



Marcos Tadayoshi Sawaki

**Intervalo de confiança para a apreciação de reservas de
óleo e gás**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Rio de Janeiro

Abril de 2003



Marcos Tadayoshi Sawaki

Intervalo de confiança para a apreciação de reservas de óleo e gás

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 do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Sílvio Hamacher

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Eugênio Kahn Epprecht

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Ney Augusto Dumont

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de abril de 2003

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

Marcos Tadayoshi Sawaki

Graduou-se em Engenharia Civil pela UFPA em março de 2001, trabalhou com gerenciamento de obras públicas e particulares.

Ficha Catalográfica

Sawaki, Marcos Tadayoshi

Intervalo de confiança para a apreciação de reservas de óleo de gás / Marcos Tadayoshi Sawaki; orientador: Leonardo Junqueira Lustosa. – Rio de Janeiro : Departamento de Engenharia Industrial, 2003.

76 f. : il. ; 29,7 cm

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

Inclui bibliografia.

1. Engenharia industrial - Teses. 2. Petróleo. 3. Estimativa de reservas. 4. Óleo. 5. Gás. 6. Crescimento de reservas. 7. Apreciação de reservas. 8. Intervalo de confiança. I. Lustosa, Leonardo Junqueira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus Pais Paulo e Mariza.

Agradecimentos

A Deus, pela minha existência;

À minha família pelo apoio durante toda minha vida;

Ao Professor Leonardo J. Lustosa, pela paciência, incentivo e orientação;

Ao Eugênio K. Epprecht e ao Sílvio Hamacher por participarem da comissão examinadora;

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro pela oportunidade do aprimoramento técnico;

À CAPES pelo auxílio financeiro de bolsa de estudos;

À Petrobras pelas informações e apoio prestados no âmbito do projeto PETROBRAS-CENPES No. 650 2 132 01 9;

Aos professores do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-RJ;

Aos funcionários do DEI, Cláudia, Isabel, João, Fernanda e Celi ;

Aos meus amigos Serjão, Marinho, Marcelo e Dudu, pelos momentos de estudo, descontração, alegria, discussão e amizade;

À Terezinha Ferreira de Oliveira que sempre esteve disposta a me ajudar;

Aos colegas do mestrado, pelo companheirismo e bons momentos juntos, sejam eles de estudo ou de descontração.

Resumo

Sawaki, Marcos Tadayoshi; Lustosa, Leonardo Junqueira. **Intervalo de confiança para a apreciação de reservas de óleo e gás**. Rio de Janeiro, 2003. 76p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A apreciação ou crescimento de reservas de óleo e gás é importante para uma empresa petrolífera, pois ela indica quanto uma reserva provada crescerá desde o início da produção até um determinado ano. Cada campo apresenta uma apreciação própria que depende de diversos fatores que fazem com que as reservas que antes eram classificadas como prováveis e possíveis sejam reclassificadas agora como provadas. Esta dissertação propõe determinar a apreciação de reservas para óleo e gás com base em séries históricas de campos com características semelhantes, calculando a apreciação média e a elas associando as incertezas da previsão por meio de intervalo de confiança para cada ano após o início da produção, e assim, determinando curvas delimitadoras do intervalo. Dos modelos estudados que satisfazem à condição de monotonicidade não-crescente (a taxa de apreciação anual diminui com o tempo), têm-se o logarítmico e o hiperbólico, sendo que o logarítmico foi o que teve melhor ajuste aos dados observados. Entretanto não se deve descartar o modelo hiperbólico, pois ele tem um apelo teórico e pode ter melhor ajuste do que o modelo logarítmico dependendo dos dados. Esse estudo é de caráter teórico, pois não foi possível obter dados reais de reservas.

Palavras-Chave

Petróleo, estimativa de reservas, óleo, gás, crescimento de reservas, apreciação de reservas, intervalo de confiança.

Abstract

Sawaki, Marcos Tadayoshi; Lustosa, Leonardo Junqueira(Advisor). **Confidence interval for oil and gas reserves appreciation**. Rio de Janeiro, 2003. 76p. M.Sc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Oil and gas reserve appreciation, or growth, is a phenomenon important to petroleum exploratory and producing companies. If well understood, the companies will improve their reserves projection into the future. Each field presents a particular appreciation that depends on various factors that move resources from an initial classification into proved reserve-classification. This thesis proposes a methodology for determining oil and gas reserves appreciation based on historical time series data from similar fields, calculating year to year average appreciation, and associating to each average a confidence interval. Two models were selected for adjustment (logarithmic and hyperbolic) both presenting monotonic non-increasing year to year growth. The logarithmic model presented better adjustment to a limited data-set but hyperbolic should not be discarded both because it has desirable features and may produce better future projections. The difficulties in obtaining adequate real historical data, and other kinds of information on reserves time series impeded further statistical analysis.

Keywords

Petroleum, oil, gas, reserves estimate, reserves growth, reserves appreciation, confidence interval.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Quadros

1 Introdução	12
1.1. Limitações	14
1.2. Estrutura da Dissertação	14
2 Conceitos Básicos Relacionados a Petróleo	15
2.1. Definições de Petróleo	15
2.2. Classificação do Petróleo	15
2.2.1. Classificação do Óleo	15
2.2.2. Classificação do Gás Natural	16
2.3. Definições Relativas às Ocorrências de Óleo e Gás	17
3 Estimativas de Reservas	21
3.1. Reservas de Óleo e Gás	21
3.1.1. Reservas desenvolvidas e não desenvolvidas	22
3.1.2. Reservas Provadas	22
3.1.3. Reservas Prováveis	26
3.1.4. Reservas Possíveis	27
3.2. Métodos de Cálculo da Estimativa de Reserva	28
3.2.1. Analogia	28
3.2.2. Análise de Risco	29
3.2.3. Volumétrico	29
3.2.4. Performance do Reservatório	30
3.3. Abordagens Determinística e Probabilística.	32
4 Apreciação de Reservas	36
4.1. Definição de Apreciação de Reservas	36
4.2. Histórico da Apreciação de Reservas	37

4.3. Fatores que Influenciam a Avaliação de Reservas	39
4.4. Função de Avaliação de Reservas	41
4.4.1. Funções de Avaliação de Root e Attanasi	42
4.4.2. Função de Avaliação Hiperbólica	46
4.4.3. Função de Avaliação Parabólica	47
4.4.4. Função de Avaliação Logarítmica	48
4.4.5. Comparação entre os modelos Hiperbólico e Logarítmico	49
4.5. Razões para Variabilidade na Avaliação de Reservas	52
4.6. Formas de Determinar a Avaliação de Reservas	52
5 Metodologia	54
5.1. Associação da Incerteza à Função de Crescimento	54
5.2. Conceitos Estatísticos	55
5.2.1. Teorema Central do Limite	55
5.2.2. Intervalo de Confiança	56
5.2.3. Determinação dos <i>Outliers</i>	58
5.3. Determinação do intervalo de Confiança da Avaliação de Reservas Média	59
5.4. Exemplo de Cálculo do Intervalo de Confiança da Avaliação Média de Reservas com 5 Campos de Óleo <i>Onshore</i>	62
6 Considerações Finais	66
6.1. Conclusões	66
6.2. Limitações	67
6.3. Proposta para Trabalhos futuros	67
7 Referências Bibliográficas	69
ANEXOS	72

Lista de Figuras

Figura 1 – Da bacia sedimentar ao reservatório	18
Figura 2 – Classificação Segundo a SEC	25
Figura 3 – Perfuração horizontal (USGS, 2000a)	41
Figura 4 – Função de Root e Attanasi	44
Figura 5 – Fator de apreciação anual	45
Figura 6 – Função Root e Attanasi com restrição de monotonicidade	46
Figura 7 – Função Hiperbólica	47
Figura 8 – Função Parabólica	48
Figura 9 – Função Logarítmica	49
Figura 10 – Comparativo entre Função Logarítmica, Função Hiperbólica e Y médio observado.	51
Figura 11 – Comparativo entre Função Logarítmica, Função Hiperbólica e Y observado de um campo individual.	51
Figura 12 – Distribuição t (Larson, 1982)	57
Figura 13 – Determinação dos Limites inferiores e superiores e médias	62
Figura 14 – Intervalo de confiança e valor médio	63
Figura 15 – Intervalo de confiança, valor médio e apreciação dos campos	63
Figura 16 – Teste de <i>Grubbs</i>	64
Figura 17 – Valor médio e Variância	65

Lista de Quadros

Quadro 1 – Tipos de Óleo	16
Quadro 2 – Comparativo de propriedades entre os modelos hiperbólico e logarítmico	50
Quadro 3 – Valor da estatística <i>Grubbs</i> para uma amostra de tamanho m	59
Quadro 4 – Tabela de Apreciação de Reservas dos m Campos	60
Quadro 5 – Tabela Resumo de média e limites inferiores e superiores de cada ano i	61