

# ANALYSIS PRODUCTION FROM A HEAVY OIL RESERVOIR BY SAGD

*Letícia Capistrano Favero, Lindaura Maria Steffens*

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Departamento de Engenharia de Petróleo, Centro de Educação Superior da Foz de Itajaí –  
CESFI – Balneário Camboriú - SC

[leticiaapis@gmail.com](mailto:leticiaapis@gmail.com), [lindaura.steffens@udesc.br](mailto:lindaura.steffens@udesc.br)

**Abstract.** *The recovery thermal methods are given as more efficient in heavy oil production fields than those with conventional techniques. For heavy oils which increase the recovery, being economically viable, it is steam injection. In this case, the Steam Assisted Gravity Drainage - SAGD is the technique that stands out. This process is characterized by using two horizontal wells: a producer, located near the reservoir base and a injector, located near the top. The objective of this method is the creation of a steam chamber, which promotes a better sweep of the fluid field, by heating the reservoir. In the present work a geological model is analyzed through numerical simulations by means of commercial software, applying the SAGD technique, so there is an increased production of heavy oil. With the results, we carried out an economic analysis of this oil recovery technique to estimate that it is a viable project, with a net present value positive.*

**Palavras-chave:** SAGD, Heavy oil production, Economic analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Os métodos de recuperação tratam de como uma acumulação de hidrocarbonetos é produzida e dependem de características do reservatório. Quando a produção não é suficiente, ou seja, a energia natural do reservatório não é capaz de elevar o fluido,

deve-se então utilizar métodos de recuperação secundários ou terciários, que se referem a uma repressurização da jazida, ou seja, uma energia artificial é introduzida na mesma por meio de poços de injeção que suplementa a energia perdida e melhora a eficiência do deslocamento do petróleo.

O método terciário busca alterar as propriedades dos fluidos e a interação entre eles e a rocha, reduzindo a resistência ao fluxo do petróleo no meio poroso. E pode ser dividido em: térmico, químico, microbiológico e por método de deslocamento miscível e imiscível que utiliza a injeção de gás.

O método de recuperação térmico por meio da injeção de vapor tem sido muito utilizado em campos com alta porcentagem de óleo pesado, devido ao seu estímulo e eficácia, além da viabilidade comercial e escala de campo.

O estudo numérico da injeção de vapor, especificamente do método de drenagem de óleo por diferencial gravitacional, conhecido como SAGD, e aplicando uma análise econômica apresenta, então, um valor de presente líquido positivo, ou seja, é um projeto de retorno financeiro.

## 2. MÉTODO DE RECUPERAÇÃO TÉRMICO

O método térmico trata-se de uma técnica terciária de recuperação de óleo que busca alterar as propriedades dos fluidos e a interação entre eles e a rocha, reduzindo, assim, a resistência ao escoamento do fluido no meio poroso, seja por meio da injeção de

um fluido aquecido na superfície ou no próprio reservatório. Ao processo de geração de calor dentro do reservatório dá-se o nome de combustão “*in situ*”. Já entre os processos em que o calor é gerado na superfície estão à injeção de água quente, a injeção cíclica ou contínua de vapor.

Ao tratar-se de injeção de vapor, alcançam-se vários benefícios com o uso da água no estado de vapor, tais como: possibilidade de uma menor tendência à formação de caminhos preferenciais (*fingers*) facilita os efeitos de arraste pelas frações leves e intermediárias e possibilita ao transporte maior quantidade de energia, se comparado à mesma quantidade de água quente, isto tudo porque contém uma quantidade muito maior de calor por unidade massa de água, por apresentar uma viscosidade menor e proporcionar maior vazão de injeção para a mesma pressão de injeção.

A recuperação do óleo é afetada pelo calor por causa dos efeitos da expansão e destilação do óleo e de extração de leves, que gera um acúmulo da eficiência de deslocamento. Mas, a redução da viscosidade deste fluido é a característica mais importante, porque aumenta as eficiências de varrido e de deslocamento.

### 2.1. Drenagem Gravitacional Assistida por Vapor – SAGD

A metodologia aplicada por Butler [2], da drenagem gravitacional assistida por vapor é composta de dois poços, um sendo injetor de vapor que se localiza acima do outro poço, o produtor. O processo apresenta como característica principal o mecanismo de produção natural do óleo pesado devido à ação da força gravitacional, que proporciona uma maior recuperação em menor tempo e uma rápida cobertura de todo o volume pelo fato de serem poços horizontais, ou seja, possuem uma maior área de contato com a formação em sua extensão.

O processo SAGD, mostrado no trabalho recente de Laboissière [1], apresentado esquematicamente na Fig 1,

pode-se então notar que o vapor injetado flui em direção ao topo da formação e forma a câmara de vapor (1), assim, o óleo aquecido na interface vapor-óleo desta câmara escoo através do efeito gravitacional em direção ao poço inferior (2), onde é produzido. Há a formação de um banco de óleo aquecido na região (3), o qual sofre a atuação de um empurrão do gradiente de pressão resultante da alta concentração de óleo. Na região (4), existe o movimento da água conata e gás não condensável à frente da câmara de vapor.

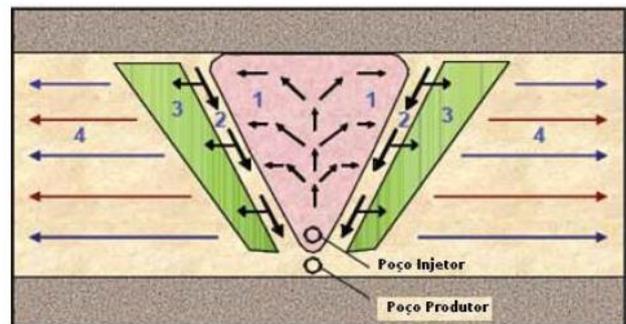


Figura 1 – Processo SAGD

Como a produção do óleo é contínua, ou seja, a saturação diminui, sendo assim, o espaço poroso que continha óleo é preenchido por vapor, e com isso, a pressão é mantida constante.

A câmara cresce rapidamente, tanto para os limites laterais quanto verticalmente, sendo limitado pelo topo do reservatório. O contato entre o vapor e o óleo na frente da câmara de vapor forma uma mistura, na qual origina uma camada de vapor sobre o óleo, e juntamente com o aquecimento contínuo, esta camada tende a destilar as frações mais leves do fluido, formando um banco miscível na frente de vapor, originando um deslocamento miscível.

Este método difere da injeção cíclica e contínua de vapor, porque o óleo viscoso é movido forçadamente por um fluido menos viscoso, evitando, assim, a formação de caminhos preferenciais (*fingers*), outra vantagem é que o óleo permanece aquecido em grande extensão do reservatório, havido já uma diminuição da viscosidade, ou seja, a mobilidade foi melhorada.

A tecnologia do SAGD tem sido muito utilizada devido ao alto fator de recuperação de óleos pesados com alta viscosidade ou para betume. Sua aplicação já ocorre em campos do Canadá, Estados Unidos e na Venezuela e em reservatórios de pequena profundidade.

### 3. METODOLOGIA APLICADA

A partir do alicerce teórico, iniciam-se então as simulações numéricas por meio do auxílio do *software* CMG de simulação de reservatório, que produz durante trinta anos.

Na simulação, primeiramente, é apresentado à modelagem do óleo, caracterizado como óleo pesado de densidade 995,98 kg/m<sup>3</sup> (10,57° API) e o modelo numérico, sendo que os fenômenos de transporte dos fluidos e de transferência de calor e massa são representados em um modelo de porosidade simples, no qual o meio poroso e a célula são tratados como unidades distintas de simulação. O mecanismo de aquecimento da célula será por meio de condução e convecção pelo escoamento do vapor através do meio poroso. Inserisse também os parâmetros necessários para formulação desse modelo, tais como as dimensões do modelo físico, que apresenta 820 metros de comprimento e largura e 100 metros de profundidade, e a posição dos poços, além das propriedades dos materiais e dos fluidos e as condições iniciais e operacionais empregadas nos procedimentos envolvendo a drenagem gravitacional assistida por vapor. Dados reais do Campo de Namorado foram utilizados nesta simulação, disponibilizados pelo professor Márcio Sampaio, cuja fonte é a Agência Nacional de Petróleo (ANP).

A análise econômica é um fator bastante importante, pois ele especifica todos os critérios analisados financeiramente no desenvolvimento e execução de um projeto. Esta apresenta valores referentes aos investimentos ou custos iniciais, operacionais de produção e injeção, de manutenção, de depreciação, de impostos a serem pagos, *royalties*, contribuição social e

outros para que se obtenha o valor do presente líquido (VPL).

O valor presente líquido caracteriza-se pela transferência para o instante zero dos valores monetários do fluxo de caixa, descontados à taxa mínima de atratividade (TMA ou  $i$ ), ou seja, é a soma algébrica de todos os valores de fluxo de caixa anuais envolvidos nos  $n$  períodos de tempo (30 anos), trazidos ao instante zero com taxa de desconto igual à TMA (13%). É representada pela seguinte expressão algébrica, Eq (1):

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{V_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Sendo que:  $V_j$  é o valor monetário ocorrido ao final do período  $j$  e  $j$  é o período 0,1,2,...,n. E a partir do VPL pode-se então, definir tomadas de decisão que venham a ser importantes para inicialização, continuação ou abandono de um projeto. Para efetuar esta análise utilizou-se o programa Excel. Os dados referentes aos valores produzidos de petróleo foram extraídos do simulador de reservatório.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo foi composto de quatro poços, sendo dois produtores e os outros injetores, porque a produção de óleo alcançada seria superior, havendo um melhor aproveitamento do modelo de reservatório.

Seguindo as condições iniciais e operacionais, a simulação forneceu que a produção de óleo foi de 713.530 m<sup>3</sup>, de água foi de 3,51.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> e a de gás foi equivalente a 5,98.10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>. O valor de água injetado foi de 3,43.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. Por meio dos dados obtidos, observou-se que a produção de óleo cresce linearmente no período de 30 anos, o qual se pode dizer que a injeção de vapor foi eficaz e que estimulou este reservatório.

A distribuição da temperatura é analisada nos períodos de 0, 10, 20 e 30 anos, no qual, deve haver um aquecimento do reservatório. Na Fig. 2 há essa distribuição numa vista de topo do modelo. O que conclui que o método foi eficaz, ou seja, o reservatório realmente foi aquecido

por meio da injeção de vapor estando a uma temperatura de 360,77°C, e sendo muito superior à do reservatório que se encontrava a 15°C, confirmando o que foi estudado pelo Butler [3]. E também averiguasse que quanto maior for à temperatura do fluido injetado, mais eficiente se tornará a produção,

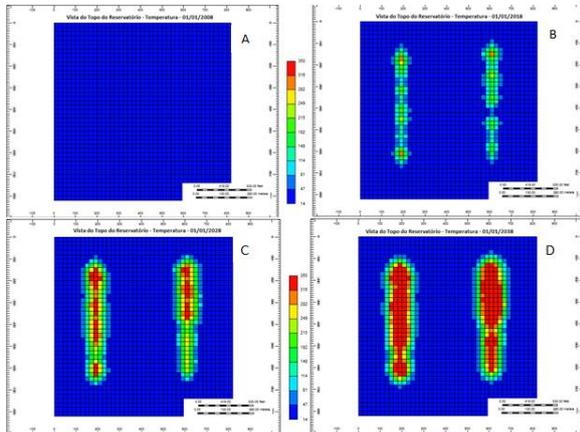


Figura 2 – Distribuição da temperatura A) 0 B) 10 C) 20 D) 30 anos

A saturação de óleo também foi analisada nos mesmos períodos e observou-se que o modelo passa a perder sua saturação no decorrer do tempo devido à produção de óleo e gás. Na Fig. 3 tem a vista de topo do comportamento deste parâmetro.

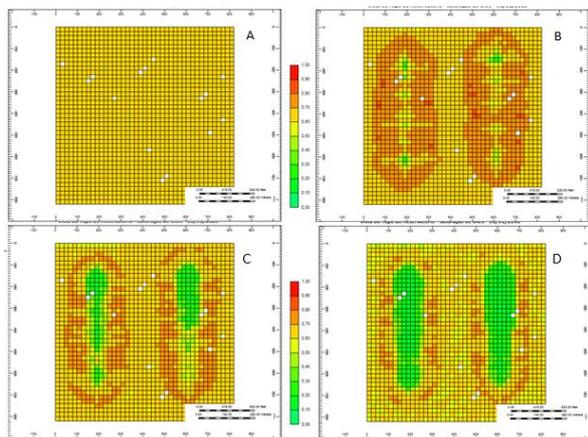


Figura 3 – Saturação de óleo A) 0 B) 10 C) 20 D) 30 anos

Na análise econômica, o valor presente líquido encontrado por meio dos valores produzidos e injetados foi de 24,4 milhões de reais. Isso representa que o projeto é

viável e traz retorno financeiro, pois além de ser positivo é também alto. Vale ressaltar, que esse parâmetro é de extrema importância para tomada de decisões de projetos e execuções.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre o método de recuperação terciário térmico de drenagem gravitacional assistido por vapor propiciou o esclarecimento de conceitos teóricos e práticos sobre o assunto e os estudados em sala de aula, além da integração de conhecimentos obtidos em disciplinas já cursadas.

O método SAGD trouxe a percepção do quão importante é ter objetivos claros quanto ao que se quer obter e gastar. Isto porque o responsável do projeto deve sempre saber se a produção elevada e valor presente líquido serão rentáveis para iniciar a execução de um projeto com estas características.

### Agradecimentos

Venho agradecer a universidade UDESC por ter-me concedido à oportunidade de realizar a minha iniciação científica, por meio de colaboração financeira da bolsa PROIP/UDESC, a minha professora e orientadora Lindaura Maria Steffens, que colaborou na elaboração desse artigo e o professor Márcio Augusto Sampaio Pinto pela disponibilidade de dados reais para a simulação.

### REFERÊNCIAS

- [1] Philippe Laboissière, “Injeção de Vapor e Nitrogênio na Recuperação Melhorada de Óleo Pesado.” Campinas, SP. 2009.
- [2] R. M. Butler, Thermal Recovery of Oil and Bitumen, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 1991.
- [3] R. M. Butler, Some Recent Developments in SAGD, JCPT, January, 2001