

6 Considerações, conclusões e recomendações

6.1 Considerações

Atualmente existem 4 projetos de desenvolvimento de bombeamento multifásico para aplicação submarina na produção de petróleo. Dentre os projetos estudados demos ênfase para aqueles em desenvolvimento nos programas PROCAP da PETROBRAS e no DEMO 2000 do Governo da Noruega. Assim para os casos estudados, o fator limitante foi o diferencial de pressão da bomba disponível nos dois projetos. Como premissa básica utilizamos em todas as simulações um diferencial de pressão de 40 bar, que julgamos ser mais conservador dos que os valores limites buscados nos protótipos desses sistemas (i.e., 60 bar).

Os parâmetros, elegíveis para este estudo, foram baseados em estudos e trabalhos prévios e que acreditamos terem grande influência na seleção e determinação do mais adequado sistema de elevação ou de estimulação.

6.2 Conclusões

Confirmando as expectativas dos organismos especializados em energia, concluímos que o petróleo e o gás permanecerão dominantes na matriz energética mundial primária com uma participação combinada de aproximadamente 62% até 2020. Enquanto, a concentração da produção de hidrocarbonetos estará se reduzindo a um pequeno número de países produtores, principalmente do Oriente Médio. A perspectiva de novas descobertas, em lâmina d'água cada vez mais profunda, imporá à comunidade técnico-científica novos desafios e dessa forma passarão ter contribuição significativa, no cenário mundial de produção de petróleo, o Oeste da África, o Golfo do México e o Brasil. O salto tecnológico será o de tornar viável técnica e economicamente a exploração desses recursos, bem como reduzir os riscos envolvidos. Considerando os ambientes hostis em que

tais atividades serão executadas, e, os volumes envolvidos, é possível inferir o alto nível da demanda para o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias.

Diante desse promissor e motivador cenário, destacamos a demanda e aplicação da rota de “Bombeamento Multifásico de Petróleo”, e, dentre as tecnologias disponíveis e em desenvolvimento na mesma, podemos destacar aquelas relativas as bombas de duplo-parafuso e as bombas hélico-axiais. Para este estudo foi selecionada a bomba de duplo-parafuso, por razões específicas desses ditos ambientes hostis e de características dessas próprias bombas.

6.2.1 Conclusões – seleção da bomba

A seleção do tipo bomba foi resultado do conhecimento, compreensão e estudos realizados e, da aplicação de cada tecnologia e seus benefícios. E, dentre todos os tipos de sistemas de bombeamento multifásico, selecionamos a bomba volumétrica (ou deslocamento positivo) rotativa de duplo-parafuso. Concluimos que entre as razões da escolha estão sua habilidade de bombear misturas com até 95% de FVG nas condições de sucção e altos valores de viscosidade, as quais são características largamente encontradas nos cenários de produção, incluindo igualmente reservatórios na Bacia de Campos. São igualmente bombas de baixa e média vazão, com incremento de pressão de médio a altos valores, não apresentando limitações no valor da razão de compressão e, pelo próprio princípio de funcionamento, independentes da densidade da mistura do fluido bombeado.

6.2.2 Conclusões – arquitetura do sistema

A aplicação de um sistema de bombeamento multifásico submarino na produção de petróleo, num sistema equipado com *manifold*, deve levar em consideração o local de instalação da bomba e sua utilização deve ser analisada de forma integrada ao projeto, certificando-se das restrições técnicas e econômicas. O ponto ótimo de operação deverá ser definido dentre aqueles típicos de sistemas

de elevação, i.e., de máxima vazão de líquido, de máxima eficiência energética ou de melhor eficiência econômica. Neste estudo, adotando ser o ponto de máxima vazão de líquido aquele de nosso interesse, concluímos que a melhor localização será ditada pela inter-relação dos componentes de consumo de energia, i.e., gravitacional, aceleracional e de fricção – os quais reproduzem todas as características geométricas (arquitetura), dos fluidos produzidos e das condições de produção do sistema em análise. Interessante registrar que tais funcionais, a depender de características do sistema, podem igualmente determinar ser indiferente a instalação, de um sistema de bombeamento multifásico, a montante ou a jusante de um certo componente do sistema de produção. Entretanto, considerando as características adotadas para o sistema neste estudo, concluímos que a instalação de uma bomba a jusante do *manifold*, quando comparada com os demais cenários, apresentou o melhor resultado, possibilitando um incremento substancial na produção de líquido – afora utilizarmos somente uma bomba, o que traz grande vantagem econômica.

6.2.3

Conclusões – características específicas do reservatório.

Dentre as características específicas do reservatório a que julgamos mais representativa para análise foi o índice de produtividade – IP. Isso por estar o mesmo intimamente relacionado com a capacidade de produção do reservatório e ter influência fundamental no processo de elevação e escoamento. Com o aumento do IP foi comprovado o aumento na produção de líquido. No cenário surgente, quando do aumento do IP em 50%, devido ao impacto diferenciado ocorrido nos poços do sistema, não mais conseguimos a produção do conjunto sob condições de *chokes* abertos – far-se-ia necessário, por exemplo, impor níveis de estrangulamento (*choking*) para se obter uma produção do conjunto de poços. Entretanto, ao se instalar a bomba a jusante do *manifold* obtivemos uma produção 20% maior em comparação aquela obtida para os valores iniciais de IP. Noutra importante constatação tem-se que tal parâmetro é igualmente determinante na definição acerca de qual poço devemos estimular (bombear), acaso desejássemos um bombeamento localizado e restrito a alguns poços. Em princípio, estimular

(bombear) os poços de mais alta capacidade será mais efetivo – em termos de vazão de líquido – do que estimularmos aqueles poços mais fracos; acaso em tal poço igualmente ocorra produção concomitante de água, tal fato deverá logicamente ser considerado na busca da máxima vazão de óleo do conjunto.

No que tange a produção de água – ainda que tal parâmetro não tenha sido incorporado na análise de sensibilidade realizada - tem –se por expectativa que tal produção – afora reduzir o valor econômico do volume de líquido produzido – deverá contribuir para uma diminuição da vazão total de líquido. Tal resultará do aumento da densidade (massa específica) da mistura líquida – provocando maiores consumos na elevação – e igualmente atingir maiores valores de viscosidade para essa mistura – provocando maiores consumos friccionais – acaso ocorra a formação de emulsões óleo e água. Logicamente, a adição de energia através do bombeamento multifásico tem o potencial de mitigar tal efeito e até mesmo aumentar as vazões de líquido (incluindo óleo) em relação aos valores que seriam produzidos por surgência natural nessa sistema – aspectos econômicos e de reservatório devem igualmente serem analisados nessa aplicação.

6.2.4

Conclusões – características dos fluidos produzidos.

Razão Gás-Óleo – O aumento da razão gás-óleo provoca o aumento do volume de gás presente na sucção da bomba e conseqüentemente o aumento do custo de bombeamento (menor eficiência). Em outras palavras, o aumento da RGO significa maiores quantidades de gás presentes, maiores vazões totais, maiores vazões das fases e igualmente maiores níveis de irreversibilidade na cessão de energia aos fluidos.

Viscosidade do Óleo Morto – A viscosidade do óleo morto afeta diretamente o gradiente de pressão do sistema. Quanto maiores as forças viscosas maior será a resistência a ser imposta pelo sistema ao escoamento dos fluidos. Nesse cenário, quando da instalação de um sistema de bombeamento, menor será a contra-pressão sentida pelos poços e assim possibilitando um aumento de produção.

6.3 Recomendações

Diante da perspectiva do descobrimento de novos acúmulos de hidrocarbonetos nas bacias sedimentares brasileiras, os chamados óleos pesados, baixo grau API e alta viscosidade e baseados nas conclusões deste trabalho e naquilo pertinente e encontrado na revisão de literatura realizada, apresentamos algumas propostas para futuros trabalhos de investigação - tanto na área técnico-científica bem como, na área econômica. Assim, recomendamos:

- Estender o estudo para os demais parâmetros intervenientes na seleção e definição do sistema de bombeamento (e.g., *BSW*).
- Estender o estudo para uma análise econômica e energética da aplicação do sistema de bombeamento multifásico submarino objetivando definir o ponto ótimo de operação – i.e, de máxima vazão de líquido, de máxima eficiência energética ou de melhor eficiência econômica. ;
- Estender o estudo para viabilidade de produção de um campo marginal via bombeamento multifásico através de um sistema de *manifold* e UEP já existente;

Estender o estudo para aplicação de um sistema de bombeamento multifásico concomitantemente com um sistema