

1 Introdução

Projeta-se que o consumo mundial de energia aumentará em grande medida nas próximas décadas. A fim de satisfazer esse incremento, a demanda por petróleo deve continuar crescendo [1]. Estatísticas indicam que o hidrocarboneto seguirá sendo a principal fonte de energia, estimando-se que se constituirá no provedor do 34% da demanda energética mundial no ano 2030 [2].

O petróleo encontra-se acumulado em rochas reservatório sob altas pressões e temperaturas. Nessas condições os fluidos são estocados nas jazidas constituindo uma fonte de energia natural denominada energia primária. Durante o processo de produção de petróleo a energia primária se dissipa devido à descompressão dos fluidos no reservatório e às forças viscosas e capilares que se opõem ao escoamento dos fluidos em direção aos poços produtores, cuja produção é controlada por válvulas *choke*. Para controlar a diminuição de energia primária e a redução da produtividade dos poços, existem vários métodos que são comumente aplicados na indústria petrolífera denominados métodos de recuperação secundária [3].

Os métodos mais utilizados para a manutenção ou aumento da energia primária são a injeção de água, vapor ou gás, entre outros. A injeção de água é a técnica de recuperação secundária mais antiga, econômica e mais implementada na indústria como plano inicial de produção. Porém, após certo tempo de injeção, a grande mobilidade da água no meio poroso gera uma baixa eficiência de varrido, sendo esta produzida antecipadamente e eventualmente misturada com o óleo em forma de emulsão [3,4,5].

A água produzida também pode ter origem em acumulações subterrâneas de água (aquíferos) subjacentes ou próximas ao poço. Nesse caso, a produção de óleo devido ao influxo de água não origina uma instantânea diminuição da energia primária. No entanto, durante a produção, a interface óleo-água no reservatório se eleva até atingir o poço produtor (fenômeno chamado de *coning*) ocasionando uma rápida produção de água e óleo em forma emulsionada [6]. Na figura 1.1

ilustramos os dois mecanismos previamente descritos e associados ao aumento da fração volumétrica de água nas emulsões durante a produção de petróleo.

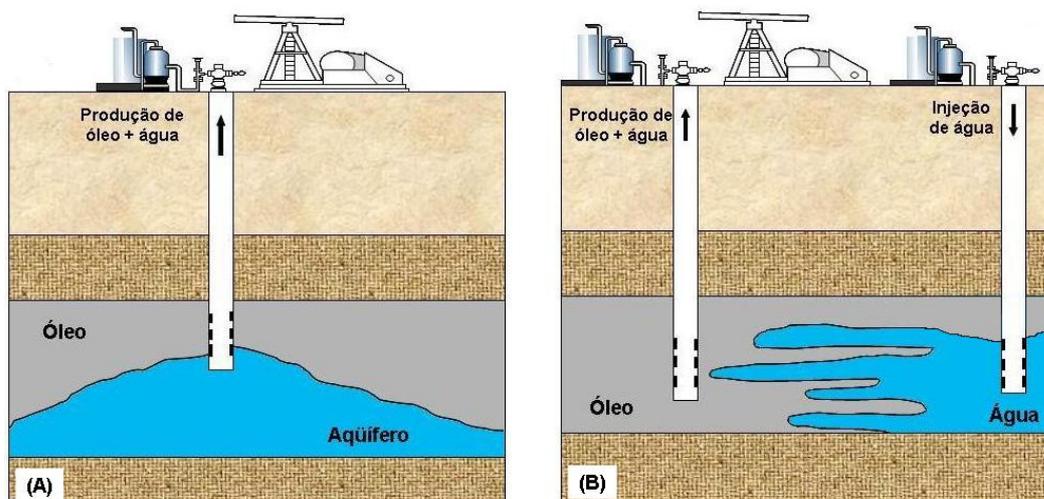


Figura 1.1 Mecanismos de produção responsáveis pelo aumento da fração volumétrica de água durante a recuperação de petróleo. (A) Influxo de água - *Conning*. (B) Injeção de água.

Em ambos mecanismos pode acontecer o fenômeno de inversão de fases¹ na mistura de fluidos produzidos. Inicialmente, o petróleo é extraído com baixos cortes de água², contendo a água produzida em forma de pequenas gotículas. Com o aumento do tempo de produção ocorre um crescimento rápido da razão água-óleo reduzindo eventualmente a produção de óleo a gotas do mesmo na fase aquosa.

Nesse contexto, observamos que o processo de formação de emulsões na indústria do petróleo é quase inevitável, podendo ocorrer ainda no meio poroso, no poço e nas instalações de superfície durante o transporte dos fluidos produzidos [7]. O entendimento dos mecanismos de formação de emulsões é de vital importância, a fim de desenvolver novas tecnologias que otimizem o desempenho dos equipamentos envolvidos na extração e transporte de óleo, bem como na separação, tornando esses processos economicamente mais viáveis. Nesse sentido, o acondicionamento de bombas, separadores de fases, válvulas, tubulações, entre outros, e o desenvolvimento de novas tecnologias diminuirão a

¹ Em uma emulsão, quando a fase interna se torna a fase externa devido ao incremento da fração volumétrica da fase interna.

ocorrência de problemas como: falhas nos equipamentos e paradas de produção para manutenção reduzindo perdas e custos de produção [8].

1.1. Motivação

As características das emulsões produzidas em poços com altos cortes de água são resultado da influência de cada uma das variáveis intervenientes na sua formação como: as taxas de cisalhamento à que são submetidos os fluidos extraídos dos reservatórios durante seu percurso através dos poros da rocha-reservatório até as instalações de superfície, o tempo de cisalhamento, frações volumétricas das fases, natureza e concentração dos estabilizadores de emulsões, viscosidade das fases, entre outros [9].

Uma vez produzido, o óleo emulsionado é transportado para plantas de tratamento e submetido a processos de separação.

A grande maioria de separadores utilizados em sistemas de produção é baseada na diferença de densidades entre as fases produzidas e o efeito da gravidade. Geralmente, o processo é desenvolvido em duas etapas: na primeira, emprega-se um separador Vessel onde a fase gás é separada da fase líquida, ocorrendo também uma primeira separação de óleo e água e na segunda, o processo de separação de óleo e água é otimizado através do uso de separadores de pratos, centrífugos e hidrociclônicos [6].

A separação das fases das emulsões é extremamente sensível ao tamanho das gotas. O tempo de residência das emulsões nos separadores é inversamente proporcional ao tamanho das mesmas, diminuindo conseqüentemente a eficiência do processo de separação a partir de um diâmetro crítico (30, 20 e 5 micrômetros no caso de separador de pratos, hidrociclônico e centrífugo respectivamente).

A partir desse diâmetro crítico, a separação das fases só é possível pela adição de grandes quantidades de aditivos químicos a altas temperaturas (agentes desemulsificantes), prolongados tempos de residência e pela aplicação de campos eletrostáticos, incrementando os custos operacionais [10, 11].

Para otimizar o processo de separação é importante conhecer o tamanho das gotas que entram no separador. Na figura 1.2 apresentamos um esquema

² Razão entre o volume de água e o volume total de fluidos produzidos a condições de superfície.

simplificado de um sistema de produção onde observamos a localização da etapa de separação [6].

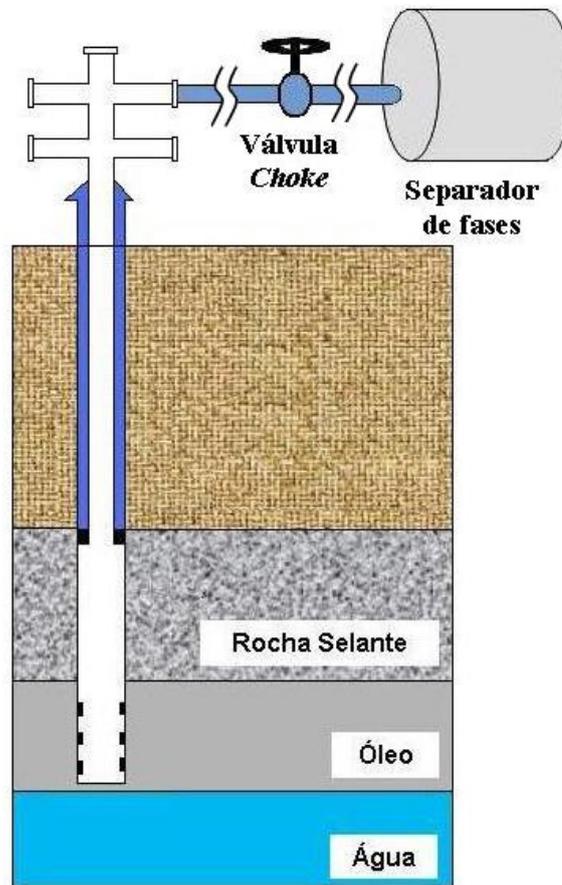


Figura 1.2 Esquema simplificado de um sistema de produção.

Os tamanhos típicos de gotas da fase dispersa encontrados nos sistemas de produção encontram-se na faixa de $10 \mu m$ a 1 mm . Porém, em função do controle do escoamento através da válvula *choke* é possível encontrar gotas menores do que $5 \mu m$ na entrada do separador de fases. Dentro do sistema de produção, é durante a passagem na válvula *choke* que os fluidos sofrem as mais violentas variações de velocidades e deformação, gerando conseqüentemente uma maior quebra de gotas devido à grande redução da área efetiva para o escoamento [6].

Poucos estudos têm sido publicados sobre a influência desse tipo de equipamentos na formação de emulsões.

A motivação deste trabalho é o estudo fundamental da formação de emulsões durante o escoamento através de pequenos orifícios, a fim de entender o fenômeno em escalas menores às encontradas nas instalações de produção.

1.2. Objetivos

A formação de emulsões durante o processo de produção de óleo é extremamente complexa. Desta forma, para o entendimento dos fenômenos envolvidos, é necessário um estudo fundamental através de uma abordagem simplificada do problema. Os principais objetivos desta pesquisa são:

- Estudar a formação de emulsões em um escoamento laminar através de um capilar reto. Para tanto avaliaremos o tamanho de gota das emulsões em função de diferentes parâmetros operacionais, como: vazão, diâmetro de capilar, taxa de cisalhamento e tempo de residência.

- Estudar o processo de quebra de gota na formação de emulsão no escoamento de óleo e água através de uma válvula de agulha. Para tanto avaliaremos o tamanho de gota das emulsões em função de diferentes parâmetros operacionais, como: taxa de dissipação de energia, queda de pressão e vazão.

- Disponibilizar informação experimental para o desenvolvimento de modelos numéricos, simulando o escoamento de emulsões nas instalações de superfície.

1.3. Escopo

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No Capítulo 1, apresentamos a introdução, motivação e objetivos da pesquisa. O Capítulo 2 descreve os conceitos fundamentais que servem de marco teórico para o desenvolvimento do trabalho. No Capítulo 3 apresentamos um estudo experimental de formação de emulsões em capilares retos. No Capítulo 4 apresentamos um estudo experimental de quebra de gotas em emulsões óleo-em-água no escoamento através de uma válvula agulha. Finalmente, as referências bibliográficas são apresentadas no Capítulo 5.