



2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

MODELO DE DECISÃO PARA BIDS EM BLOCOS EXPLORATÓRIOS BASEADO NO HISTÓRICO DOS LEILÕES DA AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO

Guilherme Marques Calôba¹, Virgílio José Martins Ferreira Filho², Regis da Rocha Motta³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Prédio do CT, Sala F-105, Ilha do Fundão,
Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21945-870, gcaloba@mail.com

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, Prédio do CT, Sala F-105, Ilha do Fundão,
Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21945-870, virgilio@ufrj.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Prédio do CT, Sala F-101, Ilha do Fundão,
Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, 21945-870, regis@ind.ufrj.br

Resumo – Este trabalho desenvolve um modelo de decisão baseado na teoria da preferência e na análise estatística dos leilões da Agência Nacional do Petróleo. O principal objetivo será obter um valor de lance que maximize a utilidade esperada das companhias, para diversos níveis de aversão ao risco. O trabalho se inicia por uma descrição do problema, na introdução. Em seguida será feito um comentário sobre a Teoria da Preferência. Prosseguindo, o modelo estatístico usado será detalhado. Encerram o trabalho a experimentação hipotética do modelo, conclusões e recomendações para pesquisas futuros sobre o tema.

Palavras-Chave: Leilões da ANP; Otimização de lances; Análise Estatística; Análise de Risco

Abstract – In this paper we present a decision model based on the preference theory and statistical analysis of ANP bid rounds. The main goal to achieve is to obtain a value for the bidder which maximizes his expected utility, for different levels of risk aversion. The work begins with a description of the problem, as an introduction, followed by a commentary on the Preference Theory and a description of the Statistical model. Continuing, the decision model itself is described and applied to a hypothetical situation which uses, however, the historical data of the ANP bid rounds. Closing the work, conclusions and recommendations on further studies.

Keywords: ANP Bid Rounds, Bid optimization, Statistical Analysis, Risk Analysis

1. Introdução

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de avaliação para lances por blocos de petróleo em leilões tais quais os da ANP. Este modelo busca otimizar a tomada de decisão de um investidor pode ser considerado racional, ou seja, exige prêmios maiores de risco para investimentos de maior volatilidade. Em geral, modelos de análise econômico-financeira se detêm na avaliação do bloco apenas, e não em consideram o ambiente de leilão, que pode alterar significativamente os lances oferecidos.

O modelo se fundamenta em três elementos básicos: a estatística necessária para se estimar a distribuição de números de lances por bloco e do valor esperado do lance pelos blocos, a estruturação de decisões através de árvores de decisão e a teoria da preferência, que associa valores determinísticos a distribuições de probabilidade, segundo a lógica do investidor racional e a aversão ao risco.

O trabalho se inicia pela descrição das metodologias e sua aplicação nos leilões da Agência Nacional do Petróleo. Em seguida, dois modelos de decisão são colocados, um considerando que todos os competidores não possuem viés de decisão, ou seja, oferecem lances segundo a distribuição dos lances de todas as empresas, e outro considerando análise individualizada dos competidores, ou seja, considerando tendenciosidade nos lances.

Concluindo o artigo, sugestões e recomendações para próximos trabalhos.

2. Modelo Estatístico

Para obter as distribuições de probabilidade dos lances e do número de propostas por bloco foram realizados testes de aderência para diversas distribuições. O teste usado foi o de Komolgorov-Smirnov para os valores de lance, e o Chi-Quadrado para o número de propostas.

Esta análise foi limitada aos blocos das bacias de Campos e Santos. Dentre os 157 blocos licitados nos quatro leilões da ANP, 57 se localizam nesta região. Por ser a região de maior interesse e concentração de óleo no país, a análise foi restrita a esta área.

Com relação ao valor dos lances, a hipótese destes serem extraídos de uma distribuição lognormal possui bastante força na indústria atualmente. O volume de óleo em um campo geralmente pode ser considerado uma lognormal, pois é o produto de várias medidas, que podem ser consideradas, fazendo-se as devidas simplificações e aproximações, pelo teorema do limite central, distribuições normais. Assim como somas de distribuições normais distintas equívalem a uma distribuição normal, o produto de distribuições normais pode ser considerado lognormal, visto que o logaritmo da distribuição será o equivalente à soma dos logaritmos de cada parâmetro, ou seja, a distribuição dos logaritmos de tamanhos de campo terá uma distribuição normal, garantindo que a distribuição dos tamanhos de campo será lognormal.

Este resultado é, obviamente, aproximado, mas muitos testes são utilizados para validar esta hipótese. Os lances são considerados lognormais por serem proporcionais ao valor do bloco e, assim, podendo se considerar que terão as mesmas distribuições. Para maiores detalhes, Crawford (1970), Kaufman (1964) e Lorenz e Dougherty (1983) fazem uma boa descrição do processo de aproximação e justificativas para o emprego da lognormal. Este mesmo raciocínio é utilizado de forma extensa para outros tipos de reservas minerais e outras quantidades que sejam o produto de outras quantidades.

Por outro lado, para a distribuição do número de lances, não há uma distribuição apontada como a que melhor modele o comportamento. O procedimento tomado foi o de executar os testes de aderência para todas as distribuições discretas mais relevantes. Para o teste de aderência foi utilizado o *software BestFit*, da *Palisade Corporation*.

2.1 Ajustando Distribuições aos Dados

Utilizando o teste de Komolgorov-Smirnov para o conjunto de lances, encontrou-se uma lognormal como melhor opção, e aceitável ao nível de significância de 5%. A distribuição possui parâmetros ajustados para média e desvio padrão de 16,22 e 1,35, respectivamente. Deve-se ressaltar que estes valores são relativos à distribuição normal composta pelos logaritmos da distribuição lognormal. Existe uma relação direta entre média e desvio padrão logarítmicos com as médias e desvios padrões reais. Se $\log(X)$ possui média μ e desvio padrão σ , então, pelas propriedades de função geradora de momentos das distribuições de probabilidade, os valores da média e da variância da lognormal propriamente dita são dados, respectivamente, por $E(X) = \exp(\mu + 0,5 \cdot \sigma^2)$ e $\text{Var}(X) = \exp(2\mu + \sigma^2) \cdot [\exp(\sigma^2) - 1]$.

No caso do ajuste para o número de lances pelos blocos, a melhor distribuição ajustada foi a binomial negativa, de parâmetros 2 e 0,64. O número de lances efetivamente registrado nos leilões segue na tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Número de lances por bloco em Campos e Santos

Número de Lances	Frequência Absoluta	Frequência Relativa
0	24	42,9%
1	14	25,0%

2	9	16,1%
3	5	8,9%
4	3	5,4%
5	1	1,8%
6	0	0,0%
Total	56	100,0%

Possuindo as duas distribuições de probabilidade é possível calcular a probabilidade de vitória para um determinado bloco, dado um valor de bônus determinado. O lance seria vencedor se não houvesse oponente ou se todos os oponentes apresentassem lances menores que o lance proposto. Assim, ter-se-ia:

$$P(W/Y) = \sum_{i=1}^n (P(i) \cdot (G[B < Y]^n)) \quad (1)$$

Onde

$P(W/Y)$ é a probabilidade de vitória dado que o BID é Y ;

$P(i)$, $i = 0, 1, \dots, N$ é a probabilidade que 0, 1, ..., N oponentes apresentem propostas;

$G(B < Y)$ é a probabilidade de que o lance dos oponentes, modelado pela função $G(B)$ seja menor que Y .

3. Árvores de Decisão e Teoria da Preferência

Uma árvore de decisão nada mais representa que uma estruturação de uma situação em geral incerta, através de nós de incerteza e de decisão. Nos nós de decisão, caminhos a seguir são exibidos, sendo que um e apenas um destes poderá ser tomado. Esta decisão pode ser tomada a partir de vários critérios (valor presente líquido, custo, critérios sociais), que podem ser alimentados na árvore. Uma boa descrição de árvores de decisão e problemas incertos é colocada em Clemen (1996) e Motta e Calôba (2002), entre muitos outros.

Em um problema de avaliação de blocos de petróleo parece bastante adequado utilizar o valor presente líquido dos ramos da árvore como indicador. A árvore de decisão para tal problema é bastante simples: dado um lance, existe uma probabilidade de vitória. Caso não haja a vitória, a empresa sai do leilão sem gastos. Caso contrário, há uma probabilidade de que o campo seja seco, ou que não seja economicamente viável por razão de ordem tecnológica, ou outra. Se o campo possuir óleo, associa-se uma distribuição de probabilidade para o VPL do projeto, considerando todas as características de um problema deste porte. A figura 1 abaixo ilustra a árvore de decisão:

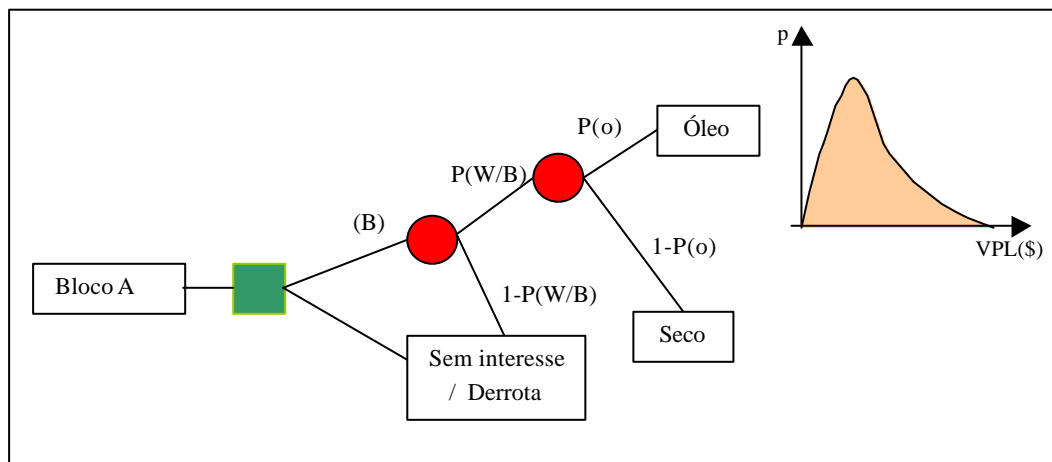


Figura 1 – Árvore de Decisão para o bloco A

Na figura, o quadrado em verde representa a decisão de oferecer ou não um lance pelo bloco. Tomada a decisão de entrar no leilão (ramo superior) um determinado bônus B é determinado. A vitória no leilão ocorre com probabilidade $P(W/B)$, segundo a fórmula 1 da seção acima. Caso se perca o leilão, não há gasto. Vencendo-se o leilão, a companhia terá ainda a possibilidade de que o campo possua óleo economicamente viável ou não. Com probabilidade $P(o)$ há óleo, segundo a distribuição lognormal colocada à extrema direita na figura 1. Se não houver óleo, a empresa perde seu bônus e mais algum custo de exploração (para detectar a ausência do óleo). Esta será a árvore de decisão utilizada neste artigo, considerando que, caso o campo esteja seco, perde-se apenas o bônus B .

Descrito o problema, deve-se buscar a opção que maximiza o Valor Presente Líquido. Para um investidor neutro ao risco, a decisão pode ser tomada pelo valor médio das alternativas, também conhecido como Valor Monetário Esperado, ou simplesmente VME. Entretanto, conforme pesquisa realizada por Walls e Dyer (1996), a indústria do petróleo tende a ser conservadora em suas decisões, ou seja, exigir prêmios de risco elevados. Estes prêmios de risco são representados pela diferença entre o VME e o valor obtido através do uso de uma função utilidade, conhecido como Equivalente Certo. O trabalho desenvolvido por Von Neumann e Morgenstern (1947), Raiffa (1968) e Keeney e Raiffa (1976), entre outros, é conhecida como Teoria da Preferência.

A função utilidade representa uma forma de penalizar resultados negativos tanto quanto maior for o parâmetro de tolerância ao risco, geralmente identificado como R. Neste caso foi empregada uma função utilidade exponencial, da forma $U(x) = 1 - e^{(-x/R)}$. Para situações cujos resultados possuem módulos muito menores que R, a decisão pode ser tomada pelo VME. Quando o módulo dos valores cresce, entretanto, a utilidade de números positivos é muito menor que a dos seus simétricos. Assim, o valor correspondente à utilidade média do investimento é bastante diferente de seu VME, e sempre menor, o que reflete a aversão ao risco das companhias. A decisão que maximiza o equivalente certo calculado segundo a tolerância da empresa é a melhor para o perfil de aversão da companhia.

Uma distribuição de probabilidade como ilustrada na figura 1 pode ter sua utilidade média calculada dividindo-se, por exemplo, o intervalo entre 0% e 100% em um determinado número de unidades e calculando a utilidade do ponto médio de cada um destes intervalos, ou a área sob a curva, e verificando suas utilidades. Tomando-se a média, chega-se à utilidade média da distribuição.

4. Modelo de Decisão e sua Aplicação

Dado seu objetivo de maximizar o equivalente certo, a empresa poderá alterar seus valores de bônus e determinar o valor para o qual seu equivalente certo torna-se ótimo. A partir da equação 1, pode ser calculada a probabilidade de vitória em um lance.

Se uma empresa conceder um lance de R\$ 40 milhões, a probabilidade de vitória será composta somando os produtos da probabilidade de n empresas se interessarem pela probabilidade de seu lance ser menor que R\$ 40 milhões. Se nenhuma outra empresa bidar (o que ocorre com probabilidade de 41%), a companhia, a princípio, levará o bloco com qualquer lance. Se uma empresa bidar, o que ocorre 29,5% das ocasiões, a probabilidade de vitória será de 82,9%, segundo a lognormal ajustada para os lances. Este último cálculo é obtido pela área entre $-\infty$ e R\$ 40 milhões na lognormal ajustada, o que é equivalente a calcular a área entre $-\infty$ e o logaritmo neperiano de 40 milhões, 17,504, na distribuição normal correspondente, descrita na seção 2.1

A otimização do equivalente certo passa a ser um problema de programação não-linear, que possuirá soluções diferentes para tolerâncias ao risco também distintas. A utilidade e o equivalente certo de cada ramo poderão ser calculados e, ponderados pelas probabilidades, indicar o bônus que maximiza o equivalente certo.

No sentido de ilustrar o modelo de decisão, um exemplo será introduzido e o lance ótimo será calculado para diversas tolerâncias ao risco.

4.1 Aplicação Hipotética do Modelo

Supõe-se que um bloco de petróleo e gás está sendo oferecido pela Agência Nacional do Petróleo na região de Campos e Santos. Estimou-se, para este bloco, uma probabilidade de inviabilidade técnica ou comercial da ordem de 25%. O VPL deste bloco, caso seja explorado, seguirá uma distribuição lognormal, com média de 100 milhões de reais e desvio padrão de 50 milhões de reais.

Para sete diferentes tolerâncias ao risco foram calculados os equivalentes certos ótimos e os lances que correspondem às mesmas. As tolerâncias vão desde uma companhia bastante aversa, com R de 10 milhões de reais até uma companhia de porte bastante significativo, com R de 1 bilhão de reais.

Na tabela 2, abaixo, apresentam-se os resultados encontrados:

Tabela 2 – Bônus ótimos para diversas tolerâncias ao risco

Tolerância ao Risco (R\$ milhões)	EqC Ótimo (R\$)	Bônus (R\$)
10	3.649.696	1
30	12.285.997	10.002.473
100	26.646.368	14.624.331
150	30.276.637	15.095.546
250	33.634.026	15.378.345
500	36.461.423	15.524.722
1.000	37.987.143	15.574.468

Verifica-se, de uma forma bastante interessante, que o Bônus que maximiza o Equivalente Certo varia desde 1 real, para uma tolerância ao risco de R\$ 10 milhões até mais de 15 milhões e meio, para a tolerância ao risco de 1 bilhão de reais.

A figura 2, abaixo, exibe a probabilidade de vitória no leilão dado o lance apresentado:

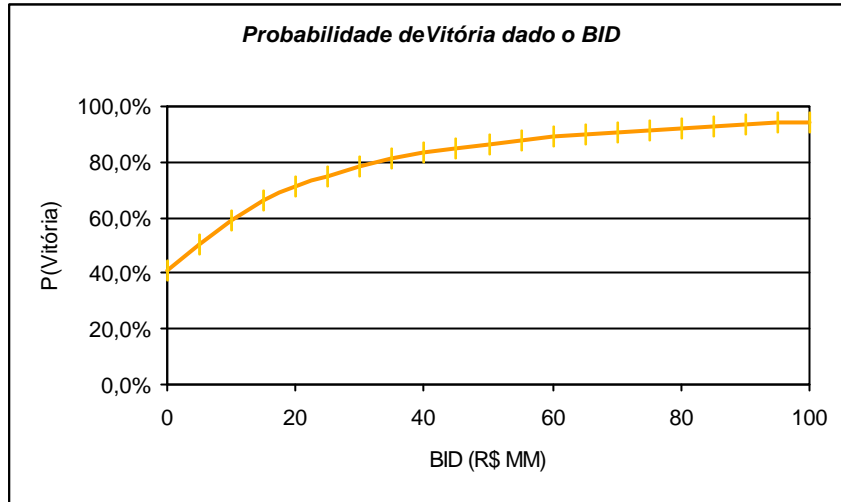


Figura 2 – Probabilidade de Vitória no Leilão

Para um bônus praticamente zerado, a probabilidade de sucesso é equivalente a de que nenhuma outra empresa participe do leilão. Esta probabilidade vai se elevando à medida que se eleva também o lance ofertado, tangenciando 100% quando o lance tende a infinito. O aumento do lance reduz, então, a probabilidade de derrota no leilão, acentuando, entretanto, os resultados desfavoráveis que poderão ocorrer após o sucesso. O ponto em que o equivalente certo é máximo representa, então, uma solução de compromisso entre estes dois fatores.

A figura 3, abaixo, ilustra, para sete valores de bônus igualmente espaçados entre 10 milhões de reais e 70 milhões de reais o Equivalente Certo para as 7 tolerâncias ao risco exibidas anteriormente:

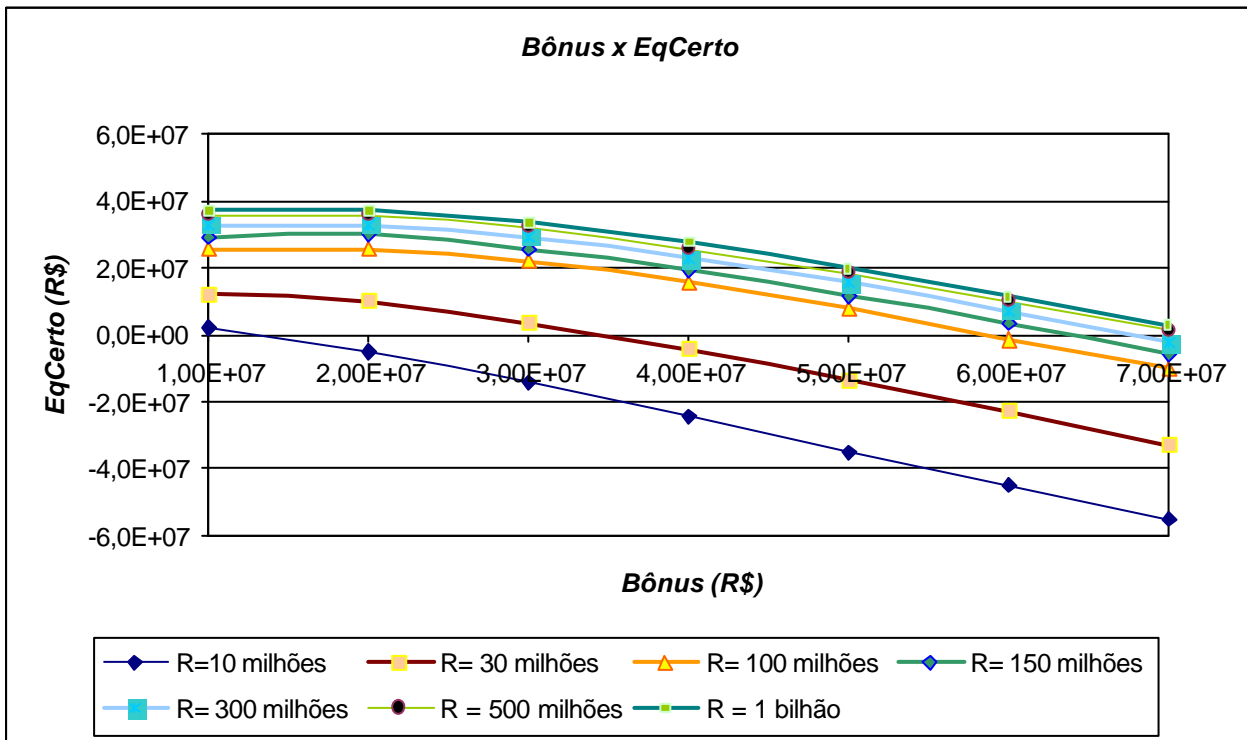


Figura 3 – Valores de Bônus e Equivalentes Certos Correspondentes

Nota-se que, para as empresas mais aversas ao risco, bônus mais elevados chegam a possuir equivalente certo negativo. Neste caso, a empresa optaria pela opção de não participar do leilão. Nota-se, também, que, à medida que a tolerância ao risco vai se elevando há uma maior proximidade entre os valores oferecidos pelas empresas.

O modelo de avaliação proposto mostra-se interessante, pois agrega à tomada de decisão o comportamento com relação ao risco e as probabilidades de vitória dado o lance, extraídas de séries históricas de lances pelos blocos nas bacias de Campos e Santos.

5. Conclusões e Prosseguimentos da Pesquisa

Neste artigo foi proposto e exemplificado um modelo para avaliação de blocos, considerando nesta avaliação critérios relativos à competição pelos blocos através das séries históricas de lances. O modelo integra as distribuições de probabilidade ajustadas às séries, as árvores de decisão e a teoria de preferência, a partir da qual pode-se tomar decisões que maximizem o valor do projeto tal qual este é percebido pelas companhias.

É interessante comentar que o modelo é de fácil implementação computacional, e pode unir análises bastante complexas, envolvendo, por exemplo, a avaliação do bloco em si, que neste artigo foi omitida, traduzida somente em uma distribuição de valores. A inovação colocada no artigo é o tratamento da série histórica brasileira de lances pelos blocos em leilões, e a aplicação de árvores de decisão integrando a avaliação do bloco e a decisão do bônus. Em geral esta última análise é omitida em textos sobre avaliação de blocos de petróleo e gás; no contexto brasileiro, de concessões em leilão, com certeza não pode ser deixada de lado.

O método foi experimentado para um bloco hipotético, e o bônus foi calculado de forma a otimizar, para diversas tolerâncias ao risco, o equivalente certo do investimento, que representa o valor percebido pelos tomadores de decisão. Os resultados encontrados são interessantes e considerados satisfatórios.

Uma linha interessante de prosseguimento da pesquisa sobre o tema é a integração do modelo aqui desenvolvido com ambientes mais complexos de avaliação dos ativos de óleo e gás, bem como o refinamento do mesmo, considerando, por exemplo, o comportamento de cada empresa individualmente, modelando a agressividade ou conservadorismo dos participantes, representado pelo fato de seus lances estarem acima ou abaixo da média da lognormal ajustada. Este trabalho foi desenvolvido por Lohrenz e Dougherty (1983). Este tipo de análise poderá se manter no ambiente aqui apresentado ou partir para um tratamento via teoria de jogos, que também será bastante interessante.

6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Agência Nacional do Petróleo, pelo apoio dado a este trabalho..

7. Referências

- CLEMEN, R., *Making Hard Decisions: An Introduction to Decision Analysis*, 2 ed, Belmont, Duxbury Press, 1996.
- CRAWFORD, P., Texas Offshore Bidding Patterns, SPE 2613, *Journal of Petroleum Technology*, Março de 1970.
- KAUFMAN, G.M., Statistical Analysis of the Size Distribution of Oil and Gas Fields, *SPE 1096*, 1964.
- KEENEY, R., RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives*, 1 ed, New York, Cambridge, 1976.
- LOHRENZ, J. e DOUGHERTY, E., Bonus Bidding and Bottom Lines: Federal Offshore Oil and Gas, *SPE 12024*, 1983.
- MOTTA, R., CALÔBA, G., *Análise de Investimentos – Tomada de Decisão para Projetos Industriais*, 1 ed, São Paulo, Editora Atlas, 2002.
- RAIFFA, H., *Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices under Uncertainty*, 1 ed, New York, Random House, 1968.
- VON NEUMANN, J., MORGENSTERN, O. *Theory of Games and Economic Behavior*, 2 ed, Princeton, Princeton University Press, 1947.
- WALLS, M.R., DYER, J.S., Risk Propensity and Firm Performance: A Study of the Petroleum Exploration Industry, *Management Science*, vol.42, n.7, pp. 1004-1021, 1996.