

1 Introdução

"O poder de concorrência e as forças de mercado no desbloqueio de tecnologia e inovação para atender às necessidades de energia do mundo, nos torna otimistas para o futuro da energia do mundo." Bob Dudley, CEO do Grupo BP em BP's Energy Outlook, 2014.

O consumo mundial de energia deverá crescer em 56% entre 2010 e 2040, passando de 524 quatrilhões de unidades térmicas (Btu) para 820 quatrilhões de BTUs. A maior parte desse crescimento ocorrerá em países não-OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), onde a demanda é impulsionada pelo forte crescimento econômico. Os combustíveis fósseis continuarão a fornecer cerca de 80% do uso mundial de energia até 2040.

O setor industrial continua representando a maior parcela do consumo de energia e está projetada para consumir mais do que a metade da energia mundial em 2040. Com base nas políticas e regulamentos atuais que regem o uso de combustíveis fósseis relacionados com a energia global, está estimado um aumento para 45 bilhões de toneladas métricas em 2040, o que representa 46% em relação a 2010. O crescimento econômico nos países em desenvolvimento, alimentado por uma dependência contínua de combustíveis fósseis, representa a maior da demanda.

Espera-se que parte do aumento na produção de petróleo e outros líquidos (incluindo biocombustíveis) para 2035 seja fornecido principalmente pelas Américas e Oriente Médio.

Mais da metade do crescimento virá de fontes não-OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), através do aumento da produção de petróleo em areias betuminosas do Canadá, em águas profundas do Brasil e de biocombustíveis, compensando o declínio de campos maduros já existentes segundo International Energy Outlook 2013 (IEO2013).

Em 2014, a oferta interna total de energia demandada no Brasil, atingiu 305,6 Mtep (12,1 bilhões de BTUs), registrando uma taxa de crescimento de 3,1% ante à evolução do PIB nacional de 0,1%, segundo o último dado divulgado pelo IBGE. Gás natural, petróleo e derivados responderam por 80% deste

incremento. Devido basicamente à redução na oferta interna de hidroeletricidade com consequente aumento de geração térmica, seja gás natural, carvão mineral ou óleo. Além disso, o consumo do setor de transporte pelo terceiro ano consecutivo cresceu significativamente.

A oferta de energia no Brasil pode ser analisada na Tabela 1-1, onde as mesmas estão separadas por fonte renováveis e não renováveis. Enquanto que o consumo de energia por fonte no Brasil pode ser observado na Figura 1-1, onde pode-se observar que acima de 50% da energia consumida no Brasil provem de combustíveis fósseis (Balanço Energético Nacional - BEN 2015).

Tabela 1-1 - Oferta de energia no Brasil. (BEN 2015).

	Tipo	Representação (%)
Renováveis	Biomassa	15,7
	Hidráulica	11,5
	Lenha e carvão vegetal	8,1
	Lixívia e outras renováveis	4,1
Não renováveis	Petróleo e derivados	39,4
	Gás natural	13,5
	Carvão mineral	5,7
	Urânio	1,3
	Outras não renováveis	0,6

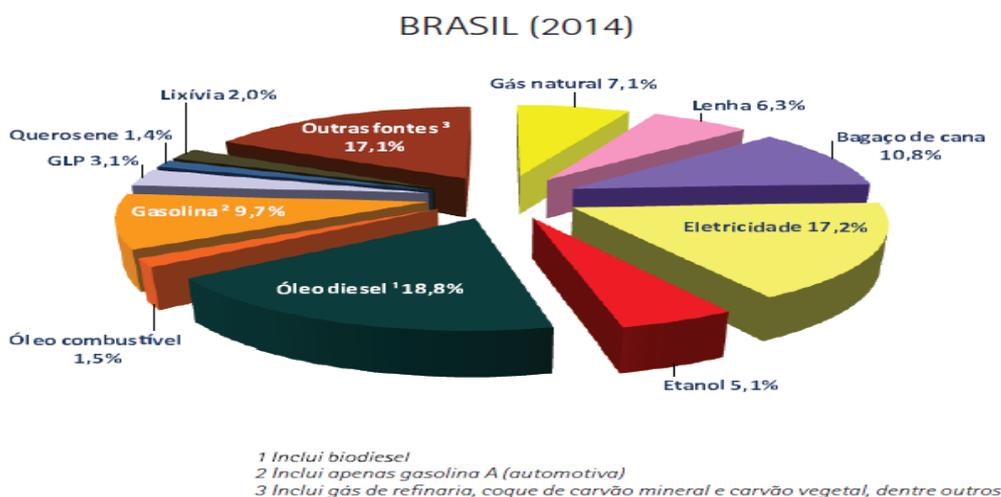


Figura 1-1 - Consumo de energia por fonte no Brasil (BEN 2015).

Diante do panorama atual, a energia no século 21 é o principal pilar para a continuação do desenvolvimento econômico. Recursos naturais cada vez mais limitados, alterações climáticas e a crescente demanda de energia resultante de alterações demográficas e do desenvolvimento econômico são alguns dos maiores desafios que enfrentamos. A disponibilidade de recursos de

hidrocarbonetos coloca o petróleo como uma importante fonte não renovável da matriz energética mundial para as próximas décadas.

A exploração de petróleo tem se mostrado uma importante ferramenta para a geração de grande parte da energia demandada pela população. Porém, atualmente, a maior parte das reservas de petróleo e gás descobertas estão concentradas em águas profundas e ultra profundas, camadas de 5 a 7 mil metros de profundidade abaixo do nível do mar. Com isso a descoberta de novos campos de petróleo tem se tornado cada vez mais complexa, devido às dificuldades decorrentes das condições do meio onde se encontram tornando a extração de petróleo cada vez mais onerosa (BEN, 2015).

Alguns dos problemas observados na indústria de petróleo estão relacionados à baixa taxa de recuperação de óleo em campos maduros. Contudo, novas pesquisas e estudos estão sendo desenvolvidos para novas tecnologias de extração, pois o incremento dos fatores de recuperação em campos maduros é de fundamental importância para suprir a demanda energética mundial, na qual o petróleo corresponde à maior porcentagem e deve continuar a corresponder por várias décadas.

A indústria de petróleo e gás tem buscado novas tecnologias que proporcionem superar os desafios técnicos e promover um aumento dessas taxas de recuperação em poços produtivos. Com isso, métodos de recuperação avançados (*Enhanced Oil Recovery – EOR*) são estudados, uma vez que eles atuam nos casos onde os processos convencionais não são eficientes. Além disso, estes métodos são subsequentes de um método convencional e visam deslocar o óleo remanescente no reservatório.

Um dos métodos de recuperação avançada bastante utilizado é a injeção de soluções poliméricas. Polímeros são macromoléculas que possuem elevada massa molar e que são formadas por unidades químicas que se repetem ao longo de sua estrutura, conhecidas como monômeros.

Atualmente, os polímeros mais utilizados pelos métodos de recuperação avançada são o biopolímero goma xantana (Rangel et al., 2012) e poliacrilamidas parcialmente hidrolisadas (Soares, 2007), apresentando estas últimas baixo custo, boas propriedades físicas e químicas e baixa toxicidade relativa, fatores positivos para a sua aplicação na recuperação do petróleo (Valentim, 2005).

A escolha do polímero é geralmente feita a partir das características do mesmo e do sistema de reservatório (Melo et al., 2008). Estes conhecimentos

são de fundamental importância para o sucesso do método de recuperação por injeção de polímeros (Lake *et al.*, 2008).

Uma vez selecionado o polímero o mesmo é adicionado sob condições muito específicas à água de injeção com o intuito de aumentar a viscosidade da fase aquosa no reservatório, diminuindo sua mobilidade. Conseqüentemente a razão de mobilidade água/óleo e a permeabilidade efetiva da água diminuem uniformizando a frente de avanço e melhorando a eficiência de varrido. Outra vantagem deste método de recuperação é que o mesmo busca reduzir a quantidade de água injetada e, conseqüentemente, o volume de água produzida (Zampieri, 2012).

O planejamento do processo de injeção de soluções poliméricas envolve o estudo e simulação do escoamento no meio poroso. As condições de operação e propriedades dos fluidos injetados podem ser otimizadas baseadas nos resultados de simulações numéricas do processo de deslocamento e produção de óleo. Dai a importância de modelos precisos para o estudo do escoamento de fluidos não Newtonianos em meios porosos.

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo numérico para a simulação de injeção de soluções poliméricas em meios porosos na escala de reservatórios. Em uma primeira análise, a solução polimérica é considerada um fluido não Newtoniano puramente viscoso, com a viscosidade variando (diminuindo) com a taxa de cisalhamento. A fim de estudar o efeito do comportamento viscoelástico de soluções poliméricas, considera-se, em uma segunda análise, a solução polimérica como um fluido não Newtoniano com viscosidade extensional variando (aumentando) com a taxa de extensão. Analisando-se assim o comportamento viscoelástico do polímero conforme as suas taxas de cisalhamento e extensão. Além de avaliar o efeito das propriedades reológicas e vazão de injeção na produção de petróleo.

Devido à impossibilidade de se analisar os efeitos da taxa de cisalhamento e extensão de forma idealizada (separadamente) em um simulador comercial, o código aberto MRST, para injeção de água, desenvolvido pelo SINTEF em MatLab foi modificado com a inclusão da equação de transporte de polímeros e comportamento reológico do mesmo para cada caso.

1.2. Descrição da Dissertação

Este trabalho está dividido em sete capítulos. O primeiro capítulo aborda de forma introdutória o tema da dissertação e são apresentados os objetivos do trabalho.

No segundo capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais relativos ao escoamento em meios porosos.

No capítulo 3 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os métodos de recuperação de petróleo e particularmente a injeção de polímeros, bem como o comportamento viscoelástico destes fluidos.

No capítulo 4 é apresentado o modelo de escoamento bifásico imiscível e incompressível em meios porosos com suas correspondentes condições de contorno, assim como a apresentação da equação de transporte de polímero e das equações que regem os modelos não Newtoniano considerados.

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no capítulo 5.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões e recomendações do trabalho e o capítulo 7, as referências bibliográficas.