

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Livia Hastenreiter

**Avaliação Probabilística de Reservas de Óleo e Gás
Considerando o Efeito da Variação do Preço do Óleo**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2012



Livia Hastenreiter

Avaliação Probabilística de Reservas de Óleo e Gás Considerando o Efeito da Variação do Preço do Óleo

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

Prof. Silvio Hamacher

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Dr. Daniel Nunes de Miranda Filho

Petrobras

Prof. Carlos Patricio Samanez

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de fevereiro de 2012

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

Livia Hastenreiter

Graduou-se em Engenharia de Produção na UFF em 2003. Especializou-se em Engenharia de Petróleo pela UFBA em 2006. Atualmente trabalha como Engenheira de Petróleo na Petrobras.

Ficha Catalográfica

Hastenreiter, Livia

Avaliação probabilística de reservas de óleo e gás considerando o efeito da variação do preço do óleo / Livia Hastenreiter; orientador: Silvio Hamacher. – 2012.

102 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Reservas de óleo e gás. 3. Avaliação econômica. 4. Abordagem probabilística. 5. Preço do óleo. 6. Custo operacional. I. Hamacher, Silvio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Ao professor Silvio Hamacher, orientador da dissertação, pelos ensinamentos durante toda a condução deste trabalho;

Ao Carlos Patricio Samanez, Daniel Nunes de Miranda Filho e Luiz Felipe Roris Rodriguez Scavarda do Carmo pela pronta disposição em participar da banca examinadora;

À Petrobras, pelo incentivo para a elaboração desta pesquisa;

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro;

Ao Jorge Montechiari e Mauricio Galvão pelas diversas contribuições ao trabalho;

Aos meus pais, Cid e Angélica, pelo apoio incondicional;

Aos meus irmãos, Thiago e Leticia, pela torcida incessante;

Ao meu avô Nilton (*in memoriam*) e à minha avó Nair, por me ensinarem que sonhar é preciso.

Resumo

Hastenreiter, Livia; Hamacher, Silvio (Orientador). **Avaliação Probabilística de Reservas de Óleo e Gás Considerando o Efeito da Variação do Preço do Óleo**. Rio de Janeiro, 2012. 102p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta pesquisa apresenta uma metodologia probabilística para estimativa de reservas de óleo e gás. Nesta metodologia são consideradas as incertezas de importantes variáveis presentes na avaliação econômica da produção, como as vazões de óleo e gás, os preços e custos operacionais. Além disso, neste trabalho busca-se compreender o impacto da variação do preço do óleo no comportamento dos custos no longo prazo. A relação de dependência entre as variáveis preço e custo também está presente na proposta de estimativa de reservas. Um sistema foi desenvolvido a fim de aplicar a metodologia, o que permitiu a verificação e análise dos resultados de um estudo de caso com dados reais de um campo de petróleo. Os resultados mostraram a relevância de se avaliar e quantificar as incertezas na avaliação econômica das reservas, assim como a necessidade de considerar o efeito da variação do preço do óleo nos custos operacionais. Aponta-se, assim, uma nova forma de estimar reservas, segundo uma abordagem probabilística, que pode impactar significativamente o volume de óleo e gás economicamente recuperável que é divulgado por uma companhia petrolífera.

Palavras-chave

Reservas de óleo e gás; avaliação econômica; abordagem probabilística; preço do óleo; custo operacional.

Abstract

Hastenreiter, Livia; Hamacher, Silvio (Advisor). **Probabilistic Evaluation of Oil and Gas Reserves Considering the Effect of Change in the Oil Price**. Rio de Janeiro, 2012. 102p. MSc Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This study presents a probabilistic methodology for estimating oil and gas reserves. The methodology takes into account the uncertainties of important variables present in the economic evaluation of reserves, such as oil and gas production, prices, and operational costs. In addition, this research seeks to understand the impact of oil price variations on the cost behavior in the long term. The dependence relationship between price and cost is also considered in the proposed reserves estimation methodology. A system has been designed in order to apply the methodology, allowing the verification and analysis of the results in a case study with real data from an oil field. The results show the importance of evaluating and quantifying the uncertainties in the economic assessment of the reserves, as well as the need to consider the effect of oil price changes in operational costs. This research proposes, therefore, an alternative to estimating reserves, according to a probabilistic approach, which can significantly impact the volume of oil and gas economically recoverable to be disclosed by an oil company.

Keywords

Oil and gas reserves; economic assessment; probabilistic approach; oil price; operational cost.

Sumário

1 Introdução	11
1.1. Objetivos da Pesquisa	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.2. Objetivos Específicos	13
1.1.3. Motivação	13
1.2. Encaminhamento da Pesquisa	14
2 Revisão Bibliográfica	16
2.1. Histórico dos Critérios de Estimativa de Reservas	16
2.2. Definições de Termos da Indústria do Petróleo	18
2.3. Sistema de Categorização e Classificação de Reservas e Recursos	19
2.4. Estimativa de Volume Recuperável	22
2.4.1. Abordagem Determinística	22
2.4.2. Abordagem Probabilística	24
2.5. Avaliação Econômica	25
2.6. Ciclo de Vida de um Campo e Limite Econômico	27
2.7. Modelagem Econômica	28
2.8. Dependência entre Custo Operacional e Outras Variáveis	30
2.9. Considerações Finais	35
3 Metodologia de Avaliação da Relação entre o Custo Operacional e o Preço do Óleo	37
3.1. O Efeito-Preço	37
3.2. Regressão Linear	38
3.2.1. Função de Regressão	39
3.2.2. Método dos Mínimos Quadrados Ordinários	40
3.2.3. Distribuição de Probabilidade dos Estimadores	41
3.2.4. Qualidade do Ajustamento da Regressão	42
3.2.5. Hipóteses do Modelo Clássico de Regressão Linear	43
3.3. Considerações Finais	44
4 Resultados da Avaliação da Relação entre o Custo Operacional e o Preço do Óleo	46
4.1. Apresentação dos Dados	46
4.2. Regressão Linear	51
4.2.1. Resultados	52
4.2.2. Análise dos Resultados	55
4.3. Considerações Finais	57
5 Metodologia Probabilística de Estimativa de Reservas Considerando o Efeito-Preço	58
5.1. Etapas da Metodologia	58
5.2. Etapa 1: Variáveis de Entrada do Processo de Estimativa de Reservas	59
5.2.1. Vazões de Óleo e Gás	60
5.2.2. Preços de Óleo e Gás	61

5.2.3. Investimentos	62
5.2.4. Custos Operacionais	62
5.2.5. Módulo <i>PECE</i>	63
5.3. Etapa 2: Estimativa das Reservas	64
5.3.1. Sorteie um Módulo <i>PECE</i>	66
5.3.2. Calcule o Lucro Operacional	66
5.3.3. Construa o Histograma Final	67
5.4. Considerações Finais	68
6 Estudo de Caso	70
6.1. Características do Estudo de Caso	70
6.2. Variáveis de Entrada do Modelo	71
6.2.1. Vazões de Óleo e Gás	71
6.2.2. Preços de Óleo e Gás	73
6.2.3. Investimentos	76
6.2.4. Custos Operacionais	77
6.2.5. Módulo <i>PECE</i>	78
6.3. Resultados	78
6.4. Importância da Consideração do Efeito-Preço	80
6.5. Comparação entre a Metodologia Probabilística e Determinística	82
6.6. Considerações Finais	83
7 Conclusões e Recomendações	85
Referências bibliográficas	89
Apêndice I – O Problema da Heterocedasticidade	94
Teste para Detectar Heterocedasticidade	94
Medida Corretiva para a Heterocedasticidade	96
Apêndice II – O Problema da Auto-Correlação dos Resíduos	98
Teste para Detectar Auto-Correlação dos Resíduos	98
Medida Corretiva para a Auto-Correlação dos Resíduos	101

Lista de Figuras

Figura 1: Sistema de Classificação de Reservas e Recursos SPE-PRMS (Fonte: Adaptado de SPE-PRMS, 2007)	20
Figura 2: Gráfico dos Índices de Custo Operacional e Preço do Óleo de 1994 até 2009	50
Figura 3: Gráfico de Dispersão dos Índices de Custo Operacional e Preço do Óleo	52
Figura 4: Intervalos do teste de Durbin-Watson.....	54
Figura 5: Vazões de Produção de Óleo do Campo A	72
Figura 6: Vazões de Produção de Gás do Campo A.....	72
Figura 7: Trajetórias do Preço do Óleo	75
Figura 8: Trajetórias do Preço do Gás	76
Figura 9: Cronograma e Montante de Investimentos	76
Figura 10: Custos Operacionais Fixos e Variáveis.....	77
Figura 11: Histograma de Reservas.....	80

Lista de Tabelas

Tabela 1: Índices de Custo Operacional e Preço do Óleo de 1994 até 2009 (Fonte: Adaptado de EIA, 2010)	49
Tabela 2: Resultados da Regressão Linear Simples	52
Tabela 3: Resultados do Teste de White	53
Tabela 4: Resultados do Teste de Durbin-Watson	53
Tabela 5: Limites d_L e d_U de Durbin-Watson	54
Tabela 6: Tendência de Crescimento dos Preços de Óleo e Gás.....	74
Tabela 7: Desvios-Padrão dos Ruídos do Processo Auto-Regressivo.....	74
Tabela 8: Valor Esperado e Variância do Módulo <i>PECE</i>	78
Tabela 9: Reservas do Campo A	80
Tabela 10: Reservas Com e Sem o Efeito-Preço.....	81
Tabela 11: Reservas Probabilísticas e Determinísticas	82