo e gás natural: de espera, de expansão e de abandono.

3.1. Opção de Espera

A opção de espera para o investimento, também conhecida como opção de *timing*, tem um papel preponderante quando se considera o processo decisório de um projeto. Como raramente a decisão é do tipo “agora ou nunca”, o gerente pode deixar o projeto parado na sua carteira de projetos, aguardando prioridade, ou em reestudo, fazendo análise de valor ou refazendo o estudo de viabilidade técnica e econômica (EVTE), aguardando por novas informações e/ou melhores condições. Talvez o risco evitado com o adiamento do investimento tenha mais valor do que as vendas que deixariam de ser feitas sem a ampliação do negócio, por exemplo. Naturalmente, quando o projeto é muito atrativo, a espera deixa de ter valor e o gerente deve iniciar logo o investimento para capturar a receita dos fluxos de caixa o quanto antes.

3.2. Opção de Expansão

A opção de expansão pode ser também chamada de opção de crescimento ou, ainda, opção de escalonamento (seqüenciamento) de investimentos. Ela encontra grandes aplicações em projetos pilotos e em projetos de P&D. Seu propósito seria quantificar o aspecto estratégico de um projeto. Um projeto pode apresentar VPL negativo durante a análise tradicional do FCD, mas na realidade ser bastante valioso, uma vez que, com um investimento relativamente pequeno, é possível obter informações e, caso as mesmas sejam favoráveis, originar investimentos de maior porte em projetos atrativos e com reduzida incerteza técnica. Caso as informações sejam desfavoráveis, o gerente simplesmente não exercerá a opção e não fará mais investimentos. A empresa também pode investir no novo projeto em etapas. A conclusão de cada estágio criará novas opções (prosseguimento, adiamento ou abandono). Todas elas, segundo Amram e Kulatilaka (1999), agregam valor à iniciativa proposta.

3.3. Opção de Abandono

A opção de abandono encontra grande aplicação em projetos que estão em operação ou que estão parados temporariamente. Quanto maior a flexibilidade de uso alternativo de recursos do projeto ou, com outras palavras, quanto maior for o valor de revenda do ativo, mais valiosa será essa opção. Por exemplo, num projeto *offshore* de E&P com uma plataforma fixa, o abandono da mesma implica em um custo alto, enquanto que no caso de uma plataforma móvel, certamente ela poderá ser aproveitada em outro campo, seja para produção, para serviços de perfuração, completação ou manutenção de poços (*workover*). Como observa Dias (1996), dependendo da legislação vigente no país, o custo de abandono de um campo, cortando as estruturas da plataforma fixa conforme determina a lei e deixando a área livre para a navegação, pode chegar a mais de US\$10 milhões.

4. Modelo de *Timing*

Num modelo de *timing*, proposto inicialmente por McDonald e Siegel (1986) como um modelo básico de tempo contínuo para um investimento irreversível, o problema de decisão num projeto qualquer é o momento exato de realizar um investimento, sendo que este investimento deve possuir as seguintes características: (i) gastos pelo menos parcialmente irreversíveis (*sunk costs*) e (ii) possibilidade de postergação enquanto o investidor aguarda por mais informações, mesmo que essa espera tenha um custo.

Considera-se que o custo do investimento (I) é fixo e conhecido, e o valor do projeto (S) segue um movimento browniano (aleatório). Nota-se que a possibilidade de esperar por novas informações (melhores condições de mercado, por exemplo), postergando um investimento irreversível, pode afetar profundamente a decisão de investir. Assim, a regra do VPL ($S > I$) é inadequada por não levar em conta a incerteza quanto ao valor futuro do projeto e, consequentemente, desconsiderar o valor da opção de investir hoje ou esperar (custo de oportunidade). Assim, a realização do investimento deve seguir uma nova regra de decisão, $S \geq S^*$, onde S^* é o valor crítico e deve ser maior que I.

A questão fundamental deste modelo é: até que ponto é ótima a decisão de pagar um investimento por um projeto cujo valor corrente é conhecido, mas os seus valores futuros são incertos? O problema então consiste em determinar qual será o momento ótimo do projeto e qual será o seu valor nesse momento.

Sendo $F(S)$, o valor da opção (do tipo americana) de investir I; $S_t - I$, o payoff do investimento no instante T; e ρ , a taxa de desconto; o objetivo é maximizar o valor da opção de investir, ou seja:

$$F(S) = \max E \left[(S_t - I) e^{-\rho T} \right] \quad (1)$$

Onde E denota o valor esperado do ativo no instante T. O valor do ativo flutua randomicamente ao longo do tempo e o objetivo é determinar o valor máximo de $F(S)$. Utilizando um portfólio dinâmico entre $F(S)$ e S, McDonald e Siegel (1986), assim como Dixit e Pindyck (1994) mostraram que o valor da oportunidade de investir deve satisfazer a seguinte condição:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 F(S)}{\partial S^2} + (r - \delta) S \frac{\partial F(S)}{\partial S} - \rho F(S) = 0 \quad (2)$$

Onde r é a taxa de juros livre de risco e δ é a taxa de distribuição de fluxo de caixa (*dividend yield*).

Para encontrar o valor da opção de investir, $F(S)$, deve-se resolver a Equação 2, que é uma equação diferencial estocástica de segunda ordem e não-linear, considerando as seguintes condições de contorno:

i. $F(0) = 0$. Esta condição decorre do fato de que, no processo estocástico, se S atinge o valor zero, permanecerá em zero (de modo que a opção de investir terá valor nulo);

ii. $F(S^*) = S^* - I$. Esta condição diz que, ao investir, a empresa recebe um payoff líquido de $S^* - I$; e

iii. $\frac{\partial F(S^*)}{\partial S} = 1$. Esta restrição garante a condição necessária de que $F(S)$ seja contínua e suave ao redor do ponto crítico S^* . Caso contrário, poderiam existir outros pontos mais vantajosos para o exercício da opção.

A equação diferencial apresentada e suas respectivas condições de contorno apresentam diversas opções de soluções, o que torna confiável e vantajoso o uso deste modelo, já que é possível conferir o resultado obtido por um dado programa. A opção geral de solução e duas opções de aproximação analítica serão apresentadas a seguir. Entretanto, para evitar a exposição de um extenso número de fórmulas, as equações das duas opções de aproximação analítica (Barone-Adesi & Whaley e Bjerksund & Stensland) não serão mostradas em sua íntegra. Para um estudo mais detalhado, sugerimos a leitura dos respectivos artigos originais.

4.1. Solução Analítica

A solução analítica é composta por equações relativamente simples que podem determinar o valor da opção, $F(S)$, e o valor de gatilho (S^*). Como observa o livro do Dixit e Pindyck (1994), S^* não é muito sensível ao tempo se faltarem mais de 2 a 3 anos para a expiração da opção. Assim, para obter uma primeira estimativa do valor a ser ofertado numa licitação, por exemplo, a firma poderia até usar a solução analítica para esses blocos. Pode-se também usar a solução analítica para conferir os resultados de outros modelos que consideram o tempo de expiração finito, usando um tempo de expiração grande.

A solução geral pode ser expressa como:

$$F(S) = \begin{cases} AS^\beta, & \text{para } S \leq S^* \\ S - I, & \text{para } S > S^* \end{cases} \quad (3)$$

Onde β e A são constantes determinadas a partir das variáveis ρ , σ e δ :

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{(\rho - \delta)}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{(\rho - \delta)}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{2\rho}{\sigma^2}} \quad (4)$$

$$A = \frac{S^* - I}{(S^*)^\beta} = \frac{(\beta - 1)^{(\beta - 1)}}{(\beta)^\beta (I)^{(\beta - 1)}} \quad (5)$$

E o valor crítico será igual a:

$$S^* = \frac{\beta}{\beta - 1} \times I \quad (6)$$

Vale destacar que, sendo $\beta > 1$, o valor crítico S^* será sempre maior que o investimento I , reforçando o que foi dito anteriormente. Neste ponto, verifica-se que a regra tradicional de investir sempre que o VPL for positivo é bastante limitada, pois o valor do projeto dependerá de suas volatilidades.

4.2. Aproximação Analítica de Barone-Adesi & Whaley

Essa é a mais citada das aproximações analíticas disponíveis. Ela é fácil de programar, instantânea de calcular e possui um detalhado algoritmo para assegurar a rápida convergência do resultado, além de ser suficientemente precisa para aplicações em opções reais. A idéia dessa aproximação analítica é calcular a diferença entre as opções do tipo americana e européia, isto é, calcular o prêmio de exercício antecipado e depois somar ao valor da opção européia, calculado analiticamente por uma versão da equação de Black & Scholes. Observa-se que as equações diferenciais das opções americanas e européias são iguais, já que a diferença entre elas é apenas nas condições de contorno.

Em seu artigo, Barone-Adesi e Whaley (1987) concluíram então que a diferença entre elas também deveria seguir a mesma equação diferencial. Essa equação diferencial parcial (EDP) é desenvolvida e a aproximação é feita desprezando um termo, que nas situações limites valem realmente zero e para situações intermediárias tem valores pequenos, podendo ser desprezado. Assim o valor da opção de compra americana vale:

$$F(S) = \begin{cases} f(S) + A \left(\frac{S}{S^*} \right)^\beta, & \text{para } S < S^* \\ S - I, & \text{para } S \geq S^* \end{cases} \quad (7)$$

Onde $f(S)$ é o valor da opção européia na versão da equação de Black & Scholes com pagamento de dividendos, substituindo o preço de exercício pelo investimento. O valor de gatilho (S^*) é obtido através da equação não-linear, mostrada a seguir:

$$S^* - I = f(S^*) + \left(\frac{S^*}{\beta} \right) \left\{ 1 - e^{-\delta T} \cdot N \left[d_1(S^*) \right] \right\} \quad (8)$$

Essa equação 8 será resolvida por um processo iterativo. Nesse algoritmo é mostrada a aproximação do gatilho para servir de valor inicial do processo iterativo (1º valor tentativa), de forma a evitar que se obtenha uma das soluções múltiplas da equação não-linear que não tem interesse econômico. Também para a segunda iteração (2º valor tentativa), os autores sugerem uma equação em que um dos parâmetros é uma derivada, o que indica que estão usando o método de Newton-Raphson para a obtenção de uma rápida convergência. Essa convergência se dá em três ou menos iterações como foi comprovado nas simulações que foram feitas neste trabalho. A análise de sensibilidade em relação ao valor do investimento é feita de forma direta, sem precisar recalculá-lo o gatilho com o processo iterativo. Isso porque o valor do gatilho é proporcional ao custo de desenvolvimento. Logo, conhecendo-se o gatilho S^*_1 , para um investimento I_1 , se obtém diretamente o gatilho S^*_2 para o investimento I_2 , através da simples equação:

$$S^*_2 = \left(\frac{S^*_1}{I_1} \right) \cdot I_2 \quad (9)$$

4.3. Aproximação Analítica de Bjerkstrand & Stensland

Outra forma de resolução da Equação 2 por aproximação analítica foi proposta por Bjerkstrand e Stensland (1993). Tratando-se de opções com vencimentos de prazo mais longo, essa forma de resolução exige menos capacidade de processamento para os cálculos, além de trazer uma acurácia maior do que a do modelo proposto anteriormente por Barone-Adesi e Whaley (Haug, 1998).

A opção de compra americana poderá assumir os seguintes valores:

$$F(S) = \begin{cases} \alpha S^\beta - \alpha \varphi(S, T, \beta, S^*, S^*) + \varphi(S, T, 1, S^*, S^*) - \varphi(S, T, 1, I, S^*) - I \varphi(S, T, 0, S^*, S^*) \\ + I \varphi(S, T, 0, I, S^*), \text{ para } S < S^* \\ S - I, \text{ para } S \geq S^* \end{cases} \quad (10)$$

Na equação do valor da opção de compra americana, $F(S)$, os dois primeiros termos representam o componente de desconto, ou seja, o prêmio recebido pelo pagamento antecipado da opção, enquanto os quatro últimos representam o valor da opção de compra europeia.

O valor crítico (S^*) do projeto no momento em que a opção de investimento deve ser exercida é obtido a partir da fórmula:

$$S^* = B_0 + (B_\infty - B_0)(1 - e^{-h}) \quad (11)$$

No texto de seu artigo, Bjerkstrand e Stensland (1993) consideram essa estratégia bastante viável, apesar de não ser ótima. Consequentemente, o valor obtido está ligeiramente abaixo do valor real da opção. No entanto, segundo os autores, esse modelo pode servir como uma boa aproximação do resultado da Equação 2. No decorrer do artigo, há uma extensão do modelo que se aproxima ainda mais do resultado real, ao utilizar o que eles chamam de *two-step boundary method*. Por envolver um enorme número de variáveis e traduzir uma complexidade desnecessária para este trabalho, não será apresentada essa extensão da pesquisa, ficando registrado que ela está descrita na página 4 do artigo já mencionado.

5. Estudo de Caso

O objetivo desse estudo de caso (Cunha, 2005) é demonstrar, através de um exemplo hipotético, meramente ilustrativo e com premissas adotadas pelo autor, como funcionaria na prática a Teoria das Opções Reais aplicada a um projeto no setor de E&P. O modelo escolhido foi o da opção de *timing* para a escolha do momento certo de investir no desenvolvimento e produção de um reservatório petrolífero, já explorado em etapa anterior. Apesar da complexidade de cálculos e da utilização de uma considerável base matemática, estatística e financeira, esse modelo foi selecionado por ser o mais apropriado para o tipo de investimento envolvido e a etapa em que ele ocorrerá, além de ser um modelo consolidado e bem aceito na literatura. As principais premissas adotadas no modelo estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Premissas adotadas no modelo

Premissas	Valor
Reserva Provada de Óleo	100 MMbbl
Reserva Provada de Gás	15 bi m ³
Preço do Brent	US\$50,00/bbl
Preço do Gás Natural	R\$0,40/m ³
Taxa de Câmbio	R\$2,50/US\$
Investimento	R\$3,5 bi
Custo Operacional	US\$13,00/bbl
Taxa de Desconto (ρ)	18%
Tempo para Expiração (T)	3 anos
Taxa Livre de Risco (r)	8,0%
Dividendos (δ)	6,0%
Volatilidade (σ)	25,0%

A partir dessas premissas foi estimado o fluxo de caixa líquido para os 30 anos de vida do projeto, conforme indica a Figura 1. Ressalta-se que a produção foi iniciada a partir do 6º ano; porém, os investimentos serão realizados em etapas ao longo dos primeiros 14 anos.

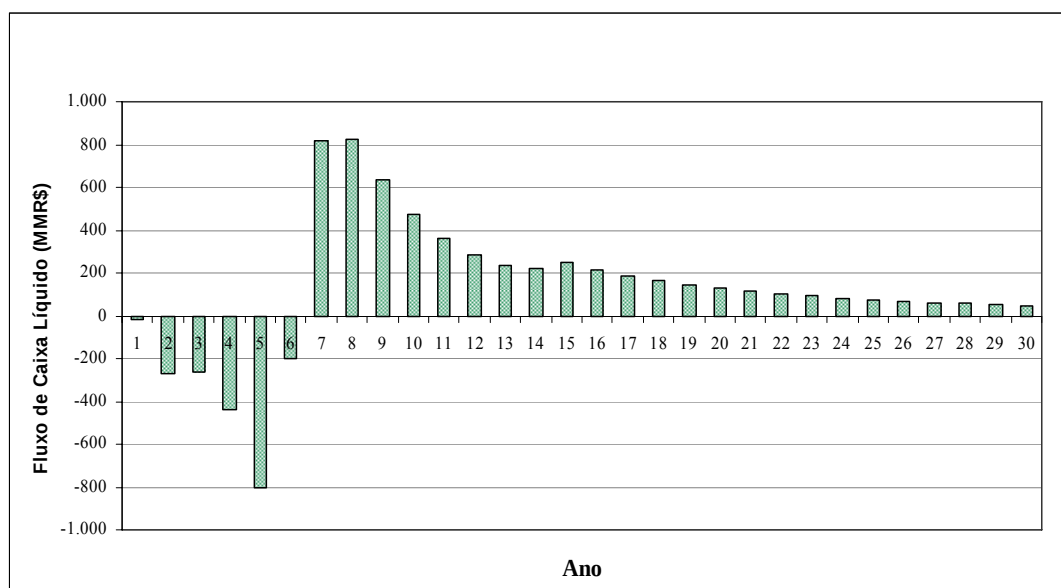


Figura 1. Fluxo de caixa líquido do projeto

Através do fluxo de caixa e, considerando o custo de capital da empresa detentora da reserva de 18% ao ano, foram obtidos o VPL e a TIR. O VPL encontrado foi negativo, equivalente a **-94,7 milhões de reais**. E a TIR, logicamente inferior a 18%, ficou em **16,3% ao ano**. Portanto, pelo método do FCD, o projeto seria rejeitado pelo investidor.

Entretanto, sob a ótica da Teoria das Opções Reais, ao incluirmos a flexibilidade gerencial e o valor da opção de *timing*, os valores seriam bem mais otimistas, como indicam os dados da Tabela 3, que também apresenta uma comparação entre as 3 metodologias de cálculo.

Tabela 3. Resultados utilizando a Teoria das Opções Reais (valores em MMR\$)

Modelo	Valor de Gatilho (S*)	Valor da Opção (F)
Solução Analítica	5.512	850,2
Aprox. de Barone-Adesi & Whaley	4.777	574,6
Aprox. de Bjerksund & Stensland	4.909	561,5

O valor de gatilho indica o momento exato de ser feito o investimento, ou seja, o instante onde o valor da opção é máximo. Por exemplo, com base no fluxo de caixa, o valor do projeto no instante presente é R\$2.686 milhões. Assim, a decisão seria esperar melhores condições do mercado e só investir quando esse patamar atingisse, digamos, R\$4.777 milhões (segundo a aproximação de Barone-Adesi & Whaley) ou R\$4.909 milhões (segundo a aproximação de Bjerksund & Stensland).

Como foi dito anteriormente, a solução analítica desconsidera o tempo para a expiração do direito de exercício da opção. Por isso, nesse exemplo cujo tempo de expiração era de somente 3 anos, seu resultado se afastou dos outros dois. Porém, em situações limites com elevado período de espera, a primeira solução pode ser utilizada com confiança.

Para corroborar essa teoria, a Figura 2 mostra uma análise de sensibilidade para intervalos maiores de tempo (até 10 anos). Observa-se também que, como destacado no item 4.3, o valor obtido pela aproximação de Bjerksund & Stensland está ligeiramente abaixo do valor real da opção.

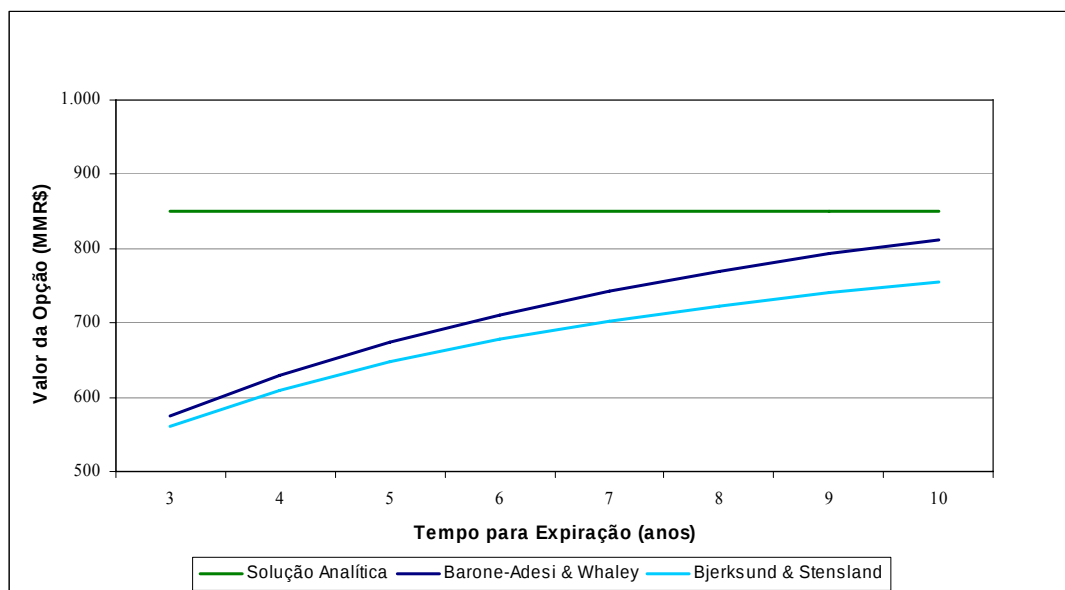


Figura 2. Análise de sensibilidade do tempo para o exercício da opção.

6. Conclusões

A moderna teoria de investimento sob incerteza, desenvolvida através da teoria das opções reais, representa uma evolução na metodologia de análise de projetos e encontra inúmeras aplicações na indústria do petróleo. O método tradicional do FCD ignora uma série de opções reais valiosas, que estão embutidas nesses projetos. O uso do FCD pode levar a erros significativos, quando a incerteza e/ou a existência de flexibilidades são relevantes no projeto, como ocorre frequentemente em projetos de E&P.

Em EVTEs, o FCD frequentemente subavalia o projeto e ao mesmo tempo recomenda o imediato investimento, quando o melhor seria esperar por melhores e novas informações antes de investir. Outras vezes o FCD rejeita projetos em que seria ótimo iniciar o investimento, tais como projetos com relevante incerteza técnica ou com opção de expansão. A técnica do FCD também leva a decisões equivocadas na priorização de projetos de *timing* diferentes, como em projetos de oportunidade *versus* projetos em que se pode esperar.

A era pós-monopólio do setor petrolífero brasileiro trouxe novos desafios e oportunidades para as empresas de petróleo. A variável “tempo de expiração dos direitos”, que antes não existia, aparece como um fator bastante importante na análise econômica de projetos na nova conjuntura. Nesse sentido, o modelo proposto neste trabalho é oportuno, pois incorpora essa variável na análise econômica, através do modelo de *timing* de investimento. Assim tanto o valor do bloco, como a regra de decisão (investir já ou esperar) são funções do tempo de expiração dos direitos. Além disso, o modelo incorpora as modernas técnicas de análise de investimento, a modelagem da incerteza econômica como um processo estocástico e o papel do gerenciamento ativo.

Talvez devido à sua maior complexidade de cálculos, envolvendo certo grau de conhecimento matemático, financeiro e estatístico, a Teoria das Opções Reais ainda não esteja bastante difundida. Contudo, o avanço tecnológico permitirá a divulgação das teorias aqui expostas e, cada vez mais, as opções reais se tornarão uma poderosa ferramenta de análise de investimentos.

7. Agradecimentos

Agradecemos o apoio recebido da ANP que, através do PRH-21, em parceria com o Curso de Engenharia de Produção da UFRJ foi responsável pelo patrocínio desta pesquisa.

8. Referências

- AMRAM, M., KULATILAKA, N. Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World. Harvard Business School Press, 1999.
- BARONE-ADESI, G., WHALEY, R. E. Efficient Analytic Approximation of American Option Value. Journal of Finance, vol. 42, June 1987.
- BJERKSUND, P., STENSLAND, G. Closed-Form Approximation of American Options. Scandinavian Journal of Management, vol. 9, 1993.
- COPELAND, T., ANTIKAROV, V. Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2002.
- CUNHA, R. L. Opções Reais: A utilização dessa ferramenta para análise de investimentos no setor de petróleo e gás natural. Projeto de Formatura, UFRJ, 2005.
- DIAS, M. A. Investimento sob Incerteza em Exploração & Produção de Petróleo. Tese de Mestrado, PUC-Rio, 1996.
- DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. Investment under Uncertainty. Princeton University Press, 1994.
- HAUG, E. G. The Complete Guide to Option Pricing Formulas. McGraw-Hill, New York, 1998.
- HULL, J. C. Introdução aos Mercados Futuros e de Opções. BM&F, São Paulo, 1996.
- MCDONALD, R. L., SIEGEL, D. R. The Value of Waiting to Invest. Quarterly Journal of Economics, vol. 101, nº 4, November 1986.
- RIGOLON, F. J. Z. Opções Reais e Análise de Projetos. BNDES, Rio de Janeiro, Texto para discussão nº 66, Março de 1999.
- SCHUMACHER, M. C. O Uso das Opções Reais na Análise Econômica de Projetos do Setor Mineral. Tese de Mestrado, UFRJ, 2002.
- TRIGEORGIS, L. Real Options and Interactions with Financial Flexibility. Financial Management, Autumn 1993.