

Aplicação da Teoria da Utilidade nas decisões da construção naval

Marcos Fernando Garber é Mestre em Engenharia Naval e professor do curso de Administração do Centro Universitário FECAP.
e-mail: mgarber@usp.br

Móyses Szajnbok é Doutor em Engenharia e professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP).
e-mail: lumamin@usp.br

Resumo: Este artigo busca, principalmente, analisar metodologias utilizadas para o aperfeiçoamento das decisões na indústria naval e de exploração de petróleo e gás, fazendo com que a sensibilidade dos profissionais seja aguçada, aumentando a percepção do processo de decisão e diminuindo a possibilidade de erros de avaliação. Se as condições do problema variarem, após o processo de auxílio à decisão ser implementada, recomenda-se aos projetistas e armadores decidirem se convém executar novamente o processo.

Palavras-chave: Teoria da Utilidade, construção naval, tomada de decisão.

Abstract: *This article seeks, specially, to study some methods to belong better the naval industries' decisions. It makes that the professionals have more perceptions into the decisions' process. This fact increases the wrongs' probabilities. If the problems' conditions change after this process, it is necessary to execute the process again.*

Key-words: *Utility Theory, naval construction, decision-make*

A decisão sobre a construção de instalações exploratórias do petróleo no mar considera as instalações flutuantes de produção, de estoque e de descarga para os meios de transporte do petróleo extraído. A instalação deve servir como suporte dos equipamentos de perfuração e de extração, além da planta de processamento.

Entre as dificuldades para a tomada de decisões, apontadas por CLEMEN (1981) em "Making Hard Decision", é mencionada a sensibilidade do modelo ao objetivo pretendido por quem toma a decisão, mesmo quando aplicada determinada sistemática, ou seja, como é desejável, a solução depende do que se quer. Tais dificuldades podem ser minimizadas com o uso de teorias de apoio à decisão; como se vê em Samson, no seu "Managerial Decision Analysis" encontra-se a afirmação: "A humanidade tem tomado decisões fazendo uso do bom senso, heurística ou em forma intuitiva. Somente neste século a teoria da decisão tem surgido como um elemento de auxílio à decisão".

A função utilidade é ferramenta matemática que permite interpretar o sentimento de satisfação do indivíduo ou decisores da empresa, permitindo que a solução atenda tanto o critério de maximização de lucros como o da satisfação.

As características do comportamento se apresentam, segundo três possíveis perfis básicos: neutro, arrojado e conservador; é possível identificar outros comportamentos, como combinação das três formas básicas.

1. Um Problema De Construção Naval.

1.1 O Problema Proposto

Existe um campo de petróleo e gás a ser explorado e disponibilidades para investir na exploração para a qual são oferecidas três opções. A primeira consiste na construção de um FPSO novo; a segunda e terceira são opções que utilizam cascos

de petroleiros existentes, um deles com quinze anos de vida remanescente e o outro com oito. Os tempos requeridos para o início das operações e o custo dependem da solução adotada.

1.2 Objetivos do trabalho

O trabalho tem dois objetivos: determinar a melhor escolha do sistema flutuante e a seleção de compra se houver mais de três ofertas de fornecimento.

Admite-se que será adotado o sistema flutuante de produção, estocagem e descarga de petróleo e gás, o conhecido FPSO (Floating Production Storage and Offloading System). Quer-se determinar a solução que torne máximo o valor de retorno do investimento, considerados o prazo para o início da operação, a duração estimada da exploração, a capacidade da instalação avaliada pela eficiência do processo de extração face à faixa de utilização imposta, bem como as decorrentes do estado da tecnologia.

O tempo estimado de duração da exploração depende: do volume da jazida; da quantidade, vazões e disposição dos poços a atender; da infra-estrutura do sistema, isto é, do tipo e forma da montagem dos conjuntos de risers, bóias e sistema de ancoragem.

O segundo objetivo, supondo que há mais de três ofertas para implementar a solução encontrada, é determinar qual é a melhor delas, considerando como critérios os custos; o estado da estrutura; a vida útil remanescente (durabilidade); o prazo de entrega e a possibilidade do reaproveitamento do sistema selecionado. Além desses, poderiam ser considerados outros critérios, conforme as conveniências de cada situação.

1.3 A Metodologia

Para o primeiro objetivo, são considerados os tempos necessários para a entrada em operação do sistema, a duração da vida útil das alternativas e o tempo estimado para extração do petróleo da jazida.

Para o cálculo da produção, são levadas em conta as proporções típicas dos tempos em que cada nível de produtividade é alcançado com relação à capacidade nominal da instalação. O retorno da opção é função da produção e dos investimentos requeridos para a sua construção.

Para a escolha da solução procurada, aplica-se a árvore de decisão (GARBER, 2002), iniciando sua construção com os ramos que indicam as várias opções; o extremo de cada ramo é dividido segundo os dois “Estados da Natureza” que caracterizam as condições do sistema requeridas para o cálculo dos seguintes intervalos: desde o início da implementação da solução até o início da exploração de um lado, e de outro, desde a entrada em funcionamento do FPSO até o final do tempo estimado para a exploração do campo.

Adotado um perfil de produtividade, o resultado de cada opção depende da duração de cada um dos seus “estados da natureza” e da estimativa do investimento requerido.

Obtidos os resultados, aplica-se uma função utilidade para cada um dos três tipos de perfil de comportamento, correspondentes às preferências do investidor: conservador, neutro e arrojado.

Se houver mais de três propostas para implantar a solução adotada, usa-se o método AHP de múltiplos critérios, SAATY (1980). Esse método emprega uma matriz de comparação que permite cotejar pares de elementos e verificar a consistência dos resultados, eliminando eventual erro proveniente de avaliação menos acertada. É gerado um índice o qual permite validar ou não as comparações.

O trabalho é completado com a aplicação do método a um exemplo, conclusões e recomendações.

2. Os Processos de Decisão.

Neste item são apresentadas as preliminares e os processos usados na aplicação do método da árvore de decisão e na análise hierárquica das ofertas de fornecimento. No processo considera-se fixadas a estimativa dos volumes disponíveis na jazida e a capacidade de produção e armazenagem dos sistemas propostos.

2.1 Preliminares

Do ponto de vista do aproveitamento do equipamento, se toma como base a informação de eficiência diária no processo de exploração de poços na área, considerando que a jazida é semelhante ao de outras conhecidas.

Fazendo uso dos dados de sistemas semelhantes em funcionamento se calcula a porcentagem de eficiência dos sistemas de produção configurando um perfil de produtividade que permitirá o estabelecimento de uma ponderação, considerando as porcentagens de eficiência de produção e o tempo de duração das mesmas, para o cálculo do retorno do investimento com base conhecida.

2.2 Aplicação do método da árvore de decisão

Inicia-se o processo de solução representando as alternativas possíveis. A seguir, para cada alternativa constroem-se os ramos referentes aos dois “estados da natureza”, antes e depois do início de funcionamento do sistema.

O tempo gasto pela unidade para entrar em operação assim como o tempo em que as unidades não conseguem atender às potencialidades da jazida serão considerados negativos.

A seguir se desenham tantos ramos quantos níveis de

produção existam, neste caso foi tomada como base a informação da eficiência diária em poços conhecidos da mesma área, configurando um perfil que permite o estabelecimento de uma ponderação para o cálculo do retorno do investimento com base conhecida.

Para obtenção dos valores, se inicia o cálculo com as extremidades finais da árvore, passando por cada ramo até chegar no ramo inicial de cada opção. Calculam-se os valores da produção de cada equipamento (ou opção) fazendo a ponderação que considera as proporções de tempo em que estas atuam e a produtividade, sendo cada resultado multiplicado pela proporção estabelecida em cada ramo dos estados da natureza inerentes ao prazo de entrada em funcionamento e exploração estabelecidos a priori. Ao resultado destes valores de retorno deve-se subtrair o valor do investimento correspondente.

O valor esperado será função dos valores de produção, dos tempos considerados e dos investimentos de cada opção. Considerando o critério de maximização de lucros, a opção escolhida será a de maior valor resultante.

Para aplicar a função utilidade os valores monetários obtidos no cálculo dos valores esperados da árvore de decisão serão substituídos por um número que representa este valor interpretado por meio de uma função $U(x)$ correspondente a cada perfil definido. Segundo BEKMANN e COSTA NETO (1980) corresponderão: ao perfil neutro uma reta; para o arrojado uma função exponencial com expoente menor que a unidade e para o perfil conservador função exponencial com expoente maior que a unidade.

O cálculo dos valores esperados considerando os diversos perfis pode dar resultados diversos aos já obtidos na aplicação inicial da árvore de decisão.

2.3 Análise hierárquica das ofertas de fornecimento

Se existirem três ou mais opções de compra e três ou mais critérios de avaliação, pode-se aplicar a análise hierárquica conhecida como AHP. Esta metodologia desenvolvida por SAATY (1980) propõe a utilização de uma matriz de comparação aos pares dos elementos considerados, sejam opções ou critérios. Após um processo de cálculo indicado pelo autor, se obtém uma hierarquia entre as opções e uma razão de consistência, a qual serve para validar ou não essas comparações.

Inicia-se o processo com uma matriz quadrada A aplicando a metodologia indicada por SAATY (1980) onde a escala dos pareceres de preferência é a da tabela a seguir.

| Pareceres de preferências | Valores numéricos |
|---------------------------|-------------------|
| Absoluta | 9 |
| | 8 |
| Muito forte | 7 |
| | 6 |
| Forte | 5 |
| | 4 |
| Moderada (pouco melhor) | 3 |
| | 2 |
| Igual (equivalente) | 1 |

Tabela de pareceres de preferências

Na matriz A o elemento a_{ij} representa o valor da opção ou critério i em comparação com os da j . Cada elemento a_{ij} é o inverso do elemento a_{ji} . Por exemplo: se o valor for 1 significa que, na comparação entre i e j , o elemento i é igual ao elemento j ; se o valor for 5 significa que o elemento i é, segundo a escala acima, preferido ao elemento j com um índice 5; se a_{ij} é igual a 7, então a_{ji} terá o valor de $1/7$, e assim por diante.

O passo seguinte é a normalização dos valores das colunas, obtida pela divisão de cada elemento pelo somatório dos elementos da coluna. Dessa forma, se obterá um valor adimensional entre 0 e 1. A seguir, se calcula a média dos valores de cada linha, dispondo-as numa coluna adicional a matriz A. Para controle, verifica-se que a soma dos elementos das colunas, inclusive a das médias, é 1. A coluna das médias adicionadas a matriz A é a escala que estabelece a hierarquia entre os critérios ou entre as opções.

Deve-se verificar a coerência dos valores atribuídos nas avaliações. Para isso, SAATY (1980), propõe uma razão de consistência R.C., calculada pela relação:

$$R.C. = (I.C.) / (I.R.)$$

na qual I.C. é o coeficiente de inconsistência e I.R. é um índice das matrizes randômicas.

O cálculo de I.C. é feito pelo uso da fórmula $IC = (-n) / (n-1)$, na qual n representa o número de linhas da matriz A e λ é o seu maior autovalor. O índice das matrizes randômicas IR é obtido da tabela abaixo, proposta inicialmente por SAATY (1980) e corrigida por MORITA (1998), na qual n é o número de linhas.

| N | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| IR | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,49 | 1,51 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 1,58 |

Valores do índice randômico

Quanto mais inconsistente a matriz, maior será a Razão de Consistência. Somente são aceitos valores menores que 0,10.

No caso dos valores a serem comparados sejam pré-determinados como, por exemplo, os valores dos custos, as avaliações podem ser feitas usando-se a tabela de pareceres de preferências acima apresentada ou montando uma hierarquia segundo o critério empregado.

No caso dos critérios, adota-se como peso de cada critério o valor médio das linhas normalizadas. No caso da avaliação das propostas obtém-se uma matriz de hierarquia entre elas para cada um dos critérios. O resultado final é obtido multiplicando os valores da hierarquização de cada critério pelo seu peso.

3. Um Exemplo De Aplicação.

Em um campo de extração de petróleo e gás, com uma capacidade estimada de 1.000.000.000 de barris de petróleo, decidiu-se substituir a instalação FPSO existente por outra. É pretendido processar para futura transferência 180.000 bpd (barris por dia) e armazenar 1,9 milhões de barris. Neste trabalho, toma-se como referência o preço pago pelo arrendamento de uma plataforma que é aproximadamente de US\$1,00 por barril extraído por dia,

[1bpd.=US\$1,00].(Notícia publicada na Gazetaonline do dia 07 de março de 2002).

Considerando os dados o tempo máximo estimado de exploração da jazida é de aproximadamente 15 anos.

As três opções possíveis são as seguintes:

Opção 1: FPSO novo, com vida útil de 20 anos, e prazo de construção de 3 anos.

Opção 2: Navio usado, aproveitando seu casco e outras partes, com vida útil remanescente de 15 anos, acondicionado e reformado no prazo de 18 meses.

Opção 3: Navio usado, aproveitando seu casco e outras partes, com vida útil remanescente de 8 anos, acondicionado e reformado no prazo de 22 meses.

3.1. Aplicação da árvore de decisão:

A construção da árvore de decisão começa com os três ramos representando cada uma das opções propostas.

A seguir e tomando como referência os prazos, se desenharam os ramos correspondentes ao estado da natureza que considera a vida útil de cada navio o prazo em que este poderá entrar em funcionamento e o prazo de extração da jazida, sendo:

Opção 1: prazo de fabricação da instalação 3 anos, máximo período produtivo previsto 15 anos, proporção entre os prazos:

a) até o início da extração; $[3/18] = P1 = 0,166$

b) após o início e até o final da vida do equipamento; $[15/18] = P2 = 0,834$

Opção 2: prazo de fabricação da instalação 1,5 anos, período entre revisões em dique seco previsto, 15 anos, proporção entre os prazos:

a) até o início da extração; $[1,5/16,5] = P3 = 0,09$

b) após o início da extração e até o final do equipamento; $[15/16,5] = P4 = 0,91$

Opção 3: prazo de adaptação da instalação 2 anos, período entre revisões em dique seco previsto 8 anos, vida útil do reservatório 15 anos (do ponto de vista da utilidade proporcionada pela instalação faltarão 7 anos para esgotar o reservatório, este tempo deverá ser considerado improdutivo), proporção entre os prazos:

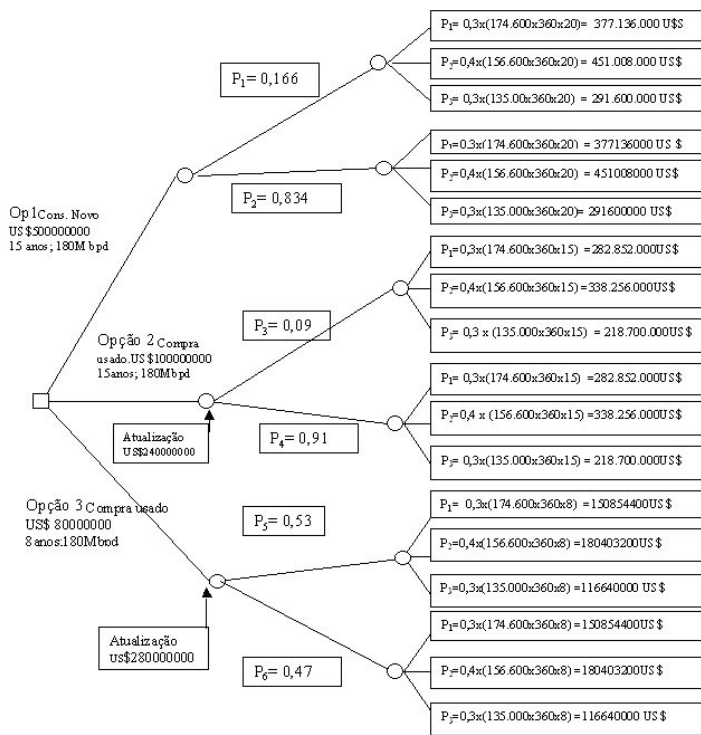
a) até o início da extração 2 anos e após o término da vida útil da FPSO 7 anos total 9 anos inativo; $[9/17] = P5 = 0,53$

b) após o início da extração e até o final do equipamento; $[8/17] = P6 = 0,47$

Sendo os valores inativos considerados negativos para o cálculo.

A seguir cada ramo será seguido de três ramos que representam o perfil de produção aplicado considerando a vida útil de cada opção, como segue: Boa eficiência (97% de 180.000bpd) 0,30 do tempo; com Média eficiência (87% de 180.000bpd) 0,40 do tempo e Baixa eficiência (75% de 180.000bpd) 0,30 do tempo.

Neste caso as três opções dispõem do mesmo tipo de equipamento sendo que a diferença nos valores calculados é dada pela vida útil de cada uma delas.



Cálculo do valor esperado de cada opção menos o investimento :

$$\text{Opção 1} = [(0,834 - 0,166) \times 1119744000*] - 500000000* = 747.988.990 - 500.000.000 = 247.988.990 \text{ US\$}$$

$$\text{Opção 2} = [(0,91 - 0,09) \times 839.808.000*] - 340.000.000* = 688.642.560 - 340.000.000 = 348.642.560 \text{ US\$}$$

$$\text{Opção 3} = [(0,47 - 0,53) \times 447897600*] - 360.000.000* = -26873856 - 360.000.000 = -386873850 \text{ US\$}$$

Utilizando o critério de maximização dos valores esperados o método de apoio indica que a opção mais vantajosa é a opção 2 correspondente ao aproveitamento de um casco com 15 anos de vida útil remanescente.

3.2. Aplicação da teoria da utilidade

Considerando três tipos de perfil de investidor, um perfil neutro que coincide com os resultados da árvore anterior, um perfil de investidor arrojado que é propenso ao risco e um perfil de investidor avesso ao risco. Teremos os seguintes valores da função utilidade.

| Opção | Neutro (u_1) | Avesso (u_2) | Arrojado (u_3) |
|--------------|------------------|------------------|--------------------|
| 1 Valor Esp. | 0,668 | 0,668 | 0,668 |
| 2 Valor Esp. | 0,777062647 | 1,060077 | 0,56852675 |
| 3 Valor Esp. | -0,25234763 | -0,165 | -0,19572788 |

Aplicando os valores do perfil neutro o sistema indica a opção 2 como a mais conveniente para o projeto.

Aplicando os valores do perfil avesso ao risco o sistema indica a opção 2 como a mais conveniente.

Aplicando os valores do perfil arrojado, o sistema indica a opção 1 como a mais conveniente.

3.3 Aplicação do AHP

Para este objetivo, se escolhe entre quatro propostas de navios para serem utilizados dentro da mesma condição de vida útil remanescente.

São definidos os critérios seguintes: Custos (I); Estado da Estrutura (II); Durabilidade (III); Reciclagem (IV) e Prazo de entrega(V).

MATRIZ PARA PESOS DOS CRITÉRIOS

| CRITÉRIOS | Custo | Estado da estrutura | Durabilidade | Reciclagem | Prazo de entrega |
|---------------------|-------|---------------------|--------------|------------|------------------|
| Custo | 1 | 0,25 | 0,333333 | 0,166667 | 0,2 |
| Estado da estrutura | 4 | 1 | 0,5 | 0,2 | 5 |
| Durabilidade | 3 | 2 | 1 | 0,142857 | 3,00003 |
| Reciclagem | 6 | 5 | 7 | 1 | 4 |
| Prazos | 5 | 0,2 | 0,33333 | 0,25 | 1 |

Normalização

| CRITÉRIOS | Custo | Estado da estrutura | Durabilidade | Reciclagem | Prazo de entrega | Médias |
|---------------------|----------|---------------------|--------------|------------|------------------|-----------------|
| Custo | 0,029586 | 0,036364 | 0,094723 | 0,0151515 | 0,045691 | 0,045691 |
| Estado da estrutura | 0,118343 | 0,054545 | 0,113667 | 0,378787 | 0,175174 | 0,175174 |
| Durabilidade | 0,236686 | 0,109091 | 0,081191 | 0,2272745 | 0,162427 | 0,162427 |
| Reciclagem | 0,591716 | 0,763637 | 0,568336 | 0,3030296 | 0,508501 | 0,508501 |
| Prazos | 0,023669 | 0,036363 | 0,142084 | 0,0757574 | 0,108206 | 0,108206 |

A matriz, com os pesos dos critérios é:

| | |
|---------------------|-----------------|
| Custo | 0,045691 |
| Estado da estrutura | 0,175174 |
| Durabilidade | 0,162427 |
| Reciclagem | 0,508501 |
| Prazos | 0,108206 |

Que multiplicada pela matriz de avaliação dará o seguinte resultado:

| |
|-------------------|
| 0,452 |
| 1,149683 |
| 1,055904 |
| 2,20794 |
| 0,507272 |
| λ = 5,3728 |

Aplicando a fórmula empírica do desvio sendo $\lambda = 5,3728$; e o número de critérios 5, o índice de coerência será: $IC = (5,3728 - 5) / 4 = 0,0932$; calculando a razão de consistência para $n=5$; $R.C. = 0,0932 / 1,11 = 0,0839$

Conseguindo um parâmetro dentro do valor aceitável.

Seguindo com a metodologia se monta uma matriz de avaliação para cada um dos critérios escolhidos, comparando as propostas como solução ao problema.

No caso do primeiro critério: Custos, pode-se determinar a hierarquia segundo os valores que apresentam as propostas. Por ser este critério do tipo determinístico e decrescente, ou seja, quanto menor o custo melhor.

O procedimento é o seguinte: monta-se uma matriz coluna onde cada linha será preenchida por cada proposta, se calcula o valor do quociente entre a unidade e o custo de cada proposta obtendo-se desta forma um valor onde o menor custo estará representado por um valor maior, seguidamente se faz a somatória dos valores e a normalização que consiste na divisão de cada elemento pelo resultado da somatória, fazendo que haja uma coerência com a escala proposta por SAATY (1980) do tipo crescente assim como com os valores dos índices, sendo que a somatória dos valores das hierarquias indicadas na matriz coluna devem resultar na unidade.

| |
|----------------------------|
| Proposta 1:US\$98milhões |
| Proposta 2:US\$ 95 milhões |
| Proposta 3:US\$ 97 milhões |
| Proposta 4:US \$96 milhões |

| |
|-------------------|
| $1/98 = 0,010204$ |
| $1/95 = 0,010526$ |
| $1/97 = 0,010309$ |
| $1/96 = 0,010417$ |
| Total: 0,041456 |

Normalizando os valores:

| | | |
|------------|----------|----------|
| Proposta 1 | Quarto | 0,24614 |
| Proposta 2 | Primeiro | 0,253913 |
| Proposta 3 | Terceiro | 0,248678 |
| Proposta 4 | Segundo | 0,251268 |
| | Total | 1,00 |

O segundo critério a ser considerado é o de Estado da Estrutura, se faz uma análise comparativa de cada proposta apresentada usando este critério, obtendo uma hierarquia de atributos que se observa na matriz resultante da aplicação do método AHP.

Estado da Estrutura

| Opção | Prop. 1 | Prop. 2 | Prop. 3 | Prop. 4 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| Proposta 1 | 1 | 2 | 5 | 7 |
| Proposta 2 | 1/2 | 1 | 3 | 5 |
| Proposta 3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 |
| Proposta 4 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Normalizando (dividindo cada elemento pela somatória de cada coluna).

| | Prop. 1 | Prop. 2 | Prop. 3 | Prop. 4 | Médias |
|------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| Proposta 1 | 0,5426 | 0,566 | 0,535 | 0,4375 | 0,520472 |
| Proposta 2 | 0,2713 | 0,283 | 0,321 | 0,3125 | 0,297066 |
| Proposta 3 | 0,1085 | 0,0943 | 0,107 | 0,1875 | 0,124377 |
| Proposta 4 | 0,0775 | 0,0586 | 0,035 | 0,0625 | 0,058084 |

Cálculo de λ

| |
|--------------------|
| 2,143082 |
| 1,220856 |
| 0,501747 |
| 0,23331 |
| λ 4,098994 |

Desta matriz obtemos também os indicadores: $\lambda = 4,09899$

$IC = 0,032998$; $R.C. = 0,032998 / 0,89 = 0,037$ valor aceitável.

O terceiro critério a aplicar na matriz de comparação é o da Durabilidade.

| | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| Proposta 1 | 1 | 6 | 7 | 9 |
| Proposta 2 | 1/6 | 1 | 2 | 5 |
| Proposta 3 | 1/7 | 1/2 | 1 | 3 |
| Proposta 4 | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Normalizando e fazendo a média do critério de Durabilidade de cada navio.

| | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 | Média |
|------------|------------|------------|------------|------------|----------------|
| Proposta 1 | 0,703911 | 0,765957 | 0,666667 | 0,6 | 0,68413 |
| Proposta 2 | 0,117318 | 0,12766 | 0,190476 | 0,2 | 0,15886 |
| Proposta 3 | 0,100559 | 0,06383 | 0,095238 | 0,13333 | 0,09824 |
| Proposta 4 | 0,019553 | 0,042553 | 0,047619 | 0,06666 | 0,05876 |

Verificando o RC, desta matriz.

| |
|-------------|
| 2,853860 |
| 0,645654 |
| 0,392931 |
| 0,236852 |
| $\lambda =$ |
| 4,129297 |

Desta matriz obtemos, também, o indicador:

$IC = (4,129297 - 4) / 3 = 0,04309$; $R.C. = 0,04309 / 0,89 = 0,0484$ valor aceitável.

O quarto critério a aplicar na matriz de comparação é da Reciclagem do navio.

| | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| Proposta 1 | 1 | 5 | 7 | 9 |
| Proposta 2 | 0,2 | 1 | 3 | 4 |
| Proposta 3 | 0,1428571 | 0,3333333 | 1 | 3 |
| Proposta 4 | 0,1111111 | 0,25 | 0,3333333 | 1 |
| Total | 1,4539682 | 6,5833333 | 11,3333333 | 17 |

Normalizando:

| | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 | Médias |
|------------|-------------|------------|------------|------------|-----------------|
| Proposta 1 | 0,759493675 | 0,617647 | 0,5294118 | 0,648581 | 0,648581 |
| Proposta 2 | 0,151898735 | 0,264706 | 0,2352941 | 0,197363 | 0,197363 |
| Proposta 3 | 0,050632907 | 0,088235 | 0,1764706 | 0,103398 | 0,103398 |
| Proposta 4 | 0,037974684 | 0,029412 | 0,0588235 | 0,050657 | 0,050657 |

Verificando o RC, multiplica-se a matriz origem com a matriz coluna, resultando a nova matriz:

| |
|-------------|
| 2,8151 |
| 0,839903 |
| 0,413812 |
| 0,206529 |
| $\lambda =$ |
| 4,275344 |

Aplicando a fórmula empírica do Índice de Coerência: $IC = (4,275344-4)/3 = 0,0917$

Calculando a Razão de Coerência: $R.C. = 0,0917 / 0,89 = 0,10$ valor aceitável.

O quinto critério a aplicar na matriz de comparação é do Prazo de Entrega do navio.

| | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| Proposta 1 | 1,00 | 1/2 | 1/3 | 1/5 |
| Proposta 2 | 2,00 | 1,00 | 1/4 | 1/3 |
| Proposta 3 | 3,00 | 4,00 | 1,00 | 1/2 |
| Proposta 4 | 5,00 | 3,00 | 2,00 | 1,00 |

Normalizando e fazendo as médias de cada alternativa:

| Proposta | Proposta 1 | Proposta 2 | Proposta 3 | Proposta 4 | Médias |
|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| Proposta 1 | 0,090909 | 0,058824 | 0,093023 | 0,098361 | 0,085279 |
| Proposta 2 | 0,181818 | 0,117647 | 0,069767 | 0,163934 | 0,133292 |
| Proposta 3 | 0,272727 | 0,470568 | 0,27907 | 0,245902 | 0,317072 |
| Proposta 4 | 0,454545 | 0,352941 | 0,55814 | 0,491803 | 0,464357 |

Calculando os desvios e a Razão de Coerência:

| |
|----------------------|
| 0,350487 |
| 0,537904 |
| 1,338255 |
| 1,924772 |
| $\lambda = 4,151418$ |

Aplicando a fórmula empírica do índice:

$$IC = (4,151418-4)/3 = 0,050473$$

$$R.C. = 0,050473 / 0,89 = 0,0567 \text{ valor aceitável}$$

Agrupando todas as matrizes hierárquicas correspondentes a cada critério, obteremos a matriz consolidada da hierarquia das alternativas, que multiplicada pela hierarquia dos pesos dos critérios dará a hierarquia final.

| Opções | Custo | Estado da Estrutura | Durabilidade | Reciclagem | Prazo de Entrega |
|------------|---------|---------------------|--------------|------------|------------------|
| Proposta 1 | 0,24614 | 0,52047 | 0,68413 | 0,60823 | 0,085279 |
| Proposta 2 | 0,25391 | 0,29706 | 0,15886 | 0,25147 | 0,133292 |
| Proposta 3 | 0,24867 | 0,12437 | 0,09823 | 0,09893 | 0,317072 |
| Proposta 4 | 0,25126 | 0,05808 | 0,04409 | 0,04135 | 0,464357 |

| | | | | |
|---|----------|---|--------------------------------|----------|
| X | 0,045691 | = | Proposta 1 Primeira hierarquia | 0,532054 |
| | 0,175174 | | Proposta 2 Segunda hierarquia | 0,231738 |
| | 0,162427 | | Proposta 3 Terceira hierarquia | 0,133719 |
| | 0,508501 | | Proposta 4 Quarta hierarquia | 0,100089 |
| | 0,108206 | | | |

4. Análise e Discussão dos Resultados.

Na primeira parte do problema, foram definidos o prazo de entrada em funcionamento do FPSO e a vida útil de cada opção assim como os períodos de atividade e inatividade durante o tempo de extração da jazida. Assim para a alternativa de construção totalmente nova somente foi tomado em conta o investimento total, enquanto que para as outras duas, com reaproveitamento de navios existentes, teve de ser somada a quantia necessária para deixar estas operacionais e os valores de cada opção proposta.

Tomando como base de comparação o valor esperado de cada opção, em estas condições, descontado o valor do investimento correspondente, considerando um critério de maximização do lucro o método indicou a segunda opção como a mais conveniente.

Na aplicação da função utilidade com três tipos de perfil, se obtiveram resultados diversos em cada simulação, confirmando a flexibilidade do sistema, já que dependendo do comportamento do investidor, a decisão será influenciada indicando o tipo de solução mais conveniente para cada caso.

Na segunda parte do problema, com a aplicação do método de análise hierárquica AHP a opção de escolha foi definida pela hierarquia obtida a partir de análises feitas de valores quantitativos e de valores qualitativos obtidos dos pareceres de avaliadores, todos incorporados na matriz de decisão, outros critérios e outros elementos podem ser analisados na hora da decisão, modificando a preferência.

Observa-se que utilizando critérios de avaliação como o estado de

conservação da estrutura de cada navio, se coloca parte do peso da decisão na sensibilidade do profissional que terá que fazer o julgamento, sendo que caberá a este a imparcialidade do juízo. A metodologia de apoio à decisão utilizada possui um índice que permite o controle do processo sendo que esta imparcialidade é verificada passo a passo no método.

Segundo a metodologia AHP, analisando comparativamente os valores das razões de coerência obtidas em cada matriz, em caso de detectar um desvio acima dos índices preestabelecidos se pode centrar a comparação entre elementos a serem julgados conseguindo desta forma uma avaliação com maior precisão.

5. Conclusões e Recomendações.

A metodologia empregada permite o aperfeiçoamento das decisões na indústria naval e de exploração de petróleo e gás, fazendo com que a sensibilidade dos profissionais seja aguçada, aumentando a percepção do processo de decisão e diminuindo a possibilidade de erros de avaliação.

Se as condições do problema variarem, após o processo de auxílio à decisão ser implementada, recomenda-se aos projetistas e armadores decidirem se convém executar novamente o processo.

Os critérios empregados no exemplo não constituem uma panacéia. Em todos os casos reais os critérios são estabelecidos pela empresa de acordo com seus interesses e preferências.

Referências Bibliográficas.

BEKMAN, Otto R. e COSTA NETO, Pedro L. de Oliveira. **Análise estatística da decisão**. Editora Edgard Blücher Ltda. 1980.

CLEMEN, R.T. **Making hard decisions**. Duxbury, Press Wadsworth. 1991

DREWRY SHIPPING CONSULTANTS THE SHIPBUILDING MARKET – 1995-2010

FORMAN Ernest. DSc., SELLY Mary Ann. **Decision By Objectives**

GARBER, Marcos Fernando, dissertação de mestrado. **Estruturas Flutuantes Para A Exploração de Campos De Petróleo No Ma (Fpso): Apoio À Decisão Na Escolha Do Sistema**.

www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-31052003180222/publico/Garber171202.pdf

JANSEN, Leila Keiko Kanegusuco, SHIMIZU, Tamio, JANSEN José Ulises. **Uma análise de investimento considerando fatores intangíveis**. ENEGEP 2004

MORITA Hideyuki. **Revisão do Método de Análise Hierárquica – MAH (AHP- Analytic Hierarchy Process)**. Dissertação de Mestrado Engenharia, EPUSP, São Paulo 1998.

RAIFFA, Howard. **Teoria da Decisão, aulas introdutórias sobre escolhas em condições de incerteza**. (Tradução de S. Girão) Editora Vozes. EDUSP. 1977

SAATY, Thomas Lorie. **The Analytic Hierarchy Process – planning priority setting, resource allocation**. 1980 New York, Mc Graw Hill

_____. **The Seven Pillars of the Analytic Hierarchy Process**. ISAH Proceedings. Kobe 1999