

## UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE TEORIA DOS JOGOS EM LEILÕES DE BLOCOS EXPLORATÓRIOS

Fernando Medina<sup>1</sup>, M.SC, Virgílio José Martins Ferreira Filho<sup>2</sup>, D.SC.

<sup>1</sup>COPPE /UFRJ, Cidade Universitária – CT – bloco D – sala 118,  
[fmedina@ind.ufrj.br](mailto:fmedina@ind.ufrj.br)

<sup>2</sup>COPPE /UFRJ, Cidade Universitária – CT – bloco F – sala 105  
[virgilio@ufrj.br](mailto:virgilio@ufrj.br)

**Resumo** - Este artigo tem a finalidade de descrever uma metodologia de busca da melhor estratégia a ser escolhida por uma empresa em um leilão, onde ocorre uma disputa por campos de petróleo e gás em regiões exploratórias. Baseado nos resultados de *rounds* anteriores, para uma dada área específica, no caso a Bacia de Campos, foi feito um tratamento estatístico de dados para se estimar uma função de distribuição de probabilidade, que represente uma tendência de oferta de valor para as empresas licitantes. Através de técnicas e conceitos pertinentes à Teoria de Jogos, foi construída uma matriz de saldos para valores de ofertas realizadas pelas firmas em função da participação das mesmas em supostas rodadas licitatórias. Ao final de cada disputa, os participantes desse jogo simultâneo, utilizando o princípio da racionalidade, procuram arrematar o campo de petróleo pretendido, através do uso de melhores respostas em relação ao seu rival. O jogo tem como principal objetivo maximizar o retorno dos investimentos nas decisões de compra dos blocos nos leilões ou, ainda, procurar minimizar o ganho de seus oponentes. Prosseguindo com o trabalho, desta vez, adotando probabilidades para cada uma das possíveis estratégias a serem utilizadas, fez-se uso da abordagem conceitual de Equilíbrio de Nash. Dessa maneira, foi permitido determinar o valor esperado dos resultados alcançados para cada tomador de decisão, que por sua vez, considerou o emprego de estratégias ótimas contra seu oponente.

Palavras-chave: Leilões de Blocos Exploratórios; Jogos de Estratégia; Equilíbrio de Nash.

**Abstract** - This article describes a methodology to determine the best strategy in an open bid, where oil and gas fields are the targets for exploration. Based upon the previous bid rounds for a given specific area – the Campos Basin, for that matter –, the data were statistically treated to fit a probability density function, modelling the value of bids offered by the competing companies. By means of techniques and concepts pertaining to Game Theory a balance matrix was built for values of bids made by companies as a function of the company alones in assumed bid rounds. At the end of each british auction, participants of this simultaneous game, using the rationality principle, aimed at winning the tender on the oil field aimed for, through the use of better answers with respect to its rival competitor. The game goal was maximize return on investment purchase in the decisions of lease blocks purchases in the auctions, or to try minimize its opponents gains. Proceeding with the work, this time, adopting probabilities for each of the possible strategies to be utilized, the Nash Equilibrium conceptual approach was used. Therefore, the expected value of the reached results for each decision taker, was determined which in turn considered applying optimal strategies against its opponent.

Keywords: Auctions of Exploratory blocks; Games of Strategy; Nash Equilibrium.

## 1. Introdução

A indústria brasileira do petróleo e gás vem atravessando uma nova fase na sua história. O fator principal desta mudança foi devido à Lei do Petróleo (Lei 9478 de 1997), que flexibilizou o monopólio da Petrobras na exploração, produção, importação e transporte de petróleo e gás natural. Uma das conseqüências imediatas deste processo de desregulamentação foi a criação de leilões promovidos pela Agência Nacional de Petróleo (ANP). Nas últimas quatro rodadas de licitações, foi ofertado um grande número de blocos, contendo possíveis reservas de hidrocarbonetos e gás para a exploração e produção, gerando um ambiente de competição entre diversas companhias petroleiras nacionais e estrangeiras, para a aquisição daquelas possíveis áreas. Para este trabalho, foram utilizados os resultados dos lances (bônus de assinatura) dados pelas firmas para blocos situados na Bacia de Campos e foi estimada uma curva de tendência de oferta, que possibilitou determinar os lances em função da participação das empresas. Com estas estimativas, em uma outra etapa, foi elaborado um jogo estratégico empregando a descrição de técnicas e conceitos utilizados para a procura da melhor escolha para um jogador em relação às decisões de seus oponentes. Complementando o estudo, por intermédio da teoria de Equilíbrio de Nash, foi determinado um equilíbrio entre respostas ótimas dentro da perspectiva de um dos adversários, considerando, inclusive, o uso de uma estratégia mista.

## 2. Revisão da Literatura

A Teoria dos Jogos foi primeiramente estudada pelo matemático francês Émile Borel. A forma moderna da teoria, conhecida como a teoria clássica dos jogos, entretanto, é trabalho de John Von Neumann e Oskar Morgenstern (1953), desenvolvedores dos fundamentos matemáticos que tornaram possível o desenvolvimento e expansão da teoria e de sua aplicação. Através de pesquisas realizadas para a busca de aplicações e conceitos presentes na teoria de jogos, na área de petróleo e gás, foram encontradas algumas referências que serviram de base para a elaboração deste estudo. Em *Alpha Prospecto Exploration Game*, originariamente criado por Cardwell (1979), e modificado posteriormente por Toro (2001), é possível conhecer métodos que são usados na pesquisa por petróleo no mundo. Cada *player* pode interpretar a superfície geológica, gerar prospectos, comprar áreas, e perfurar poços, enquanto compete com os outros oponentes.

“Um Jogo de Petróleo para a Simulação de Preços” (Vicente, 2001) em um modelo, cujo principal objetivo é realizar uma simulação da variação de preços em função da relação entre oferta e demanda. Desta forma, era estimulada a formação de cartéis entre firmas. O resultado encontrado é uma curva de preços similar à histórica.

Uma aplicação de jogo estratégico na área de petróleo é o *Oil Game* (Calôba e Motta, 2000), que foi concebido com a intenção de incentivar a tomada de decisão, considerando eventos com incerteza. A escolha do setor de petróleo, que possui altos investimentos, foi devido a possibilidade de executar comparações entre este setor e os demais setores da economia, em relação à escolha estratégica de projetos, e como negociar o risco envolvido nos processos decisórios.

Em “Simulação de Atividades ‘A Montante’ (*Upstream*) da Indústria do Petróleo” (Bettini e Azambuja, 2000), é representada a participação de empresas em um ambiente de disputa por blocos exploratórios. São descritas circunstâncias presentes durante leilões, como por exemplo: estratégias, investimentos em mercados financeiros, etc. Foi reproduzida, a fase de obtenção de informações geológicas das áreas em questão.

## 3. Coleta de Dados

A obtenção dos dados foi realizada no endereço eletrônico da ANP. Para efeito de estudo, foram consideradas apenas as empresas que ofereceram lances individuais, ou em consórcios com outras empresas. Nem todas as empresas interessadas, nem todas as que pagaram a taxa de participação conseguiram alcançar todas as exigências da Agência Reguladora, ou seja, as habilitações técnica, jurídica e financeira, como pode ser visto na Tabela 1. Por outro lado, nem todos os blocos que foram ofertados pela Agência tiveram seus contratos de concessão assinados, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 1. Resumo das rodadas anteriores.

<b>Informações sobre o Número de Empresas Participantes</b>				
	<b>Rodada 1</b>	<b>Rodada 2</b>	<b>Rodada 3</b>	<b>Rodada 4</b>
<b>Total de empresas interessadas</b>	<b>58</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>35</b>
<b>Empresas que pagaram taxa de participação (%)</b>	<b>72</b>	<b>98</b>	<b>96</b>	<b>91</b>
<b>Empresas habilitadas (%)</b>	<b>66</b>	<b>86</b>	<b>91</b>	<b>83</b>
<b>Empresas que apresentaram ofertas (%)</b>	<b>24</b>	<b>55</b>	<b>57</b>	<b>49</b>
<b>Empresas vencedoras (%)</b>	<b>19</b>	<b>33</b>	<b>48</b>	<b>40</b>

Tabela 2. Total dos blocos oferecidos e adquiridos.

<b>Blocos Licitados e Concedidos, e Total de Bônus de Assinatura</b>				
	<b>Rodada 1</b>	<b>Rodada 2</b>	<b>Rodada 3</b>	<b>Rodada 4</b>
<b>Blocos licitados (Geral)</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>53</b>	<b>54</b>
<b>Blocos concedidos (%)</b>	<b>44</b>	<b>91</b>	<b>64</b>	<b>39</b>
<b>Bônus de Assinatura para BM-C (R\$)</b>	<b>149.644.987</b>	<b>171.928.218</b>	<b>130.555.876</b>	<b>28.644.126</b>

### 3.1. Distribuição do Valor dos Lances

À luz da experiência de modelos de leilões competitivos (Hartsock e Butler, 1977), foi feito um tratamento estatístico dos dados para encontrar uma função de probabilidade que representasse os lances para uma dada área da Bacia de Campos. Foi utilizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov, que fez a comparação entre os valores da curva gerada com os de outras funções de distribuição, para um melhor ajuste de dados. Ao término deste último processo, obteve-se um *ranking* de curvas ajustadas com seus respectivos parâmetros. A curva lognormal, que teve melhor ajuste, está na Figura 1. No eixo das abscissas estão os valores dos lances em intervalos de classes, enquanto no eixo das ordenadas estão expressas os valores de probabilidades.

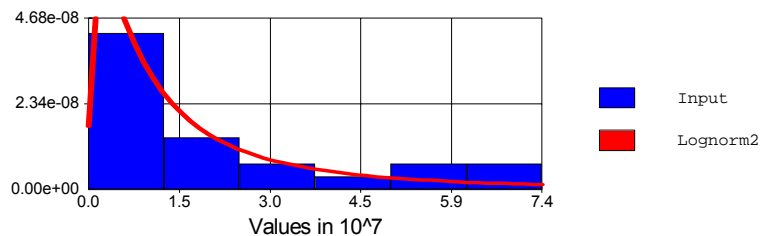


Figura 1. Curva de distribuição de lances nos leilões da ANP para a Bacia de Campos.

## 4. O Jogo

O propósito de um jogo é fazer com que os participantes sejam capazes de compreender melhor os processos complexos e sutis de comportamento em ambientes organizacionais e educacionais (Barton, 1973). Desta maneira, foi feita uma tentativa de simplificar a realidade, na qual foi considerado um contexto de decisão entre dois jogadores (ou agentes), sendo o primeiro, uma empresa qualquer, denominada de Empresa X, e o segundo, o próprio mercado. Este último, podia ser constituído de consórcios entre firmas, de maneira que uma entre elas era escolhida para ser a operadora do bloco, em caso de êxito, ou por uma única empresa adversária (operadora exclusiva). A intenção da formação de consórcios reside, na prática, para mitigar os riscos dos investimentos envolvidos (Motta e Calôba, 2002).

As regras estabelecidas para o jogo são conhecidas por todos os jogadores. Para cada um dos participantes do leilão, entendido como um jogo estratégico de soma zero, e com movimentos simultâneos entre os participantes, foi feita a suposição de três ações estratégicas para pagamentos de 10%, 50% e 90%, para um dado campo ofertado. Um jogo é dito de soma zero, se um dos jogadores experimenta um sucesso e o outro o fracasso (Chiang, 1982). A Tabela 3 apresenta os valores de lances, obtidos da análise estatística anterior, para estes percentuais escolhidos.

Tabela 3. Percentuais de oferta e valores de lances das firmas em função da participação em leilões de blocos.

<b>Percentuais de Oferta</b>	<b>Lances Aproximados (em R\$)</b>
<b>10%</b>	<b>2.500.000</b>
<b>50%</b>	<b>11.800.000</b>
<b>90%</b>	<b>55.000.000</b>

### 4.1. Elaboração da Matriz de Saldos

De forma a estudar as estratégias do jogador, foi fixado um patamar de R\$ 100 milhões para um retorno máximo no jogo. Conforme o percentual de oferta para uma dada área, o benefício era dado pela diferença entre aquele teto máximo e o lance a ser ofertado o que pode ser visto na Tabela 4. Cada saldo calculado foi alocado na Matriz de Saldos, presente na Tabela 5, através de pares ordenados, representando os resultados esperados para os jogadores.

Tabela 4. Saldos para estratégias adotadas (valores expressos em R\$ milhões).

Tipo de Estratégia	Saldo = Retorno - Lance
Estratégia para 10%	$(100 - 2,5) = 97,5$
Estratégia para 50%	$(100 - 11,8) = 88,2$
Estratégia para 90%	$(100 - 55) = 45,5$

Tabela 5. Matriz de Saldos (valores expressos em R\$ milhões).

		Mercado		
		10%	50%	90%
Empresa X	10%	(97,5 ; 97,5)	(97,5 ; 88,2)	(97,5 ; 45)
	50%	(88,2 ; 97,5)	(88,2 ; 88,2)	(88,2 ; 45)
	90%	(45 ; 97,5)	(45 ; 88,2)	(45 ; 45)

A matriz da Tabela 5, permitiu a comparação entre alguns saldos concebíveis logicamente do leilão. Os valores daqueles resultados foram chamados de saldos dos jogadores. O jogador, que ofereceu um lance maior em cada rodada, acabou levando a área. A Matriz de Saldos Nominais, vista na Tabela 6, identifica melhor quem foi o vencedor .

Tabela 6. Matriz dos Saldos Nominais.

		Mercado		
		10%	50%	90%
Empresa X	10%	(empate ; empate)	(derrota ; vitória)	(derrota ; vitória)
	50%	(vitória ; derrota)	(empate ; empate)	(derrota ; vitória)
	90%	(vitória ; derrota)	(vitória ; derrota)	(empate ; empate)

#### 4.2. Estratégia Ótima

A partir da matriz de saldos nominais foi iniciado à busca do pagamento esperado para cada jogador, conforme as estratégias puras escolhidas, ou seja, aquelas não associadas a probabilidades. Uma estratégia é entendida como um conjunto de escolhas disponíveis. Todos os agentes escolhiam a melhor resposta para uma reação, também ótima, do seu oponente. “Isto é a suposição do comportamento racional” (Dixit e Skeath, 1999).

Após a estruturação da Matriz de Saldos, foram determinadas as estratégias dominantes e dominadas. Foi iniciado um processo de eliminação sucessiva de estratégias dominadas para cada agente. Pela Tabela 6, nota-se que as estratégias, para pagamento de 10 %, eram consideradas estratégias dominadas, pois apresentavam os piores resultados, ou seja, duas derrotas para cada agente. Estas ações dominadas foram prontamente descartadas, dando origem à Matriz de Saldos, observada na Tabela 7, somente sob a ótica da Empresa X.

Tabela 7. Matriz de Saldos sob a ótica da Empresa X (valores expressos em R\$ milhões).

		Mercado	
		50%	90%
Empresa X	50%	(88,2)	(36,65)
	90%	(45)	(45)

Em caso de perda da Empresa X, o valor a ser ofertado pela área é aplicado no mercado financeiro (*spot*) com uma taxa de juros simples de 12% ao ano. Por exemplo: se o Mercado utiliza a estratégia de 90% contra a de 50% da Empresa X, esta perde a disputa e aplica o valor R\$ 11,8 milhões no mercado spot (taxa de 12% ao ano), tendo um montante capitalizado de R\$ 36,65 milhões ao final de 10 anos. Normalmente em caso de empate, o agente com maior pontuação dentro de um conjunto de critérios estabelecidos pela ANP (exemplo: comprometimento de realizar investimentos nacionais, maior número de perfuração de poços, etc) arremata o bloco.

A partir daí, são propostos dois casos para a determinação do valores ótimos do jogo: no primeiro, faz-se uso da teoria de Equilíbrio de Nash; no segundo caso, utiliza-se a abordagem de estratégias mistas.

#### 4.3. Caso 1: Otimização dos Valores e Equilíbrio de Nash entre Estratégias Ótimas

Tomando-se a Matriz de Saldos sob o ponto de vista da Empresa X (Tabela 7), e na hipótese desta ter maior pontuação, em caso de empate, no uso de ambas as estratégias em comparação ao Mercado, o objetivo é buscar os

retornos esperados em função das estratégias adotadas. Para tanto, o jogo será modelado como uma otimização *minimax*. O método *minimax*, representado na Tabela 8, modela a situação em que os jogadores são pessimistas sobre suas chances de alcançar bons resultados. Isto é, cada oponente decide, na maioria das vezes, pela estratégia que impede o seu adversário de atingir sucessos durante as jogadas. Assim sendo, a Empresa X imagina que para cada uma de suas estratégias, o Mercado escolhe a melhor ação visando o menor valor de saldo para a empresa, que por sua vez, deseja escolher a estratégia que possibilita maiores saldos entre os menores (*maximin*), ou seja, o máximo entre os mínimos. Similarmente, o Mercado acredita que, para cada uma de suas estratégias, a Empresa X escolhe as estratégias para conseguir maiores saldos para si própria, e por isso, o Mercado deve decidir pelas estratégias de menores saldos entre os maiores (*minimax*). Quando um elemento é tanto um *maximin* como um *minimax*, tal elemento é a própria solução do jogo. Neste caso, tanto a Empresa X quanto o Mercado, escolhem como estratégia ótima àquela na qual o pagamento é de 90%. O jogo de disputa de blocos tem um saldo resultante de R\$ 45 milhões.

Tabela 8. O método *minimax*.

		Mercado		
		50%	90%	
Empresa X	50%	(88,2)	(36,65)	Min = (36,65)
	90%	(45)	(45)	Min = (45)
		Max = (88,2)	Max = (45)	

O Equilíbrio de Nash é o equilíbrio entre as escolhas das melhores alternativas decisórias. Para esse jogo de compra de áreas exploratórias, as estratégias *maximin* e *minimax* de pagar 90% são as ações ótimas dos jogadores. Na Matriz de Saldos, os valores dessas estratégias estão na mesma célula, sendo, portanto, o Equilíbrio de Nash do jogo.

#### 4.4. Caso 2: Estratégias Mistas

Neste caso, é considerada a hipótese do Mercado ter uma pontuação superior à da Empresa X, somente no caso de empate em uma disputa de um campo que envolve grandes investimentos e, pelo qual interessa adotar a estratégia de pagar 90%. Esta empresa, para não deixar o dinheiro parado, aplica o valor do lance ofertado no mercado *spot*, tendo um montante de R\$ 170,82 milhões. Os valores sob a ótica da Empresa X estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9. Nova Matriz de Saldos (valores expressos em R\$ milhões).

		Mercado		
		50%	90%	
Empresa X	50%	(88,2)	(36,65)	Min = (36,65)
	90%	(45)	(170,82)	Min = (45)
		Max = (88,2)	Max = (170,82)	

Neste caso, como os valores *maximin* e *minimax* não são os mesmos, o jogo não tem um equilíbrio entre estratégias ótimas e puras disponíveis para os participantes desse novo jogo. Então, para a determinação do equilíbrio entre estratégias, é necessário expandir o conjunto de ações disponíveis para os *players*, optando pela inclusão de estratégias mistas. Foi considerado, novamente, o ponto de vista da Empresa X. Para a estratégia de pagamento de 50%, foi fixado uma probabilidade  $p$  e, para a outra estratégia de pagamento de 90%, o complemento  $(1-p)$ . A estratégia mista  $p$ -mix é uma mistura das duas estratégias. A Empresa X espera que o Mercado escolha a estratégia que minimize as chances de sucesso de seu rival. Para achar a melhor escolha de  $p$ , é necessário olhar para o valor de  $p$  que maximize o menor dos saldos entre todos os valores possíveis de  $p$ , de acordo com a Tabela 10. Os saldos associados com a nova estratégia mista são os valores esperados a serem determinados.

Tabela 10. Matriz de Saldos para estratégia mista da Empresa X (valores expressos em R\$ milhões).

		Mercado		
		50%	90%	
Empresa X	50%	(88,2)	(36,65)	Min = (36,65)
	90%	(45)	(170,82)	Min = (45)
	$p$ -mix	$88,2p + 45(1-p)$	$36,65p + 170,82(1-p)$	Min = ?

Com o auxílio do gráfico (Figura 2), através da intercessão das duas equações de saldos esperados de *p-mix* pode ser determinado o valor de *p*, o valor de equilíbrio do jogo ( $p = 0,7$ ). Logo, o saldo esperado da estratégia mista é R\$ 75,24 milhões. Este valor corresponde à percentagem de sucesso para a Empresa X, para a estratégia combinada. O complemento, R\$ 24,76, é o ganho do Mercado.

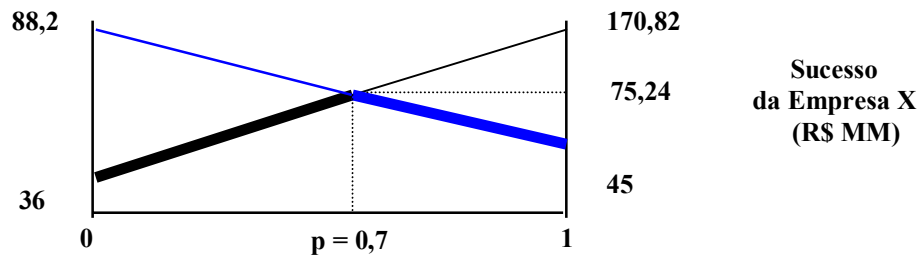


Figura 2. Diagrama de Solução para a estratégia *p-mix* da Empresa X.

## 5. Conclusão

O processo de tomada de decisão é muitas vezes a principal diferença entre o sucesso e o fracasso de um negócio, ou de uma disputa em geral. Neste estudo, foi demonstrado uma aplicação da Teoria de Jogos na avaliação da melhor estratégia a ser utilizada por agentes em um ambiente de disputa, através de lances ofertados para a concessão de áreas exploratórias, mas especificamente na Bacia de Campos.

Foram recolhidos resultados de leilões de blocos exploratórios realizados pela ANP, que serviram de amostra para um tratamento estatístico para a obtenção de uma função de distribuição de probabilidade que representasse os valores das ofertas em função do percentual de participação de empresas. Foi proposto um jogo estratégico entre uma empresa e o mercado. Tal justificativa serviu de base para a aplicação de alguns conceitos e técnicas utilizadas em Teoria dos Jogos. Aqueles competidores eram inteligentes o suficiente para escolher as melhores estratégias contra seus adversários. Foi construída uma matriz de saldos sob a ótica da empresa para estruturar o jogo. Num primeiro momento, buscou-se achar o Equilíbrio de Nash entre decisões ótimas por meio do método de otimização *minimax*. Em uma outra oportunidade, sob a hipótese de uma nova matriz de saldos, foi feita uma outra análise considerando o uso de estratégias combinadas para se atingir aquele equilíbrio e determinar o valor esperado do jogo.

## 6. Agradecimentos

Esta pesquisa conta com o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e do CTPetro/FINEP através do programa PRH-ANP N° 21.

## 7. Referências Bibliográficas

- [1] BARTON, RICHARD F. Manual de Simulação e Jogo. Editora Vozes LTDA, p.285, 1973.
- [2] BRADY, CHRISTOPHER; BRADY, TARA C., Regras do Jogo: Como Jogar e Vencer no Mundo dos Negócios, Editora Futura, São Paulo, 2002.
- [3] BETTINI, CLÁUDIO; AZAMBUJA, NILO C. FILHO. Jogo Simulação de Atividades A Montante (*Upstream*) da Indústria do Petróleo, 2000.
- [4] CALÔBA, GUILHERME ; MOTTA, REGIS DA ROCHA. Jogo OIL GAME, 2000.
- [5] CHIANG, ALPHA C., Matemática para Economistas, Editora McGraw-Hill: Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.
- [6] DIXIT, AVINASH; SKEATH SUSAN, Games of Strategy, W.W. Norton & Company , New York, 1999.
- [7] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Endereço eletrônico: [www.anp.org.br](http://www.anp.org.br).
- [8] HARTSOCK, JAMES H.; BUTLER, J. R.; Member SPE-AIME, Competitive Bidding Model That Uses Historical Data, paper 6358, SPE –1977.
- [9] MARTINS, GILBERTO DE ANDRADE, Estatística Geral e Aplicada, Editora Atlas S. A., São Paulo, 2001.
- [10] MOTTA, REGIS DA ROCHA; CALÔBA, GUILHERME MARQUES, Análise de Investimentos: Tomada de Decisão em Projetos Industriais, Editora Atlas S. A., São Paulo, 2002.
- [11] TORO, J; CARDWELL, LYNN A., *Alpha Prospector Exploration Game*, WVU, 2001.
- [12] VICENTE, PAULO. Jogos de Empresa. Editoras MAKRON Books do Brasil Ltda, 2001.
- [13] VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. Theory of games and economic behaviour, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1953.