

1 Introdução

Nos dias de hoje, o petróleo ainda é uma das fontes de energia mais importantes do mundo. No Brasil, estudos para a produção futura apontam para reservas situadas em águas ultraprofundas, com lâminas de água entre 2000 e 3000 metros. Portanto, com a produção *offshore* aumentando e com a descoberta de novas bacias de petróleo em águas cada vez mais profundas, surgem novos desafios: um deles é evitar a deposição de parafinas de alto peso molecular nas paredes internas das linhas de transporte e produção. A deposição de parafina pode levar a perda da produção, incremento da potência de bombeio, aumento dos custos de remediação e adicionalmente pode levar à perda da tubulação, quando esta é totalmente bloqueada. Portanto, este é um problema crítico na indústria do petróleo, pois possui alto risco de perda de capital.

Devida a importância do problema da deposição de parafina para a indústria do petróleo, existe um significativo número de publicações que investiga este fenômeno (Burger, 1981; Brown, 1993; Fusi, 2003; Todi, 2005). A maioria dos modelos disponíveis (Brown, 1993; Fusi 2003) faz uso de constantes empíricas e fatores de correção que tornam o modelo específico para um caso em particular. Estes modelos são utilizados por muitas companhias operadoras, que utilizam ferramentas de simulação para prever a percentagem da deposição de parafinas na tubulação. Estes modelos são ainda empregados no projeto de novas estações de transporte de óleo, onde o conhecimento da probabilidade de ocorrência de deposição de parafinas é de fundamental importância, influenciando nas especificações da tubulação e o custo da futura instalação. Devido ao uso de constantes empíricas, estes modelos produzem resultados razoáveis para casos particulares associados aos dados utilizados no desenvolvimento dos modelos, mas esta prática limita a aplicação do modelo para outros casos com diferentes características. Para modelar adequadamente o fenômeno, permitindo a aplicação a uma variedade de casos, é preciso que os princípios físicos fundamentais do processo de deposição sejam adequadamente tratados e compreendidos.

De acordo com Burger *et al.* (1981) o fenômeno físico da deposição de parafinas é governado por diversos mecanismos, dentre estes pode-se citar a difusão molecular, difusão browniana, dispersão por cisalhamento e deposição por gravidade. Qual o mecanismo dominante e qual a importância relativa de cada um deles ainda não foi identificada. Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em estudar o fenômeno em detalhes, utilizando diferentes modelos para auxiliar na compreensão do mesmo.

O presente estudo faz parte de uma linha de pesquisa que vem sendo realizada pela PUC-RIO visando identificar a importância relativa dos mecanismos responsáveis pela deposição de parafinas. O programa de pesquisa é composto de experiências realizadas em escala de laboratório, juntamente com simulações numéricas utilizando diferentes modelos para prever a deposição da parafina. Os experimentos são realizados em geometrias simples com condições de contorno e iniciais bem definidas e controladas. O fluido de trabalho é uma solução óleo-parafina simples preparada em laboratório, com as propriedades de transporte conhecidas. Simulações numéricas são realizadas, buscando reproduzir as condições experimentais. Contrariamente aos estudos experimentais, as simulações numéricas permitem que os diferentes mecanismos para a deposição mencionados na literatura possam ser testados individualmente, indicando a relativa importância de cada mecanismo de deposição. Os resultados numéricos das simulações são comparados com as medidas obtidas com os experimentos controlados, o que permite obter importantes informações que ajudam a compreender a física do fenômeno da deposição de parafina.

Em estudos anteriores (Leiroz, 2004 e Romero, 2005 e 2006) a mesma estratégia mencionada no parágrafo anterior foi empregada, para avaliar a importância da difusão molecular de parafina líquida em solução como um possível mecanismo de deposição. Difusão molecular vem sendo usada como o mecanismo de deposição na maioria da literatura consultada (Brown, 1993; Singh, 2000, Nazar, 2001). Porém, de acordo com Leiroz e Azevedo (2003) existem controvérsias relacionadas à relevância de outros mecanismos baseados no transporte lateral de cristais sólidos de parafina, como difusão Browniana e dispersão por cisalhamento.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo analisar dois mecanismos diferentes de deposição de parafina, Difusão molecular e Difusão browniana, visando identificar a importância relativa dos mesmos. Para alcançar este objetivo implementou-se um algoritmo numérico para a obtenção simultânea do campo de velocidade, pressão, temperatura e concentração em um domínio computacional bi-dimensional, baseado na geometria empregada nas experiências realizadas por Leiroz (2004). Os dois mecanismos foram investigados separadamente e acoplados. Adicionalmente, investigou-se a influência do regime de escoamento (laminar e turbulento) na taxa de deposição.

1.2 Organização do Trabalho

O presente trabalho é composto de seis capítulos. No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da bibliografia, onde os diversos modelos e mecanismos de deposição já considerados em trabalhos anteriores são descritos.

No Capítulo 3 apresenta-se uma breve descrição do experimento modelado, as hipóteses propostas, juntamente com as equações gerais que governam o problema considerando os modelos de difusão molecular e difusão browniana, em regime laminar e turbulento. Apresenta-se ainda as condições iniciais e de contorno.

A descrição do método numérico é realizada no Capítulo 4, com a apresentação do esquema de discretização das equações de conservação, as quais foram escritas em um sistema de coordenadas não ortogonais e móveis, que se adaptam a interface do depósito. Apresenta-se ainda a técnica de solução do sistema algébrico.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos nas simulações utilizando os dois mecanismos de deposição. Os resultados obtidos para o regime laminar são comparados com os dados experimentais disponíveis. A influência do regime do escoamento é discutida., comparando os resultados obtidos com os dois regimes de escoamento.

As conclusões finais do trabalho e algumas recomendações para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 6.