

# IDENTIFICAÇÃO DE MÉTODO ADEQUADO PARA AUXÍLIO NA TOMADA DE DECISÃO EM RECUPERAÇÃO DE RESERVATÓRIO DE POÇOS DE PETRÓLEO NA REGIÃO RN/CE

## IDENTIFYING APPROPRIATE METHOD TO AID IN DECISION MAKING IN RECOVERY RESERVOIR OIL WELLS IN THE REGION RN/CEL

### **ALMIR MARIANO SOUSA JUNIOR**

Engenheiro de Produção. Engenheiro de Segurança do Trabalho. Mestre em Engenharia de Petróleo e Gás Natural.  
Professor da Universidade Federal Rural do Semi-árido.  
E-mail: almir.mariano@ufersa.edu.br

### **FRANKLIN SILVA MENDES**

Doutor em Química. Professor e Coordenador na Universidade Potiguar.  
E-mail: franklinmendes@unp.br

**Envio em:** Setembro de 2013

**Aceite em:** Janeiro de 2014

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de construir um modelo simplificado de auxílio à tomada de decisão na escolha da melhor técnica de recuperação secundária em reservatório de hidrocarbonetos. Foi utilizado o Método Análise Hierárquico, o AHP, em auxílio ao processo de tomada de decisão que a partir de um brainstorming e do questionário enviado pela web pelo "Google Docs" realizou-se a tabulação e os cálculos necessários para definição das prioridades dos decisores. Os dados utilizados no cálculo são advindos da aplicação do questionário e os critérios do brainstorming. Apresentando a técnica de injeção de água para recuperação de reservatório na bacia potiguar como sendo a que mais se adequa às características do espaço amostral, seguida da de Vapor e Gás Lift. O modelo adotado se mostrou adequado de acordo com a verificação junto aos possíveis *stakeholders* dos aspectos técnicos em processos de tomada de decisão para intervenção de reservatórios de petróleo da bacia RN/CE.

**Palavras-Chave:** AHP. Recuperação de reservatório. Multicritério.

## ABSTRACT

*Objective of this study was to construct a simplified model of aid decision making in choosing the best technique for secondary recovery of hydrocarbons in the reservoir. Hierarchical Analysis Method, AHP was used to aid decision-making from a brainstorming and web questionnaire sent by the "Google Docs" held tabulation and calculations needed for prioritization of case makers. The data used in the calculation are coming from the questionnaire and the criteria of brainstorming. Introducing the technique of water injection for reservoir recovery in Natal basin as the one that best fits the characteristics of the sample space, then the Steam and Gas Lift. The model adopted was adequate according to the verification among potential stakeholders of the technical aspects in decision-making processes for intervention of oil reservoirs in the basin RN / CE.*

**Keywords:** AHP. Recovery tank. Multicriteria.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as reservas brasileiras de petróleo ocupam a 14ª (décima quarta) colocação no ranking de acordo com o relatório estatístico anual da energia mundial preparado pela companhia de gás e petróleo. Em compensação, subiu para a sétima posição no ranking de maiores consumidores de petróleo no mundo.

O Rio Grande do Norte, em 2012, possuía a terceira maior reserva total de petróleo, e também possuía a terceira maior reserva provada de petróleo, com o maior número de poços em terra e o segundo em mar. Desde 2008 o Espírito Santo vem passando à frente do Rio Grande do Norte, como segundo maior produtor brasileiro de petróleo atrás apenas do Rio de Janeiro.

Essa queda anual na produção de petróleo é preocupante, pois são necessários investimentos para que se mantenha a produção, principalmente quando se trabalha com um número muito elevado de poços. Para manter a produção de cerca de 21 milhões de barris, o Rio Grande do Norte possui 3.911 poços produtores sendo que 103 deles se localiza no mar. A Bahia, segunda maior produtora em terra, possui 1.693 poços, sendo deles 9 (nove) no mar, para produzir cerca de 16 milhões de barris. Essa discrepância se intensifica com a terceira maior produtora em terra, o Amazonas, com 55 poços produzindo 13 milhões de barris e o com maior produtor brasileiro, o Rio de Janeiro, com 555 poços em mar produzindo 600 milhões de barris.

O número de poços no Rio Grande do Norte vem aumentando ao longo dos anos, conseqüentemente o número de perfurações, porém a produção total vem decaindo ao longo do tempo. Cada vez que é necessário perfurar um novo poço, é preciso realizar todo um processo de prospecção do petróleo, estudo econômico e de qualidade, e análise do poço (terra ou mar). Há também, nesse processo, as principais atividades como perfuração de poços, teste de produção, completação e outros trabalhos correlatos para as empresas que se encontram na fase upstream da cadeia produtiva do petróleo.

Segundo Rosa (2006), na medida em que um reservatório de petróleo produz óleo e gás, a energia contida nesse reservatório vai sendo dissipada por diferentes mecanismos. A dissipação da energia do reservatório acontece em razão da descompressão dos fluidos e das resistências, associadas às forças viscosas e capilares, encontradas pelo fluido ao escoar até os poços produtores. Assim, a perda de energia faz com que as vazões de produção e a pressão no interior do reservatório diminuam com o tempo. Em virtude disso, devem-se introduzir métodos de recuperação e manutenção de pressão no reservatório para manter ou aumentar a produção de petróleo. De forma resumida, tais métodos visam aumentar

e a acelerar a produção de petróleo, minimizando a dissipação da energia.

As atividades de produção de petróleo se desmembram em outras diversas que requerem planejamento e acompanhamento constante, em um contexto que realiza inúmeras tomadas de decisões. Essas decisões são suportadas com base em análises de gráficos, estudos de viabilidade, em casos de sucessos anteriores, relatórios, mas que preponderantemente residem como fator de escolha de qual caminho a experiência profissional deve seguir. Isso acontece em um processo que não agrega as opiniões dos gestores em um único processo de tomada de decisão que tanto representa suas afinidades como suas divergências, a partir de critérios que qualificam suas escolhas.

Nesse contexto, surge a necessidade de implantação de sistemas que possam auxiliar o tomador de decisão, com enfoque analítico de apoio multicritério à decisão diante de uma complexidade crescente e amplitude de informação. Ou seja, a subjetividade humana é representada em modelos matemáticos e de simulação de sistemas, devido à presença de critérios múltiplos que residem na própria realidade dos problemas multidimensionais, sendo os modelos multicritério, no processo decisório, revelados os mais adequados. Um dos métodos mais utilizados na atualidade é o Analytic Hierarchy Process - AHP, pela sua facilidade e abrangência de aplicação, encontrados em diversos estudos de variadas áreas, e principalmente em atividades de tomadas de decisões complexas como a da engenharia de reservatório.

Tendo em vista a problemática até então exposta, como implantar um sistema de tomada de decisão simplificado para a escolha da melhor técnica de recuperação de um reservatório de hidrocarbonetos?

## 2 A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Para Alboudwarej (2006), as estimativas do total de reservas de petróleo no mundo oscilam entre 9 e 13 trilhões de barris, incluindo óleos pesados, ultra pesados e o betume que, somados representam aproximadamente 70% dos recursos petrolíferos. Os óleos pesados são muito viscosos e têm elevada quantidade de carbono em relação ao hidrogênio, alto índice de aromáticos, asfalto, enxofre, metais pesados e nitrogênio. Contudo, apresentam um ponto de ebulição maior quando comparado com os de óleos leves. Regionalmente, o Rio Grande do Norte conta com grandes reservas de petróleo pesado que ainda precisam ser produzidas. É possível aumentar a recuperação de óleo em alguns destes reservatórios, localizados no Estado do Rio Grande do Norte, com a ajuda dos processos de recuperação avançada de petróleo.

Uma acumulação de petróleo pode se apresentar totalmente líquida, totalmente gasosa ou ainda com uma

parte líquida e uma parte gasosa em equilíbrio. Isso irá depender da composição e das condições de pressão e temperatura. Dessa forma, podemos dizer que existe reservatório de líquido que também é conhecido como reservatório de óleo, reservatório de gás e reservatório com as duas fases, óleo e gás (Rosa et al., 2006).

### 3 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO

Não é necessário se esperar a queda da pressão e consequente declínio acentuado da produção de óleo para se começar a interferir no reservatório. É altamente recomendável o estudo da melhor técnica para estímulo do poço seja feito previamente analisando os critérios determinantes para identificar sua viabilidade. Esta intervenção deve ser realizada antes que o reservatório entre em declínio acentuado e tem o objetivo de manter ou aumentar a pressão.

Os métodos de recuperação de petróleo foram desenvolvidos para se obter uma produção maior do que aquelas que se obteriam, caso apenas a energia natural do reservatório fosse utilizada (PASSOS, 2002).

A vida produtiva de um reservatório de petróleo se compõe de três etapas que, cronologicamente, são chamadas de recuperação primária, recuperação secundária, recuperação terciária etc. Atualmente, as expressões “secundária” e “terciária” perderam a sua conotação cronológica e passaram a denominar a natureza do processo (THOMAS, 2001).

### 4 PROCESSO DECISÓRIO

O estudo do processo decisório tem obtido cada vez mais destaque nas pesquisas que envolvem organizações (LENGNICK-HALL, 2003; TONN, 2003), tendo em vistas as rápidas mudanças que estão ocorrendo no ambiente social, econômico e legal (TAPSCOTT; CASTON, 1995). A modelagem teórica de processo decisório supõe que a tomada de decisão gerencial seja racional no sentido de que os gerentes fazem escolhas consistentes, de valor maximizado dentro de restrições especificadas (ROBBINS; DECENZO, 2004).

Para estes autores, um tomador de decisão perfeitamente racional seria plenamente objetivo e lógico. Definiria um problema com cuidado e teria uma meta clara e específica. Além disso, as etapas no processo de tomada de decisão levariam consistentemente à escolha da alternativa que maximiza aquela meta.

### 5 MÉTODOS MULTICRITÉRIO

O processo de tomada de decisão tem se transformado aceleradamente, principalmente devido aos grandes

e intensos avanços tecnológicos, tendo como Herbert A. Simon como o pioneiro na pesquisa a respeito de tomada de decisão.

Conforme Ballestrin (2002), Herbert A. Simon afirmava os modelos de simulação computacional era a forma mais adequada para o processo de tomada de decisão na resolução de problemas. Daí por diante, Simon vem pesquisando a associação dos recursos computacionais ao comportamento do homem e se tornou o primeiro cientista a abordar o conceito de Inteligência Artificial.

Nos anos 50, a indústria petrolífera começou a utilizar as técnicas insipientes de programação linear para determinar a melhor composição em termos de octanagem, com o mínimo de custo. A partir daí, o uso de tais técnicas tem se espalhado, sendo utilizado em indústrias de computadores de serviços etc; para resolver problemas tão disparees quanto a composição de carne e gordura em um hambúrguer e o controle de portfólio de ação de um banco. Por esta razão foram desenvolvidos métodos estritamente matemáticos para se encontrar a solução ótima de um problema (GOMES; GOMES, 2012).

A modelagem teórica do processo decisório supõe que a tomada de decisão gerencial seja racional no sentido de que os gerentes fazem escolhas consistentes, de valor maximizado dentro de restrições especificadas (ROBBINS; DECENZO, 2004).

Devido à presença da subjetividade, inerente aos tomadores de decisão e aos seres humanos de uma forma geral, é possível afirmar que este processo é holístico, logo, difícil de ser separado em partes. Sendo assim, qualquer metodologia de apoio à decisão deve suportar esta subjetividade de que atua como ponte que vai promover a comunicação entre os atores, a elaboração e a justificação dos julgamentos de valores feitos por esses mesmos atores.

Para Gomes e Freitas Júnior (2000), os problemas de decisão são discretos, quando se trata de um número finito de alternativas, ou contínuo, quando tal número pode ser pensado como sendo infinitamente grande.

Os métodos contínuos são também denominados métodos de otimização de critério ou métodos interativos, compreendendo basicamente métodos de programação matemática com mais de uma função objetivo. A utilização desses métodos, tanto discretos como contínuos, é imensamente facilitada através de softwares especializados.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD ou Análise Multicritério), pode ser definido como um conjunto de técnicas que auxiliam um determinado decisor, que pode ser uma pessoa, um grupo político ou um grupo de técnicos a tomar uma decisão a respeito de um problema complexo, com múltiplas possibilidades de solução, avaliando e buscando alternativas de resolução, de acordo com

diversos critérios.

Dentre os métodos multicritérios discretos mais usuais se destacam a Utilidade Multiatributo, o Analytic Hierarchy Process – AHP e os métodos ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité – ELECTRE (GOMES; GOMES, 2012). Entre os métodos multicritérios se destacam:

- Utilidade Multiatributo – MAUT (KEENEY; RAIFFA, 1976);
- Processo de Hierarquização Analítica (Analytical Hierarchy Process – AHP) (SAATY, 1977);

- Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution –TOPSIS) (HWANG; YOON, 1981);
- Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation – PROMETHEE (BRANS; VINCKE, 1984);
- Abordagem de Decisão Fuzzy (Fuzzy Decision Approach – FDA) (LIANG; WANG, 1992);
- Métodos ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité – ELECTRE (ROY; BOUYSSOU, 1993);
- Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique – MACBETH (BANA; COSTA; VASNICK, 1994);

**Tabela 3 – Prós e Contras de algumas ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão**

Ferramenta AMD	Prós	Contras
Processo de Hierarquização Analítica (Analytical Hierarchy Process – AHP) (SAATY, 1977)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo simples para construir</li> <li>- Processo lógico</li> <li>- Eficiente em lidar com atributos qualitativos e quantitativos</li> <li>- Os resultados são fáceis de entender</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dúvidas têm sido levantadas sobre fundamentação dessa teoria. Existe uma forte visão de que os axiomas em que o AHP se baseia não são suficientemente claros para ser empiricamente testado.</li> <li>- Grande número de procedimentos</li> <li>- Grande número de cálculos</li> <li>- Fornece um resultado geral</li> </ul>
Técnica da Ordem Preferência por Similaridade para a Solução Ideal) Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution –TOPSIS) (HWANG; YOON, 1981)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A consistência interna e solidez lógica</li> <li>- Fácil de seguir</li> <li>- Intuitivamente atraente</li> <li>- Não há cálculos complicados</li> <li>- Facilmente configurado em MS Excel</li> <li>- Os resultados são fáceis de entender</li> <li>- Valor do índice simples dado</li> <li>- Os resultados podem ser facilmente demonstrados graficamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muito conhecimento necessário</li> <li>- Construção complexa</li> <li>- A lógica fuzzy é bastante imprecisa</li> </ul>
Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation – PROMETHEE (BRANS; VINCKE, 1984)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incentiva mais interação entre o decisor e o modelo na procura de boas opções</li> <li>- Os defensores argumentam que o seu conceito outranking é mais relevante a situações práticas do que o conceito de dominação restritiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dificuldade em prever qual será a interação entre as diferentes condicionantes do problema</li> <li>- Muito conhecimento necessário</li> </ul>
Abordagem de Decisão Fuzzy (Fuzzy Decision Approach – FDA) (LIANG; WANG, 1992);	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É baseada em palavras e não em números, expresso linguisticamente</li> <li>- Melhor tratamento das imprecisões</li> <li>- Facilidade na especificação das regras.</li> <li>- O uso de variáveis linguísticas nos deixa mais perto do pensamento humano;</li> <li>-Requer poucas regras, poucos valores e poucas decisões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não é transparente</li> <li>- Muito provavelmente será necessário um especialista em AMD para ajudar / realizar a análise</li> <li>- O software pode não conseguir gerar resultados compatíveis com as comparações realizadas e sugere</li> </ul>
Métodos ELimination Et Choix TRaduisant la rEalité – ELECTRE (ROY; BOUYSSOU, 1993);	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os defensores argumentam que o seu conceito outranking é mais relevante a situações práticas do que o conceito de dominação restritiva</li> <li>- Pode ser usado para escolher, classificar, e ordenar alternativas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variações de julgamentos que permitam a aproximação de um resultado</li> <li>- A possibilidade de se tornar</li> </ul>
Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique – MACBETH (BANA E COSTA; VASNICK, 1994)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Julgamento comparativo dos Decisores entre os diversos critérios e ações</li> <li>- É utilizado um software especializado que fornece os pesos dos critérios de acordo com os julgamentos feitos.</li> <li>- A principal vantagem desta técnica é a maneira como os Decisores expressam suas preferências, de forma qualitativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- um método cansativo caso haja necessidade de um grande número de comparações.</li> </ul>

**Fonte:** Adaptado de Keeney e Raiffa (1976); Saaty (1977); Hwang e Yoon (1981); Brans e Vincke (1984); Liang e Wang (1992); Roy e Bouyssou (1993); Bana, Costa e Vasnich (1994).

De acordo com o conceituado por Hatch e Cunliffe (2006), a indústria do petróleo é uma atividade tecnologicamente intensiva, onde o input é não standard e o output é customizado devido as suas especificidades, sendo necessário o auxílio de ferramenta na tomada de decisão.

Na escolha da melhor técnica de recuperação secundária, especificamente na bacia RN/CE, a utilização de uma rotina simplificada e estruturada baseada em critérios, não somente minimizaria o fator subjetivo como potencializa de maneira objetiva a decisão. A Tabela 3 ex-

põe os prós e contras de algumas ferramentas de Apoio Multicritério à Decisão auxiliando para escolha do método utilizado no presente estudo.

## 6 METODOLOGIA

Para a identificação e localização das fontes, a análise bibliográfica é o primeiro momento de identificação e localização das fontes, sendo realizada a partir da consulta aos catálogos das bibliotecas.

O presente trabalho reuniu as principais informações envolvendo as técnicas de recuperação secundária em reservatórios de petróleo para subsidiar na aplicação do método Analytic Hierarchy Process – AHP, para auxiliar na tomada de decisão em qual técnica será a mais adequada para recuperação de poços na região RN/CE.

Sendo utilizada a ferramenta Google Docs, especificamente para permitir a construção de questionário virtual para ser aplicada com banco de dados fornecido pelo Conselho de Engenharia composto por 1000 (hum mil) profissionais que possuem formação e/ou atuação no referido campo da atividade em estudo. Permitindo interação, dinamismo em tempo real, intercâmbio de ideias, objetivando a construção de uma ferramenta de pesquisa altamente estruturada para aplicação de questionários que o estudo requer, garantindo confiabilidade dos dados coletados.

De posse dos tratamentos estatísticos da pesquisa, após discussões, será aplicado o método Analytic Hierarchy Process – AHP para modelar a melhor proposta de

auxílio para tomada de decisão em cenários que necessitaram da escolha adequada da melhor técnica de recuperação secundária adotar.

## 7 APLICAÇÃO DO MÉTODO

As etapas gerais para aplicação do método Analytic Hierarchy Process se divide em:

1. Construir a hierarquia de critérios
2. Realizar comparação par-a-par para definir as prioridades

### 2.1 Critérios, obter pesos

(a) Construir  $A'_{n \times m}$  para cada nível da hierarquia;

(b) Normalizar  $A'$  como:

Equação 1  $A_{ij} / \sum A_{ik}$ , para  $k = 1 \dots M$

(c) Calcular prioridade de cada linha  $j$  como:

Equação 2 –  $w_i = \sum A_{ij}$ , para  $j = 1 \dots n$

(d) Calcular a consistência dos julgamentos de  $A'$  como:

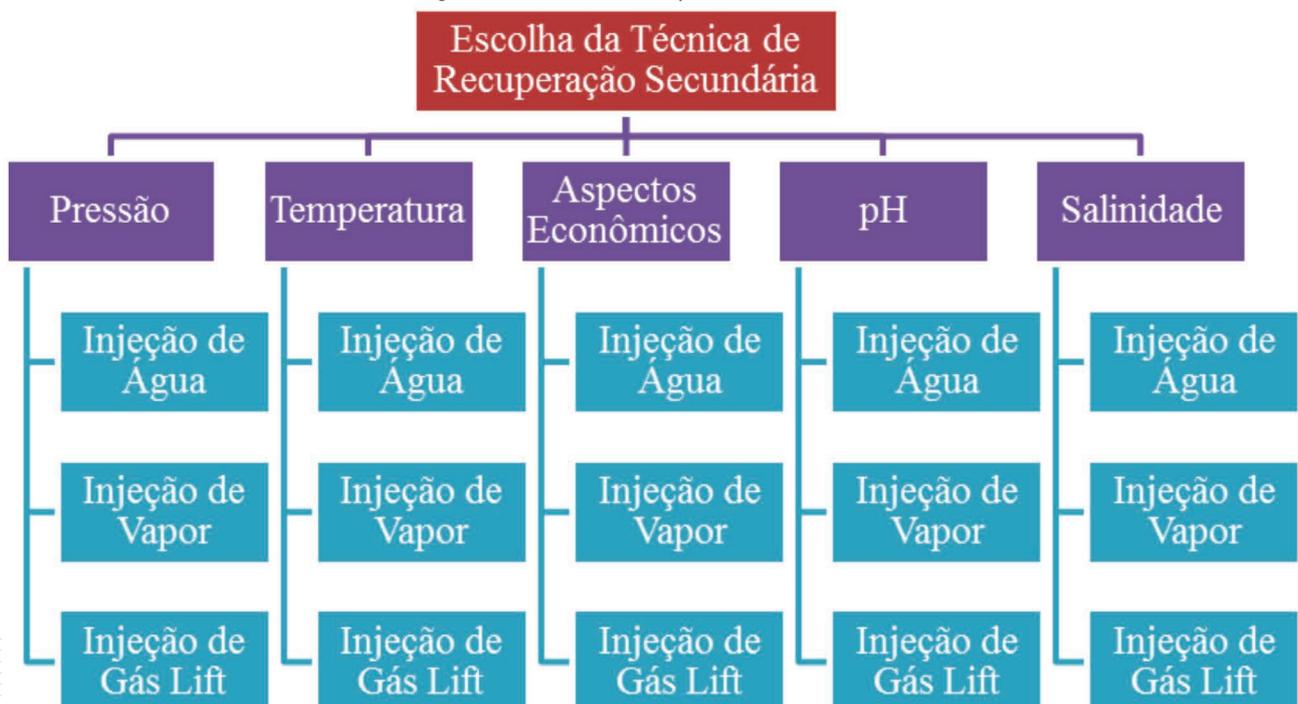
Equação 3 –  $A1 * w = \lambda * w$   $IC = (\lambda - n) / (n - 1)$   $RC = IC / IR$

### 2.2 Construir $A''_{n \times m}$ para cada critério em relação as alternativas;

3. Obter a prioridade composta das alternativas como: Equação 4 –  $A'' * w$

A seguir, é apresentada a aplicação das etapas do método AHP, sua estrutura, elementos e conceitos fundamentais. Para melhor esclarecer o problema deste trabalho, a construção da hierarquia dos critérios se estrutura da seguinte forma: Objetivo: Escolha da melhor técnica de recuperação secundária; Critérios: pressão, temperatura, aspectos econômicos, pH e Salinidade e; Alternati-

Figura 3 – Estrutura Hierárquica dos Critérios



Fonte: Autoria própria, 2013.

vas: Injeção a Água, Injeção à vapor e gás Lift (ver Figura 3).

O decisor deve efetuar a estruturação do problema, combinando os critérios segundo os diversos níveis hierárquicos necessários, para que se obtenha uma fiel representação do problema. Dessa forma, determinam-se as alternativas do problema, que serão analisadas em cada critério do nível hierárquico mais baixo.

A estruturação do problema deve ser feita de tal forma que os critérios aplicados em cada nível devem ser homogêneos e não redundantes. Ou seja, os critérios de um determinado nível devem apresentar o mesmo grau de importância relativa dentro do seu nível (homogeneidade), e um critério de um determinado nível deve ser independente em relação aos critérios dos níveis inferiores (não redundância).

Depois de construir a hierarquia, cada decisor deve fa-

zer uma comparação, par a par, de cada elemento em um nível hierárquico dado, criando-se uma matriz de decisão quadrada. Nessa matriz, o decisor representará, a partir de uma escala predefinida, sua preferência entre os elementos comparados, sob o enfoque do nível imediatamente superior.

A segunda etapa consiste em estabelecer prioridades entre os elementos para cada nível da hierarquia, por meio de uma matriz de comparação. O primeiro ponto a ser considerado é a determinação de uma escala de valores para comparação, que não deve exceder um total de nove fatores, a fim de se manter a matriz consistente. Assim, usou a Escala Fundamental definida por Saaty.

A comparação par a par das alternativas é utilizada realizando uma escala linear própria, que varia de 1 a 9, a qual é denominada Escala Fundamental de Saaty.

**Tabela 5** – Escala Fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Contribuição idêntica
3	Fraca importância	Julgamento levemente superior
5	Forte importância	Julgamento fortemente a favor
7	Muito forte importância	Dominância reconhecida
9	Importância absoluta	Dominância comprovada
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Dúvida

Fonte: Saaty, 1996.

Dessa maneira será gerada uma matriz quadrada recíproca positiva conhecida como Matriz Dominante. Assim a Matriz Dominante é aquela que expressa o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, onde as alternativas são com-

paradas par a par.

Considerando os 5(cinco) critérios da estrutura hierárquica foi desenvolvida a seguinte matriz de comparação quadrada, apresentada pela Matriz Superior A para os critérios.

**Tabela 6** – Matriz Superior A

Matriz A	Pressão	Temperatura	A. Econômicos	pH	Salinidade
Pressão	1,00	6,57	0,14	6,71	6,86
Temperatura		1,00	0,14	5,88	5,89
A. Econômicos			1,00	7,86	8,00
pH				1,00	3,11
Salinidade					1,00

Fonte: Autoria Própria, 2013

Definida a estrutura hierárquica, realiza-se a comparação par a par de cada alternativa dentro de cada critério do nível imediatamente superior, ou seja, para cada critério serão relacionadas as alternativas devidamente aplicadas na Escala Fundamental.

Na etapa três, para obter a prioridade relativa de cada

critério é necessário:

a) Normalizar os valores da matriz de comparações (Matriz A) – tendo por objetivo igualar todos os critérios a uma mesma unidade, para isto cada valor da matriz é dividido pelo total da sua respectiva coluna (ver Tabelas 7 e 8).

**Tabela 7 – Matriz A, soma das colunas**

<b>Matriz A'</b>	<b>Pressão</b>	<b>Temperatura</b>	<b>A. Econômicos</b>	<b>pH</b>	<b>Salinidade</b>
Pressão	1,00	6,57	0,14	6,71	6,86
Temperatura	0,15	1,00	0,14	5,88	5,89
A. Econômicos	7,38	7,20	1,00	7,86	8,00
pH	0,15	0,17	0,13	1,00	3,11
Salinidade	0,15	0,17	0,13	0,32	1,00
<b>Soma</b>	<b>8,83</b>	<b>15,11</b>	<b>1,53</b>	<b>21,77</b>	<b>24,85</b>

*Fonte: Autoria Própria, 2013*

**Tabela 8 – Matriz A normalizada**

<b>Matriz A</b>	<b>Pressão</b>	<b>Temperatura</b>	<b>A. Econômicos</b>	<b>pH</b>	<b>Salinidade</b>
Pressão	0,11	0,43	0,09	0,31	0,28
Temperatura	0,02	0,07	0,09	0,27	0,24
A. Econômicos	0,84	0,48	0,66	0,36	0,32
pH	0,02	0,01	0,08	0,05	0,13
Salinidade	0,02	0,01	0,08	0,01	0,04

*Fonte: Autoria Própria, 2013*

b) Obter o vetor de prioridades – tendo por objetivo identificar a ordem de importância de cada critério, para isto é calculada a média aritmética dos valores de cada linha da matriz normalizada obtida no item anterior.

**Tabela 9 – Matriz A e o vetor prioridade**

<b>Matriz A'''</b>	<b>Pressão</b>	<b>Temperatura</b>	<b>A. Econômicos</b>	<b>pH</b>	<b>Salinidade</b>	<b>Prioridade</b>
Pressão	0,11	0,43	0,09	0,31	0,28	0,2442
Temperatura	0,02	0,07	0,09	0,27	0,24	0,1362
A. Econômicos	0,84	0,48	0,66	0,36	0,32	0,5301
pH	0,02	0,01	0,08	0,05	0,13	0,0565
Salinidade	0,02	0,01	0,08	0,01	0,04	0,0329

*Fonte: Autoria Própria, 2013*

Assim, a partir dos resultados obtidos, o critério Aspectos Econômicos veio em primeiro lugar seguido de pressão, temperatura, pH e salinidade.

Na etapa 4 é feita a avaliação de consistência das prioridades relativas, assim as próximas etapas são:

a) Calcular a Razão de Consistência (RC) para medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos completamente aleatórios.

As avaliações do método AHP são baseadas no pressuposto de que o decisor é racional, isto é, se A é preferido a B e B é preferível a C, então A é preferido a C. Se o RC é superior a 0,19 os julgamentos não são confiáveis porque estão muito próximos para o conforto de aleatoriedade, portanto nesse caso verifica-se que pode existir uma variação de 0,11 em se tratando de alternativas que possuem muitos elementos envolvidos. Para calcular a Razão de Consistência (RC), é necessário primeiro obter o valor de  $\lambda_{max}$  que representa o maior autovalor da matriz A, obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Equação 5} - Aw = \lambda_{max} x w$$

Onde:

A é a Matriz A.

w é o vetor de prioridade.

Uma vez calculado  $\lambda_{max}$ , deve-se calcular o Índice de Consistência (IC) para logo calcular a Razão de Consistência (RC). O índice de consistência é determinado de acordo com a fórmula abaixo, em que n é o número de critérios (ordem da matriz):

$$\text{Equação 6} - IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$$

A Razão de Consistência (RC) é obtida pela fórmula:

$$\text{Equação 7} - RC = \frac{IC}{RI}$$

Em que IC é o índice de consistência referente a um grande número de comparações par a par efetuadas. Este é um índice aleatório calculado para matrizes quadradas

de ordem  $n$  pelo Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos EUA. Para a matriz  $n = 5$ ,  $RI = 1.12$ .

Assim se obteve os seguintes resultados:

**Tabela 10** –  $\lambda_{max}$ , Índice e Razão de Consistência para a Matriz A dos Critérios.

Variável	Resultado
$\lambda_{max}$	6,22
IC	0,31
RC	0,27

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

Com o Razão de Consistência igual a 0,27, menor que 0,3, para o presente estudo se considera consistente tendo em vista os aspectos diversos na avaliação da escolha da técnica de recuperação secundária.

A quinta etapa é a construção da matriz de comparação paritária para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas.

Todos os procedimentos para a construção da matriz de

comparação e para a determinação da prioridade relativa de cada critério devem ser feitos novamente, observando agora a importância relativa de cada uma das alternativas que compõem a estrutura hierárquica do problema em questão. As Tabelas 11 a 15 são as matrizes paritárias para cada critério, considerando cada uma das alternativas selecionadas que foram utilizadas nos cálculos para encontrar a Tabela 16 com os auto vetores de prioridade das alternativas.

**Tabela 11** – Matriz Superior - Pressão.

Matriz Pressão	Água	Vapor	Gás Lift
Água	1	4,19	5,04
Vapor	0,23864	1	4,90
Gás Lift	0,19835	0,20393	1

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

**Tabela 12** – Matriz Superior - Temperatura.

Matriz Pressão	Água	Vapor	Gás Lift
Água	1	1,13	4,09
Vapor	0,88719	1	7,29
Gás Lift	0,24466	0,13725	1

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

**Tabela 13** – Matriz Superior – Aspectos Econômicos.

Matriz A. Econômicos	Água	Vapor	Gás Lift
Água	1	2,23	3,49
Vapor	0,44881	1	4,18
Gás Lift	0,28646	0,23909	1

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

**Tabela 14** – Matriz Superior - pH.

Matriz pH	Água	Vapor	Gás Lift
Água	1	1,33	4,77
Vapor	0,75259	1	4,04
Gás Lift	0,20974	0,24779	1

Fonte: Aatoria Própria, 2013.

**Tabela 15** – Matriz Superior - Salinidade.

Matriz Salinidade	Água	Vapor	Gás Lift
Água	1	2,54	4,48
Vapor	0,39381	1	4,59
Gás Lift	0,22346	0,2179	1

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Com os dados coletados acima entraram as informações demonstradas na Tabela 16 e 17.

**Tabela 16** – Autovetores de prioridade para cada critério, considerando as alternativas.

	Pressão	Temperatura	A. Econômicos	pH	Salinidade
Água	1,933347	1,297185	1,621384	1,511647	1,738813
Vapor	0,799454	1,446614	1,029281	1,183296	0,965657
Gás Lift	0,267198	0,256199	0,349333	0,305056	0,295529

Fonte: Autoria Própria, 2013.

**Tabela 17** –  $\lambda_{max}$ , Índice e Razão de Consistência das Matrizes paritária para cada critério, considerando as alternativas.

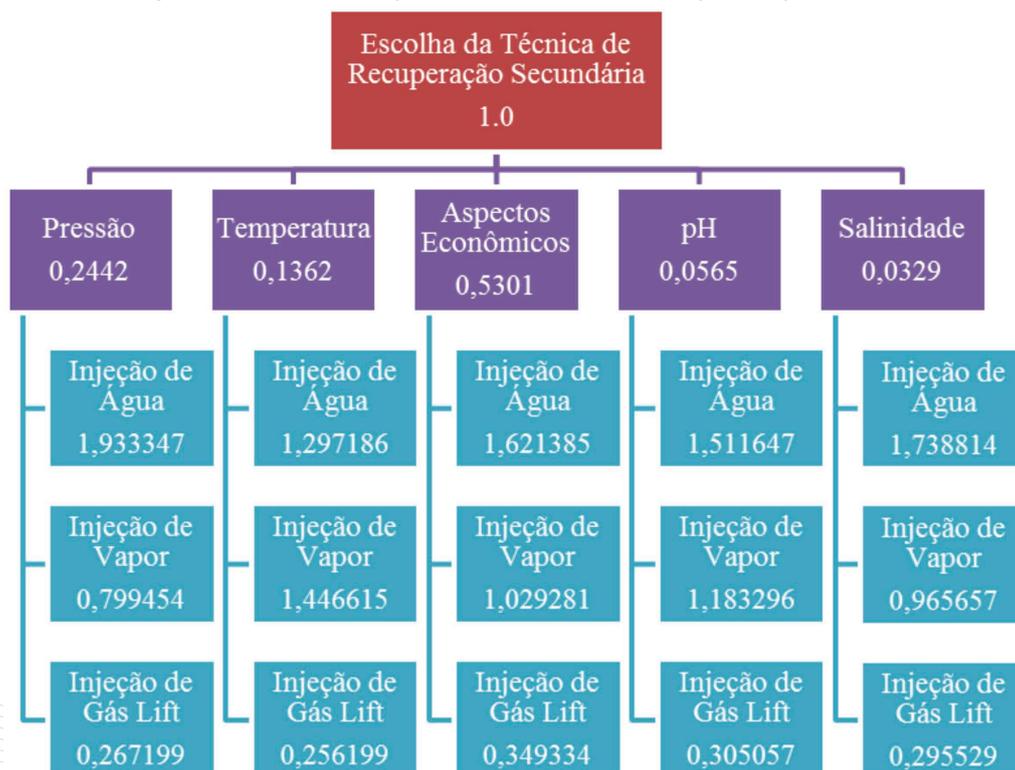
Variável	Pressão	Temperatura	A. Econômicos	pH	Salinidade
$\lambda_{max}$	3,23	3,05	3,11	3,00	3,10
IC	0,12	0,03	0,05	0,001	0,05
RC	0,20	0,05	0,09	0,001	0,09

Fonte: Autoria Própria, 2013.

Verifica-se que as Razões de Consistência para as Matrizes paritárias para cada Critério, considerando as alternativas também são consistentes, menor que 0,30. Assim,

constrói-se Estrutura Hierárquica dos Critérios com seus respectivos pesos (Figura 3).

**Figura 4** – Estrutura Hierárquica dos Critérios com seus respectivos pesos.



Fonte: Autoria própria, 2013.

A penúltima etapa é obtida a prioridade composta para as alternativas. Nesta penúltima etapa, obtém-se as prioridades compostas das alternativas, multiplicando os

valores anteriores e os das prioridades relativas, obtidos no início do método, ou seja:

**Figura 5** – Cálculo das Prioridades Compostas das Alternativas

$$\begin{pmatrix} 1,93335 & 1,29719 & 1,62138 & 1,51165 & 1,73881 \\ 0,79945 & 1,44661 & 1,02928 & 1,18330 & 0,96566 \\ 0,26720 & 0,25620 & 0,34933 & 0,30506 & 0,29553 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,24422 \\ 0,13625 \\ 0,53009 \\ 0,05652 \\ 0,03293 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,65106 \\ 1,03663 \\ 0,31231 \end{pmatrix}$$

Fonte: Autoria Própria, 2013.

**Tabela 18** – Prioridade Composta das Alternativas.

Técnica de Recuperação	Prioridade Composta
Água	1,651063219
Vapor	1,036625341
Gás Lift	0,31231144

Fonte: Autoria Própria, 2013.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o auxílio da ferramenta de apoio multicritério, verifica-se a viabilidade de sua aplicação para escolha da melhor técnica de recuperação de reservatório de petróleo, analisando de forma hierarquizada todos os indicadores

potencializadores da escolha. Contudo o presente estudo se apresenta como instrumento viável para auxílio na tomada de decisão do processo de escolha da técnica de recuperação de reservatório mais adequada, deixando a referida decisão de ser empírica e passando a ser sistematizada, envolvendo elementos maximizadores da produção.

## REFERÊNCIAS

- ALBOUDWAREJ, H.; FELIX, J.; TAYLOR, S. **Highlighting heavy oil**, *Oilfield Review*. p.34-53, Jun. 2006, disponível em: <www.slb.com> Acesso em: maio. 2013.
- GOMES, Luiz F. A. M.; FREITAS JUNIOR, Antonio A. A importância do apoio multicritério à decisão na formação do administrador. **Revista ANGRAD**, v.1, n.1. Rio de Janeiro, jul./set.2000.
- LENGNICK-HALL, M. L. Identify, Learning and Decision Making in Changing Organizations. **Personnel Psychology**, v. 56, n. 2, Summer, p. 530, 2003.
- PASSOS, G. D. **Injeção de dióxido de carbono (CO2) como método de recuperação terciária de petróleo em campos maduros**: uma abordagem sob a ótica da ecologia industrial. 2002. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material\_online/monografias/mono\_goncalo\_dantas.zip>. Acesso em: fev. 2013.
- ROBBINS, S. P.; DECENZO, D. A. **Fundamentos de Administração**: conceitos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2004.
- ROSA et al. **Engenharia de Reservatórios**. Interciência. Rio de Janeiro, 2006.
- SAATY, T. L. **Decisões Vencedoras**. Tradução de Hugo Melo. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2002.
- SIMON, H.A. **The New Science of the management decision**. Harper and Brothers Publicits, 1960.
- TAPSCOTT, D.; CASTON, A. **Mudança de Paradigma**: A nova promessa da Tecnologia da Informação. São Paulo: Makron-McGraw-Hill, 1995.
- THOMAS, J. E. **Fundamentos da Engenharia do Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência 2001.
- TONN, B. E. The Future of Future Decision Making. **Futures**, v. 35, n. 6, p. 673-688, jun.2003.

