

2 Análise Bibliográfica

Adalberto José Rosa e Renato de Souza Carvalho (2002) apresentaram uma revisão completa dos métodos analíticos de previsão de comportamento de reservatórios. Nessa publicação, foram desenvolvidos métodos analíticos para mecanismos de recuperação específicos com gás em solução, influxo de água e com capa de gás.

Em sua maioria, os métodos de previsão de comportamento, baseiam-se no princípio da conservação de massa, representada pela equação de balanço de materiais e nas equações de fluxo de fluidos em meios porosos.

Nesta obra, é abordada a metodologia analítica de previsão de comportamento de reservatório de óleo com gás em solução, apresentada por *Turner* (1944). Esse método se utiliza da equação da razão gás-óleo instantânea e a equação de balanço de materiais descrita por *Schilts* (1936). As equações são resolvidas, simultaneamente, através de um processo iterativo.

Para reservatórios com mecanismos de capa de gás, precisa-se levar em consideração a variação da saturação de óleo com a variação da pressão. Por isso, para esse tipo de reservatórios foi utilizado o método descrito por *Muskat* (1949). A sua equação diferencial de primeira ordem pode ser resolvida, numericamente, aplicando-se o método de *Runge-Kutta*.

Para um reservatório com um aquífero adjacente atuante, a queda de pressão do reservatório decorrente da produção de fluidos, segundo Adalberto e Renato (2002), se reflete na expansão da água do aquífero provocando um influxo de água no reservatório. Admite-se, para aquíferos muito pequenos, uma imediata equalização das pressões entre o reservatório e o aquífero. Em aquíferos maiores, faz-se necessário um modelo que inclua a dependência no tempo, já que a o aquífero não responderá de imediato as mudanças de pressão no reservatório. Apresentaremos os modelos de *Van Everdingen e Hurst* (1949), o modelo aproximado de *Fetkovich* (1971) e o modelo de *Carter – Tracy* (1960).

Os estudos sobre a previsão de comportamento dos reservatórios de petróleo utilizam-se dos conhecimentos das características do reservatório (estimativas dos volumes originais de gás-óleo, modelos e parâmetros do aquífero, etc.). Alberto e Renato (2002) abordam o procedimento de ajuste do histórico visando à obtenção desses parâmetros pertinentes ao estudo da previsão de comportamento do reservatório.

Ao se estimar os parâmetros da equação de balanço de materiais, espera-se que esta equação se expresse como uma função linear. Caso isso não ocorra, isto é, a reta não seja obtida, o resultado é a indicação de que o mecanismo de produção é outro.

Havlena, D e Odeh, A. S (1963) apresentam um rearranjo da equação de balanço de materiais de *Schiltois* (1936) conhecido como o método de linha reta. Este método surgiu com a necessidade de se ter uma melhor interpretação dos dados resultantes da aplicação das Equações de Balanço de Materiais, já que se faz necessário uma coerência nos resultados obtidos por esta equação, baseada nos históricos de produção e os resultados determinados volumetricamente (depende de dados geológicos e petrofísicos).

O método da linha reta requer a determinação de dois grupos de variáveis, que vão depender do mecanismo de produção sobre o qual o reservatório está produzindo. O mais importante é que este método anexa um significado a seqüência de pontos, o aspecto gráfico e a direção na qual são traçados.

A equação de balanço de materiais (EBM) é apresentada de forma simplificada para os vários mecanismos de produção do reservatório de petróleo, assim como o aspecto gráfico das variáveis relacionadas. A análise dos pontos que originam os gráficos em questão é de grande importância neste método. Embora seja necessário mencionar que as interpretações obtidas por este método estão sujeitas à quantidade de dados que são requeridos para que a análise tenha maior exatidão. Também estão incluído os comentários e discussões pertinentes à análise em questão.

Seis casos de campos, mostrados por *Havlena, D. e Odeh, A. S.* (1964), ilustram o método da linha reta para resolver a equação de balanço de materiais.

Nesses casos, são relatados as informações geológicas e os dados básicos do reservatório para promover um melhor entendimento dos problemas.

Tehrani, D. H. (1985) demonstra em seu trabalho que a melhor forma de se calcular o volume de óleo *in-situ* e a constante de influxo de água é através da equação de balanço de materiais apresentada por *Scilthuis* (1936).

Tehrani (1985) mostra diversas maneiras de se escrever a equação de balanço de materiais (EBM), mas todas representando uma linha reta em duas dimensões. Quando o método dos mínimos quadrados é aplicado nestas equações, resultados diferentes são obtidos devido a natureza dos erros embutidos nos dados básicos. As respostas obtidas com os dados de campo real para estas equações se desviam consideravelmente das respostas verdadeiras.

Para comprovar suas idéias, ele desenvolveu uma simulação matemática na qual se introduz razoáveis erros de uma maneira completamente aleatória, para assim simular um histórico real do reservatório e então calcular o óleo original *in-situ* e a constante de influxo de água, usando as diversas maneiras das Equações de Balanço Volumétrico (EBV) por ele apresentada. As respostas e os gráficos obtidos ilustram que a redução da EBV de três para duas dimensões (linha reta) produz respostas dispersas dependendo dos erros dos dados. Assim as equações apresentadas são matematicamente equivalentes. Desta forma, a redução da dimensão pode criar uma superficial e falsa correlação entre as variáveis, e se na equação (em três dimensões) houver alguma correlação entre as variáveis pode ocorrer uma completa distorção por uma correlação falsa criada pela redução da dimensão da equação.

Tehrani também mostra que o cálculo dos mínimos quadrados baseados na minimização do somatório dos desvios quadrados das pressões do óleo calculada das pressões observadas, é equivalente ao método dos mínimos quadrados. O aplicado mostra claramente que a equação de balanço volumétrico original e a minimização do somatório dos desvios quadrados da pressão apresentam uma relação física muito mais próxima do que as outras formas da equação de balanço volumétrico. O que mostra que o melhor ajuste de pressão é produzido pela equação de balanço original. As pressões calculadas são mais

próximas das pressões verdadeiras que as pressões observadas, embora as pressões observadas sejam à base dos cálculos.

Pletcher, J.L. (2002) apresentou um trabalho mostrando que a falta de explicação da existência de um aquífero fraco pode resultar em erros significativos no balanço de materiais. A afirmação de outros autores de que um aquífero fraco provoca uma inclinação negativa, pode ser confirmada pelo emprego dos gráficos de *Cole* (para o gás) e de *Campbell* (para o óleo). A compressibilidade da formação pode ser explicada por uma versão modificada do gráfico de *Cole*; os índices de mecanismos do reservatório são umas ferramentas úteis para determinar a correta solução da equação de balanço materiais, pois devem somar a unidade, estes índices nunca devem ser normalizados para somar a unidade, pois obscurece sua utilidade e leva a um falso senso de segurança. Uma versão modificada do gráfico de *Roach* (para o gás) pode ser usada para melhorar a interpretação de algumas situações de aquífero fraco. O balanço de materiais não pode ser substituído pela simulação do reservatório e sim ser um complemento da simulação para promover um valioso discernimento do desempenho do reservatório que não pode ser substituído pela simulação.

Os índices de mecanismos do reservatório têm sido utilizados para quantificar a relativa magnitude dos vários recursos de energia ativa no reservatório. Esses índices são umas ferramentas úteis para a determinação da solução correta do balanço de materiais e devem somar a unidade. Alguns softwares comerciais normalizam os índices para somar a unidade, o que não somente encobre sua utilidade como também leva a uma falsa impressão de se ter chegado a uma solução correta.

A simulação não deve ser vista como uma substituta do balanço de materiais, pois o estudo do balanço de materiais normalmente melhora a compreensão do reservatório e acentua o estudo subsequente da simulação. O gráfico de *Campbell* é a contra partida do gráfico modificado de *Cole*, para os reservatórios de óleo, sendo muito útil no sentido qualitativo para distinguir o comportamento do mecanismo de depleção com um aquífero forte, moderado e fraco.

Como no gráfico de Cole para gás, a curva de aquífero fraco no gráfico de Campbell exhibe uma inclinação negativa exceto para um breve período inicial de inclinação positiva muito alta. Sendo assim, o volume de óleo *in-situ* calculado, assumindo que não há aquífero atuante no reservatório, mostra um decaimento com o tempo, que não é intuitivo quando na presença de um aquífero fraco.

É apresentado um modelo de simulação para um reservatório com óleo subsaturado para se aplicar o gráfico de *Campbell*. Uma falta de produção significativa de água num período de oito anos e um declínio na pressão do reservatório podem levar a uma interpretação de que não há nenhum aquífero presente. O método recomendado para se resolver o balanço materiais para um reservatório subsaturado de óleo sem influxo de água é o gráfico de linha reta com o volume de óleo *in-situ* igual à inclinação da reta obtida. O gráfico de *Campbell* mostra uma inclinação negativa de um aquífero fraco. Também é mostrado que os índices de mecanismos para o caso simulado não somam a unidade e se forem normalizados, a solução correta será encoberta. Sendo assim, a presença de um aquífero fraco atuante no reservatório poderia ser visto de forma superficial sem o exame do gráfico de *Campbell* ou dos índices de mecanismos puros.

Pletcher, em seu trabalho, mostra que o gráfico de *Campbell* diagnostica a presença de um aquífero fraco e sem a sua análise poder-se-ia chegar a valores errados de volume de hidrocarbonetos *in-situ*. O gráfico de *Campbell* marca isso com uma inclinação negativa. Além disso, uma ferramenta útil como um critério para determinar a validade da solução da equação de balanço de material é a análise dos índices de mecanismos; se esses índices de mecanismos somarem a unidade de uma solução correta da equação de balanço de material foi obtida, caso sejam normalizados podem obscurecer sua utilidade levando a um falso senso de segurança. E finalmente, a simulação de reservatório não elimina a necessidade de análise do balanço de material clássico, pois esta análise pode revelar traços no desempenho do reservatório que não poderá ser percebido com a simulação tal como a presença de um aquífero fraco.