

Rogério José Ramos de Oliveira Magalhães

**Avaliação do Impacto Econômico do
Desenvolvimento da Produção Offshore**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Orientadores: Eloi Fernandez y Fernandez
Oswaldo A. Pedrosa Jr.

Rio de Janeiro
Março de 2007

Rogério José Ramos de Oliveira Magalhães

**Avaliação do Impacto Econômico do
Desenvolvimento da Produção Offshore**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Eloi Fernandez y Fernandez

Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Oswaldo Antunes Pedrosa Jr.

Co-Orientador

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Luiz Fernando Alzuguir Azevedo

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Antonio Cláudio de França Correia

PETROBRAS

José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-RIO

Rio de Janeiro, 27 de março de 2007

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Rogério José Ramos de Oliveira Magalhães

Engenheiro eletrônico formado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 1997.

Ficha Catalográfica

Magalhães, Rogério José Ramos de Oliveira

Avaliação do impacto econômico do desenvolvimento da produção offshore / Rogério José Ramos de Oliveira Magalhães ; orientadores: Eloi Fernandez y Fernandez, Oswaldo Pedrosa Jr. – 2007.

162 f. : il. (col.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui bibliografia

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Offshore. 3. Petróleo. 4. Análise econômica. 5. Previsão de produção. 6. Campo de petróleo. 7. Campo offshore. I. Fernandez y Fernandez, Eloi. II. Pedrosa Júnior, Oswaldo Pedrosa. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. III. Título.

CDD: 621

Para meus pais, Roberto e Helena
e a minha filha, Maria Gabriela
pelo apoio e confiança

Agradecimentos

Ao professor Oswaldo A. Pedrosa Jr. por toda a sua dedicação e auxílio para o bom desempenho desta obra.

Ao professor Eloi Fernandez y Fernandez pelo apoio e orientação dos trabalhos.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

A minha filha que tanto me inspira e me anima.

Aos meus pais, pela educação, atenção e carinho de todas as horas.

A todos os amigos e familiares que de uma forma ou de outra me estimularam ou me ajudaram.

Resumo

Magalhães, Rogério José Ramos de Oliveira; Fernandez, Eloi Fernandez y; Pedrosa Jr., Oswaldo Antunes. **Avaliação do Impacto Econômico do Desenvolvimento da Produção Offshore**. Rio de Janeiro, 2007. 162p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Alguns projetos típicos de exploração de petróleo em águas profundas no Brasil exigem que se adotem alternativas de menor custo de desenvolvimento para que possam ser viabilizados. Nesses casos, deve-se também buscar reduzir o tempo para o desenvolvimento da produção, incluindo a perfuração de poços, o sistema de coleta submarino e a instalação das unidades de produção. Além disso, esses projetos podem ser significativamente afetados pelo regime fiscal vigente. É importante salientar que projetos de desenvolvimento *offshore* exercem um forte impacto sócio-econômico no país, não só pela geração de receita fiscal oriunda da produção petrolífera como também pela geração de emprego e renda no suprimento de bens e serviços para o desenvolvimento da produção. O presente trabalho tem por objetivo analisar uma nova proposta de um algoritmo de previsão de produção e da viabilidade econômica dos campos offshore baseado no regime fiscal vigente.

Palavras-chave

Engenharia mecânica; Offshore; Petróleo; Análise econômica; Previsão de produção; Campo de petróleo; Campo offshore.

Abstract

Magalhães, Rogério José Ramos de Oliveira; Fernandez, Eloi Fernandez y; Pedrosa Jr., Oswaldo Antunes. **Avaliação do Impacto Econômico do Desenvolvimento da Produção Offshore**. Rio de Janeiro, 2007. 162p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Some typical deep water offshore reservoirs in Brazil requires the use some less expensive alternatives in order to make them economically attractive. In these cases we also need to reduce the development time including the perforation of the fields, the under water collecting system and the installation of the production units. These projects can also very affected according with the standing tax structure. It is also important to enforce that that offshore projects has a large impact on the social-economics of the country, not only for the generation of revenue form the tax income but also because of the job generation and for the needs of goods and services from the surrounding region. The present work has the objective to analyze a new numerical production algorithmic for offshore fields and also economic viability of the offshore fields based on the current tax structure.

Key-words

Mechanical Engineering; Offshore; Petroleum; Economical analysis; Production prediction; Petroleum reservoir; Offshore Oil field.

Sumário

1 Introdução	18
2 Análise Bibliográfica	20
3 Balanço de Materiais em Reservatório	25
3.1. Mecanismos Primários de Recuperação	25
3.1.1. Mecanismos de Gás em Solução	26
3.1.2. Mecanismo de Capa de Gás	27
3.1.3. Mecanismo de Influxo de Água	27
3.1.4. Mecanismo de Compactação de Rocha	28
3.2. Equação Generalizada do Balanço de Materiais	28
3.2.1. Produção Volumétrica Acumulada de Fluidos	30
3.2.2. Influxo de Água Acumulado	31
3.2.3. Expansão Volumétrica de Fluidos e Rocha	31
3.2.3.1. Expansão Volumétrica do Óleo + Gás em Solução	32
3.2.3.2. Expansão Volumétrica da Capa de Gás	32
3.2.3.3. Redução do Volume Poroso de Hidrocarbonetos	33
3.2.4. Balanço de Materiais em Reservatório com Mecanismo de Gás em Solução	35
3.2.4.1. Comportamento do Reservatório Acima da Pressão de Saturação	36
3.2.4.2. Comportamento de Reservatório Abaixo da Pressão de Saturação	37
3.2.5. Balanço de Materiais em Reservatório com Mecanismo de Capa de Gás	39
3.2.6. Balanço de Materiais em Reservatório com Mecanismo de Influxo de Água	41
3.3. Razão Gás-Óleo Instantânea	44
4 Modelo Analítico de Previsão de Comportamento do Reservatório	48
4.1. Equação de Balanço de Materiais para Reservatório Saturado	48
4.2. Razões de Produções de Fluidos	52

4.3. Saturação de Fluidos	53
4.3.1. Saturação de Óleo	53
4.3.2. Saturação de Gás	54
4.4. Equações de Balanço de Materiais para Reservatório	
Subsaturado (sem capa de gás)	55
4.4.1. Influxo Acumulado de Água do Aquífero (Método e Fetkovitch)	57
4.5. Condições de Produção dos Poços	59
4.6. Cálculo Para Manutenção de Pressão no reservatório	60
4.7. Método de Cálculo - Balanço de Materiais / Mecanismo de	
Gás em Solução / Injeção de Água	62
4.7.1. Procedimento de Cálculo	62
4.7.2. Memória de Cálculo	67
4.7.3. Cálculo	69
5 Conclusão Fase 1	73
6 Análise Econômica	74
6.1. Fundamentos	74
6.2. Método do Fluxo de Caixa Descontado	75
6.3. Métodos Analíticos	76
6.3.1. Valor Presente Líquido	77
6.3.2. Taxa Interna de Retorno	78
6.4. Valores de Referências	79
6.4.1. Investimentos	79
6.4.2. Abandono do Campo	80
6.4.3. Custos Operacionais	81
6.4.4. Encargos Tributários	82
7 Aplicação do Modelo em Projetos de Desenvolvimento de Produção	88
7.1. Desenvolvimento dos Campos	90
7.2. Aplicação do Modelo de Previsão de Produção e Análise	
Econômica no Campo 1	91
7.2.1. Aplicação do Modelo no Campo 1	92
7.2.1.1. Previsão de Produção do Campo 1	92

7.2.1.2. Análise Econômica do Campo 1	95
7.2.1.2.1. Estudo Econômico Sem a Consideração da Incidência de Impostos do Campo 1	95
7.2.1.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 1	97
7.2.1.3. Análise de Resultados do Campo 1	98
7.2.1.3.1. Modelo Base do Campo 1	98
7.2.1.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 1	102
7.2.2. Aplicação do Modelo no Campo 2	102
7.2.2.1. Previsão de Produção do Campo 2	103
7.2.2.2. Análise Econômica do Campo 2	105
7.2.2.2.1. Estudo Econômico Sem a Incidência de Impostos do Campo 2	106
7.2.2.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 2	107
7.2.2.3. Análise de Resultados do Campo 2	108
7.2.2.3.1. Modelo Base do Campo 1	109
7.2.2.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 2	112
7.2.3. Aplicação do Modelo no Campo 3	113
7.2.3.1. Previsão de Produção do Campo 3	113
7.2.3.2. Análise Econômica do Campo 3	116
7.2.3.2.1. Estudo Econômico Sem a Incidência de Impostos do Campo 3	116
7.2.3.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 3	118
7.2.3.3. Análise de Resultados do Campo 3	119
7.2.3.3.1. Modelo Base do Campo 3	120
7.2.3.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 3	123
7.2.4. Aplicação do Modelo no Campo 4	124
7.2.4.1. Previsão de Produção do Campo 4	124
7.2.4.2. Análise Econômica do Campo 4	127
7.2.4.2.1. Estudo Econômico Sem a Incidência de Impostos do Campo 4	127
7.2.4.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 4	129
7.2.4.3. Análise de Resultados do Campo 4	130
7.2.4.3.1. Modelo Base do Campo 4	130

7.2.4.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 4	134
7.2.5. Aplicação do Modelo no Campo 5	135
7.2.5.1. Previsão de Produção do Campo 5	135
7.2.5.2. Análise Econômica do Campo 5	138
7.2.5.2.1. Estudo Econômico Sem a Incidência de Impostos do Campo 5	138
7.2.5.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 5	140
7.2.5.3. Análise de Resultados do Campo 5	141
7.2.5.3.1. Modelo Base do Campo 5	142
7.2.5.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 5	145
7.2.6. Aplicação do Modelo no Campo 6	146
7.2.6.1. Previsão de Produção do Campo 6	146
7.2.6.2. Análise Econômica do Campo 6	149
7.2.6.2.1. Estudo Econômico Sem a Incidência de Impostos do Campo 6	149
7.2.6.2.2. Estudo Econômico da Incidência de Impostos do Campo 6	151
7.2.6.3. Análise de Resultados do Campo 6	152
7.2.6.3.1. Modelo Base do Campo 6	152
7.2.6.3.2. Estudo do Impacto Econômico do Preço do Barril de Petróleo do Campo 6	156
8 Conclusão	157
9 Referências Bibliográficas	160

Lista de figuras

Figura 1 – Mecanismo de Gás em solução	26
Figura 2 – Mecanismo de Capa de gás	27
Figura 3 – Mecanismo de Influxo de Água	28
Figura 4 – Esquema do balanço de materiais num reservatório	30
Figura 5 - Histórico de pressão e razão gás-óleo em reservatório com mecanismo de gás em solução	36
Figura 6 – Injeção de água e gás natural	39
Figura 7 – Determinação de m e N – reservatório com capa de gás	41
Figura 8 – Determinação de N – mecanismo de influxo de água	44
Figura 9 – Gráfico das vazões médias	52
Figura 10 – Receitas e despesas anuais.	76

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela dos Encargos Tributários de um campo de produção	82
Tabela 2 – Cálculo da Participação Especial para o primeiro ano de produção de cada campo em águas rasas	83
Tabela 3 – Cálculo da Participação Especial para o primeiro ano de produção de cada campo em águas profundas	84
Tabela 4 – Cálculo da Participação Especial para o segundo ano de produção de cada campo em águas rasas	84
Tabela 5 – Cálculo da Participação Especial para o segundo ano de produção de cada campo em águas profundas	85
Tabela 6 – Cálculo da Participação Especial para o terceiro ano de produção de cada campo em águas rasas.	85
Tabela 7 – Cálculo da Participação Especial para o terceiro ano de produção de cada campo em águas profundas.	86
Tabela 8 – Cálculo da Participação Especial a partir do terceiro ano de produção de cada campo em águas rasas.	86
Tabela 9 – Cálculo da Participação Especial a partir do terceiro ano de produção de cada campo em águas profundas.	87
Tabela 10 – Análise econômica baseada na previsão de produção do campo 1.	96
Tabela 11 – Continuação da análise econômica do campo 1.	97
Tabela 12 – Análise econômica da previsão de produção do campo 2.	106
Tabela 13 – Continuação da análise econômica do campo 2.	107
Tabela 14 – Análise econômica da previsão de produção do campo 3.	117
Tabela 15 – Continuação da análise econômica do campo 3	118
Tabela 16 – Análise econômica da previsão de produção do campo 4	128
Tabela 17 – Análise econômica da previsão de produção do campo 5.	139
Tabela 18 – Continuação da análise econômica do campo 5.	140
Tabela 19 – Análise econômica da previsão de produção do campo 6.	150
Tabela 20 – Continuação da análise econômica do campo 6.	151

Lista de ilustrações

Ilustração 1 – Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 1	99
Ilustração 2 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 1.	102
Ilustração 3 - Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 2	109
Ilustração 4 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 2.	112
Ilustração 5 – Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 3.	120
Ilustração 6 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 3.	124
Ilustração 7 – Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 4.	131
Ilustração 8 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 4.	134
Ilustração 9 – Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 5	142
Ilustração 10 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 5.	145
Ilustração 11 – Gráfico de análise do Investimento x VPL do Campo 6.	153
Ilustração 12 – Gráfico com a análise de sensibilidade do VPL x Valor do Barril de Petróleo para o Campo 6.	156

Lista de quadros

Quadro 1 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 1.	93
Quadro 2 – Vazões anuais de Gás do campo 1.	93
Quadro 3 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 1.	94
Quadro 4 – Vazão acumulada de Gás do campo 1.	94
Quadro 5 – Fator de recuperação estimado do Campo 1.	95
Quadro 6 – Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 1.	98
Quadro 7 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 1 sem incidência de impostos nos investimentos.	100
Quadro 8 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 1 quando há incidência de impostos nos investimentos	101
Quadro 9 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 2.	103
Quadro 10 – Vazão anual de Gás do campo 2.	104
Quadro 11 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 2.	104
Quadro 12 – Vazões acumulada de Gás do campo 2.	105
Quadro 13 – Fator de recuperação estimado do campo 2.	105
Quadro 14 - Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 2.	108
Quadro 15 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 2 sem incidência de impostos nos investimentos.	110
Quadro 16 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 2 quando há incidência de impostos nos investimentos	111
Quadro 17 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 3.	114
Quadro 18 – Vazão anual de Gás do campo 3.	114
Quadro 19 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O)	

do campo 3.	115
Quadro 20 – Vazão acumuladas de Gás do campo 3	115
Quadro 21 – Fator de recuperação estimado do campo 3.	116
Quadro 22 – Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 3.	119
Quadro 23 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva de um campo 3 sem incidência de impostos nos investimentos.	121
Quadro 24 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 3 quando há incidência de impostos nos investimentos.	122
Quadro 25 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 4.	125
Quadro 26 – Vazão anual de Gás do campo 4.	125
Quadro 27 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 4.	126
Quadro 28 – Vazões acumuladas de Gás do campo 4.	126
Quadro 29 – Fator de recuperação estimado do campo 4.	127
Quadro 30 – Continuação da análise econômica do campo 4.	129
Quadro 31 – Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 4.	130
Quadro 32 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 4 sem incidência de impostos nos investimentos.	132
Quadro 33 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 4 quando há incidência de impostos nos investimentos.	133
Quadro 34 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 5.	136
Quadro 35 – Vazão anual de Gás do campo 5.	136
Quadro 36 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 5.	137
Quadro 37 – Vazões acumuladas de Gás do campo 5.	137
Quadro 38 – Fator de recuperação estimado do campo 5.	138
Quadro 39 – Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 5.	141
Quadro 40 - Impostos arrecadados durante a vida produtiva do	

campo 5 sem incidência de impostos nos investimentos	143
Quadro 41 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 5 quando há incidência de impostos nos investimentos.	144
Quadro 42 – Vazões anuais de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 6.	147
Quadro 43 – Vazão anual de Gás do campo 6.	147
Quadro 44 – Vazões acumuladas de Óleo (Np) e Água (H ₂ O) do campo 6.	148
Quadro 45 – Vazões acumuladas de Gás do campo 6.	148
Quadro 46 – Fator de recuperação estimado do campo 6.	149
Quadro 47 – Quadro com a incidência de impostos sobre os investimentos no campo 6.	152
Quadro 48 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 6 sem incidência de impostos nos investimentos.	154
Quadro 49 – Impostos arrecadados durante a vida produtiva do campo 6 quando há incidência de impostos nos investimentos	155
Quadro 50 – Taxa de Retorno dos campos com e sem imposto	158