

5

Metodologia Probabilística de Estimativa de Reservas Considerando o Efeito-Preço

O principal objetivo desta pesquisa é propor uma metodologia de estimativa de reservas que siga uma abordagem probabilística e que leve em consideração o impacto da variação do preço do óleo nos custos operacionais. Portanto, este capítulo será dedicado à apresentação desta metodologia.

Na Seção 5.1 serão apresentadas as duas etapas que compõem a metodologia. Nas demais seções cada uma destas etapas será detalhada.

A Seção 5.2 definirá as variáveis de entrada que estarão presentes no fluxo de caixa que será a ferramenta utilizada para avaliação econômica.

Já a Seção 5.3 detalhará o procedimento que será utilizado para construir os fluxos de caixa e avaliar economicamente a produção. Desta forma, esta seção explicará como serão estimadas as reservas P90, P50 e P10 de um campo de petróleo.

5.1

Etapas da Metodologia

Esta pesquisa propõe uma metodologia para estimar as reservas de um campo de petróleo, seguindo uma abordagem probabilística e que, além disso, incorpore o efeito da variação do preço do óleo nos custos operacionais.

Para tal, faz-se necessário seguir duas etapas abaixo descritas:

- Etapa 1: Obter os valores das variáveis de entrada

Nesta etapa serão definidas as variáveis de entrada necessárias para estimar as reservas P90, P50 e P10 de um campo de petróleo. Além disso, as variáveis de entrada receberão tratamento adequado, de tal forma que seja possível estimar as reservas seguindo uma abordagem probabilística, ao mesmo tempo em que seja

incorporado o efeito da variação do preço do óleo no comportamento dos custos operacionais.

- Etapa 2: Estimar as reservas P90, P50 e P10

Na etapa 2 serão construídos fluxos de caixa com todas as variáveis de entrada. O fluxo de caixa será a ferramenta utilizada para avaliar a viabilidade da produção de óleo e gás e encontrar o ano de abandono do campo. Uma vez encontrado o ano de abandono, será possível estimar as reservas.

Para tal, será utilizado um processo iterativo e simulações por amostragem que resultarão em diferentes estimativas de reservas. Por conseguinte, será construído um histograma com os volumes de reservas e as respectivas frequências.

A partir do histograma, serão extraídos os volumes de reserva P90, P50 e P10 do campo petrolífero.

As etapas 1 e 2 serão detalhadas nas Seções 5.2 e 5.3, respectivamente.

5.2

Etapa 1: Variáveis de Entrada do Processo de Estimativa de Reservas

O processo de estimativa de reservas requer preliminarmente a estimativa de sete variáveis descritas a seguir:

QO_t : vazão de óleo,

QG_t : vazão de gás,

PO_t : preço do óleo,

PG_t : preço do gás,

I_t : investimento,

CF_t : custo operacional fixo,

CV_t : custo operacional variável unitário.

O subscrito t significa tempo e nesta pesquisa a unidade de tempo será ano.

Além das variáveis descritas acima, esta pesquisa propõe a inclusão de mais uma variável, o módulo *PECE*, conforme definido no Capítulo 3. Assim, tem-se que,

μ_{pc} : módulo *PECE*.

Portanto, é necessário estimar um total de oito variáveis que servirão como dados de entrada do processo de estimativa de reservas. Antes de descrever a etapa subsequente, é necessário discorrer sobre o tratamento que deve ser dado a estas variáveis.

5.2.1

Vazões de Óleo e Gás

Esta pesquisa propõe que a estimativa das vazões de óleo e gás seja gerada por uma avaliação qualitativa das incertezas presentes na produção de óleo e gás, como as incertezas nos parâmetros de reservatórios e poço. Esta abordagem, segundo Ross (2001), segue uma filosofia baseada em risco. Como resultado da aplicação desta abordagem, são gerados diferentes cenários de previsão de produção.

Dos cenários gerados devem ser identificados os mais conservadores, os mais realistas e os mais otimistas, de acordo com o volume total de óleo e gás que será produzido do campo. Na metodologia probabilística de estimativa de reservas proposta nesta pesquisa, probabilidades de ocorrência devem ser atribuídas a cada um dos cenários de produção. Esta estimativa pode ser feita por meio da avaliação de especialistas ou com base em estatísticas históricas. Em função da dificuldade em se estimar estas probabilidades, nesta pesquisa os cenários serão considerados equiprováveis.

Ainda sobre este tipo de abordagem, Swinkels (2001) o qualifica como um procedimento robusto que pode agregar diferentes categorias de reserva.

Vale citar que esta metodologia também pode acomodar previsões de produção estimadas segundo uma abordagem probabilística havendo, neste caso, a quantificação das incertezas.

5.2.2

Preços de Óleo e Gás

A fim de se considerar a incerteza associada à previsão dos preços de óleo e gás, será utilizado um modelo auto-regressivo de ordem 1, de modo que os valores dos preços de óleo e gás dependerão apenas dos valores assumidos no instante de tempo imediatamente anterior e de um ruído no instante t . Desta forma, os modelos de previsão dos preços de óleo e gás serão representados pelas equações,

$$PO_t = \phi_o PO_{t-1} + a_t \quad (\text{Eq. 23})$$

$$PG_t = \phi_g PG_{t-1} + b_t \quad (\text{Eq. 24})$$

em que,

ϕ_o e ϕ_g representam a tendência de crescimento ou queda das variáveis PO_t e PG_t , respectivamente,

a_t e b_t representam os ruídos, em que,

$$a_t \sim N(\mu_a; \sigma_a^2), \quad \forall t,$$

$$b_t \sim N(\mu_b; \sigma_b^2), \quad \forall t.$$

Assim, as tendências de crescimento ou queda dos preços de óleo e gás devem ser estimadas, assim como a média e variância dos ruídos.

Desta forma, a metodologia proposta nesta pesquisa permitirá avaliar a viabilidade econômica e a reserva do campo com diferentes comportamentos da variável econômica preço.

Demais modelos de séries temporais não serão testados ou aplicados nesta pesquisa, mas podem ser pesquisados em Morettin e Tolo (2006). Outras metodologias mais elaboradas e específicas para previsão de preços também não serão consideradas, mas podem ser encontradas em Lima et al. (2005) e Willigers e Bratvold (2008).

Contudo, vale ressaltar que qualquer modelo de previsão de preços que leve em consideração as incertezas associadas ao comportamento desta variável podem ser utilizadas na metodologia proposta nesta pesquisa.

5.2.3

Investimentos

As variáveis investimento I , custo operacional fixo CF e custo operacional variável CV , em conjunto, compõem as despesas anuais do fluxo de caixa do processo de estimativa de reservas. Assim como ocorre com as produções e preços, há incertezas associadas à estimativa e previsão de longo prazo destas variáveis.

Entretanto, nesta pesquisa a variável investimento não é estocástica. Conforme já discutido no Capítulo 2, Seção 2.6, no processo de estimativa de reservas, o ciclo de vida de um campo pode durar muitos anos. De uma forma geral, os investimentos ocorrem, em sua maioria, no início do desenvolvimento do campo.

Desta forma, os mesmos não representam fatores-chave para encontrar o ano de abandono do campo e, portanto, a reserva. Assim, o tratamento probabilístico que poderia ser dado a esta variável, na maioria dos casos, não interferiria no resultado final de estimativa do volume de reservas.

5.2.4

Custos Operacionais

O custo operacional representa uma variável-chave no processo de estimativa de reservas, como já discutido no Capítulo 2, Seção 2.7. Isto ocorre porque, na maioria dos casos, o limite econômico do campo encontra-se na fase em que as vazões de óleo e gás tornam-se relativamente reduzidas, diminuindo, por conseguinte, a receita. Assim, os custos operacionais são decisivos para determinar o ano de abandono. Logo, a estimativa de longo prazo dos custos operacionais requer especial atenção.

Para Bradley e Wood (1993) o comportamento e a magnitude dos custos operacionais dependem de dois aspectos: atividades de curto prazo e forças econômicas de longo prazo.

Os autores chamaram as atividades de curto prazo de direcionadores de custo. Os direcionadores de custo são aqueles relacionados diretamente à produção, como o combustível e produtos químicos, e aqueles relativos à estrutura

produtiva e logística do campo, como número de poços e complexidade das unidades de produção.

Assim, nesta metodologia, as variáveis de entrada relativas aos custos operacionais fixos e variáveis serão estimadas pelos direcionadores de custo.

5.2.5

Módulo *PECE*

O segundo aspecto citado por Bradley e Wood (1993) que determina o comportamento dos custos operacionais compreende as forças econômicas de longo prazo que agem modificando os direcionadores de custo ao longo do tempo. Estas forças foram denominadas pelos autores de aceleradores de custo.

Os aceleradores de custo podem ser o preço do óleo e gás, a idade dos equipamentos, a maturidade do processo de recuperação, a filosofia de operação, os aspectos políticos e regulatórios, os investimentos de capital e a curva de aprendizagem. Barros et al. (2007), Cordeiro e Amado (2008) e Pereira (2010) apontaram o preço do óleo como a variável mais relevante que explica o comportamento dos custos operacionais. Além disso, de acordo com Bradley e Wood (1993), a mudança do preço pode gerar uma reestruturação da indústria levando a alterações dos custos. Deste modo, o preço, segundo os autores supracitados, é o mais importante acelerador de custo.

Assim, nesta pesquisa o único acelerador de custo a ser considerado será o preço do óleo, não só por simplificação, mas também pelo fato deste ser considerado o mais importante acelerador de custo da indústria do petróleo.

Sendo assim, esta pesquisa considerará o acelerador de custo, o preço, a fim de modificar ou escalonar as variáveis de entrada, custos fixos e variáveis, ao longo do tempo. Este escalonamento será feito por meio da relação existente entre o custo operacional e o preço do óleo, conforme já definido na Seção 3.1, do Capítulo 3.

A resposta do custo operacional como função da alteração do preço do óleo é conhecida como *PECE* e pode ser definida no tempo como,

$$(PECE)_t = \frac{\mu pc (PO_t - PO_i)}{(PO_i)} \quad (\text{Eq. 25})$$

O módulo $PECE$, μpc , deve ser estimado segundo a metodologia de regressão linear simples descrita no Capítulo 3, cujos resultados foram apresentados no Capítulo 4.

De posse dos valores do módulo $PECE$, da projeção do preço do óleo e dos custos operacionais estimados considerando apenas os direcionadores de custo, é possível estimar o custo operacional escalonado, ou seja, considerando o efeito da variação do preço. Assim, este custo operacional escalonado considerará não somente os direcionadores de custo, como também o preço do óleo como um acelerador que modificará o valor do custo operacional ao longo do tempo.

Sendo assim,

$$CO_t = [CF_t + CV_t] \times [1 + PECE_t] \quad (\text{Eq. 26})$$

sendo CO_t , o custo operacional escalonado pelo efeito da variação do preço do óleo.

Vale citar que a variável CO_t não é uma variável de entrada do processo. A mesma será calculada em função da variação do preço, do módulo $PECE$ e dos custos operacionais fixos e variáveis.

5.3

Etapa 2: Estimativa das Reservas

De posse da estimativa das oito variáveis de entrada definidas na Seção 5.2 deste capítulo, é possível construir fluxos de caixa anualizados que servirão como uma ferramenta de análise econômica. Por meio destes fluxos de caixa, será possível encontrar o ano de abandono do campo e, desta forma, estimar as reservas.

No entanto, esta metodologia requer a construção de diferentes fluxos de caixa. Isso se deve ao fato de que, entre as variáveis de entrada, encontram-se diferentes cenários de produção.

Considera-se também nesta metodologia a incerteza da variável preço, cujo comportamento será modelado pelo processo auto-regressivo de ordem 1. Esta modelagem resultará em diferentes trajetórias de preços.

Além disso, uma das variáveis de entrada é o módulo *PECE*, que é uma variável aleatória. Esta variável, por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC), pode assumir diferentes valores de uma distribuição Normal.

Sendo assim, esta metodologia propõe um processo iterativo que resultará na construção de diferentes fluxos de caixa. Cada fluxo de caixa é resultado da combinação dos diferentes cenários de produção, das diferentes trajetórias de preço e dos diferentes valores da variável módulo *PECE*. A avaliação econômica de cada fluxo de caixa retornará limites econômicos e, por conseguinte, reservas. Portanto, os resultados de estimativa de reservas e as respectivas frequências com que estes resultados aparecem darão origem a um histograma.

Assim, o algoritmo para a estimativa das reservas de óleo e gás P90, P50 e P10 é apresentado a seguir:

Inicie a construção do histograma

Para todo cenário de produção

Para todo preço

Para toda iteração da SMC

Sorteie um módulo *PECE*¹

Para todo ano

Calcule o lucro operacional²

Se lucro < 0

Reporte reserva

Atualize o histograma

Caso contrário

Loop ano

Loop iteração da SMC

Loop preço

Loop cenário de produção

Construa o histograma final³

Reporte Reserva

Neste processo iterativo, três etapas serão detalhadas para um melhor entendimento da metodologia. Tais etapas estão destacadas com os sobrescritos 1, 2 e 3 e serão expostas nas subseções a seguir.

5.3.1

Sorteie um Módulo *PECE*

Para todos os fluxos de caixa resultantes da combinação de todos os casos de produção e todas as trajetórias de preços, serão sorteados aleatoriamente valores da distribuição Normal que representa o módulo *PECE*. A cada processo iterativo, será sorteado um valor de módulo *PECE*, que será o mesmo para todos os anos. Sorteado este valor, será possível calcular o valor do *PECE* para cada ano.

O cálculo do *PECE* depende não somente do valor do módulo *PECE*, mas também da trajetória de preços que está sendo considerada na iteração. Uma vez calculado o *PECE* será feito o escalonamento do custo operacional.

5.3.2

Calcule o Lucro Operacional

O cálculo do lucro operacional é uma importante etapa do processo iterativo. Faz-se necessário, portanto, descrever como o mesmo é calculado em cada ano. Assim,

$$LO_t = RB_t - CO_t - D_t \quad (\text{Eq. 27})$$

em que LO_t é o lucro operacional, RB_t é a receita bruta, CO_t é o custo operacional escalonado e D_t é a depreciação. Por simplificação, a depreciação não será objeto de estudo desta pesquisa.

As receitas brutas anuais do fluxo de caixa são o produto entre a produção e o preço, conforme equação abaixo.

$$RB_t = QO_t \times PO_t + QG_t \times PG_t \quad (\text{Eq. 28})$$

Como resultado, obtém-se o fluxo de caixa anual a partir da diferença entre o lucro operacional e o investimento.

$$FC_t = LO_t - I_t$$

em que I_t é o investimento. (Eq. 29)

Como, de uma forma geral, a produção de óleo e gás declina com o tempo, as receitas brutas também declinam. Em um dado momento, a receita bruta é suplantada pelos custos operacionais, resultando em um lucro operacional

negativo. O ano que antecede o primeiro lucro negativo é chamado de limite econômico ou ano de abandono do projeto.

Vale citar que nos primeiros anos de desenvolvimento do campo o fluxo de caixa costuma ser negativo. Isto se dá em função de desembolsos com investimento. Contudo, estes primeiros anos negativos do fluxo de caixa não serão considerados para determinar o ano de abandono.

Sendo assim, as reservas do campo serão o somatório das vazões anuais de óleo e gás, desde a primeira data futura de produção até o limite econômico. Logo,

$$RES = \sum_{t=i}^{LE} (QO_t + QG_t) \quad (\text{Eq. 30})$$

em que *RES* significa Reserva e o tempo *t* varia do instante de tempo inicial *i* até o limite econômico *LE*.

É importante mencionar também que, embora os impostos e as taxas governamentais não sejam objeto de estudo desta pesquisa, os mesmos devem entrar como despesas no cálculo do lucro. Assim, estas variáveis não serão calculadas, mas serão estimadas como um percentual da receita bruta.

5.3.3

Construa o Histograma Final

A metodologia proposta nesta pesquisa considera como dados de entrada:

- Diferentes comportamentos das variáveis vazões de óleo e gás.

Os diferentes casos de vazões de óleo e gás são gerados a partir da construção de diferentes cenários, do mais conservador ao mais otimista.

- Diferentes trajetórias da variável preço.

A variável preço assumirá diferentes trajetórias que serão modeladas segundo o processo auto-regressivo de ordem 1, conforme explica a Seção 5.2.2.

- Módulo *PECE*

O módulo *PECE*, como já explicado anteriormente, é representado por uma distribuição Normal. Ou seja, esta variável, assim como as vazões e os preços,

pode assumir diferentes valores. A depender do valor assumido por esta variável, o escalonamento do custo operacional será diferente.

- Custos operacionais fixos e variáveis e investimentos

Estas variáveis assumirão valores constantes, independente do cenário de produção ou preço. Vale citar que o custo operacional variável é estimado de forma determinística e é diretamente proporcional à vazão de óleo e gás produzida.

- Custo operacional escalonado

O custo operacional escalonado é uma variável calculada que depende do somatório dos custos operacionais fixos e variáveis, do valor do módulo *PECE* sorteado por meio da SMC e da trajetória de preços que está sendo considerada na iteração.

Portanto, como nesta metodologia estão sendo consideradas as incertezas em relação às variáveis vazões, preços e módulo *PECE*, o processo iterativo explicado pelo algoritmo descrito neste capítulo terá como resultado um histograma com os volumes de reserva resultados da combinação de todos os casos de vazões, preços e módulo *PECE*. A partir deste histograma, serão estimados os volumes de reservas P90, P50 e P10.

5.4

Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentadas as etapas de uma metodologia que permite estimar as reservas de óleo e gás de forma probabilística. Além disso, esta metodologia considera o efeito da variação do preço do óleo no comportamento dos custos operacionais por meio do conceito *price-effect-cost-escalation*.

Como já citado anteriormente, a análise de risco e incerteza na indústria do petróleo ainda está concentrada nas questões técnicas de engenharia de reservatórios, incluindo a previsão de produção de óleo e gás. Contudo, o processo de estimativa de reservas requer não só a previsão da produção destes fluidos, mas também demanda análises adicionais como a avaliação econômica.

Nesta avaliação econômica estão presentes variáveis como o preço e custos operacionais que influenciam o valor da reserva. Por se tratarem de importantes variáveis para o processo de estimativa de reservas e também apresentarem incertezas, faz-se necessário, portanto, aplicar os conceitos de análise de incerteza no tratamento das mesmas.

Assim, a metodologia apresentada neste capítulo contribui para o aprimoramento da estimativa de reservas. Esta metodologia contempla não só as incertezas na previsão de produção, mas também sugere um procedimento que considera as incertezas associadas à previsão de importantes variáveis econômicas, como o preço do óleo e os custos operacionais.