

## **DIMENSIONAMENTO DE POÇO DIRECIONAL HORIZONTAL COM BOMBA ELÉTRICA SUBMERSÍVEL DE CAVIDADE PROGRESSIVA**

Débora Tarouquela Baptista; Matheus Pereira Fabris; Prof. Msc. Sávio Raider Matos Sarkis

*Universidade Federal do Amazonas - debora\_tarouquela@hotmail.com*

### **RESUMO**

Dentre os principais métodos de elevação artificial tem-se o Bombeio por Cavidade Progressiva (BCP), porém como este método trabalha com hastes, fica impossibilitado de trabalhar em poços com grande angulação, como horizontais. Por esse motivo foi criado a variação deste método, o método de Bomba Elétrica Submersível de Cavidade Progressiva (ESPCP), onde retira-se as hastes e utiliza-se o motor de fundo do método de Bombeio Centrífugo Submerso (BCS), assim unindo as vantagens de ambos os métodos. O presente trabalho propôs o dimensionamento ótimo para um poço direcional horizontal com a utilização do método de elevação ESPCP com simulação utilizando o software PC-PUMP, assim mostrando a eficácia deste método, além de se comparar o trabalho com duas bombas de diferentes potências, demonstrando a melhor escolha, ou seja, a bomba que apresentar um melhor rendimento e custo benefício. Os resultados obtidos demonstrados por gráficos e tabelas atingiram os objetivos com resultados satisfatórios conforme encontrado na literatura.

**Palavras-chave:** Método de elevação artificial; Poço direcional horizontal; Bomba elétrica submersível de cavidade progressiva (ESPCP).

### **ABSTRACT**

Among the main methods of artificial elevation, there is the Progressive Cavity Pump (PCP), this method works with rod, it is impossible to work in wells with large angulation, such as horizontal. For this reason a variation was created, the Progressive Cavity Submersible Electric Pump (ESPCP), where the rod is removed and the use of a bottom engine of the Electrical Submersible Pump (ESP) method, joining the advantages of both methods. The present work proposes to perform an optimum design for a horizontal directional well with an ESPCP elevation method simulation by means of the PC-PUMP software, showing the efficiency of this method, besides comparing the work with two different pumps power, demonstrating the better choice, that is, a pump that presents a better performance and cost, showing by graphs and tables the results obtained. The results are obtained by graphs and tables, generating objectives with satisfactory results as the literature presents.

**Keywords:** Artificial elevation method; Horizontal directional well; Submersible progressive cavity electric pump (ESPCP).

### **INTRODUÇÃO**

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

**www.conepetro.com.br**

Atualmente, vivencia-se na indústria petrolífera, a descoberta de novas jazidas repletas de hidrocarbonetos leves, pesados e ultra pesados. Esses hidrocarbonetos precisam ser elevados até a superfície para serem comercializados. Os mesmos são elevados por meio de sua pressão natural ou por meio de métodos de elevação artificial. (SOUZA, 2013).

O ESPCP é um método combinado que integra a tecnologia de bombeamento de uma bomba de cavidade progressiva (BCP) no sistema de bomba elétrica submersível (BCS), seu objetivo principal é propor a combinação de um motor imerso permanente submersível (PMM) com o BCP para elevar a performance de elevação, além de superar o método BCS

O objetivo principal deste trabalho visa a otimização de um poço horizontal com o método de elevação artificial ESPCP aplicando o software de simulação PC-PUMP.

Objetivos específicos incluem: Mostrar a configuração geométrica do poço conforme os parâmetros de projeto Analisar as curvas das condições de operação das bombas pré-selecionadas; Demonstrar o perfil de pressões, perda de carga, temperatura e viscosidade, bem como a produção do poço.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **ELEVAÇÃO DO PETRÓLEO**

Na indústria do petróleo o termo elevação é utilizado para um processo no qual os líquidos produzidos por um reservatório são transportados verticalmente do fundo do poço até a cabeça na superfície.

O principal fator que auxilia essa elevação é a própria pressão do poço quando necessária a adição de energia externa, assim o processo é chamado de elevação artificial. Este pode ocorrer por meio de vários métodos, sendo estes usando bombas especiais dentro do poço.

#### **Bombeio por Cavidade Progressiva (BCP)**

No BCP a transferência de energia ao fluido é feita através da utilização de uma bomba de cavidades progressivas. Esta bomba de deslocamento positivo trabalha imersa em poços de petróleo e é constituída de rotor e estator. O acionamento da bomba pode ser originado da superfície através da coluna de hastes e um cabeçote de acionamento, ou no fundo do

poço devido um acionador elétrico ou hidráulico acoplado à bomba (THOMAS, 2004).

### **Bombeio Centrífugo Submerso (BCS)**

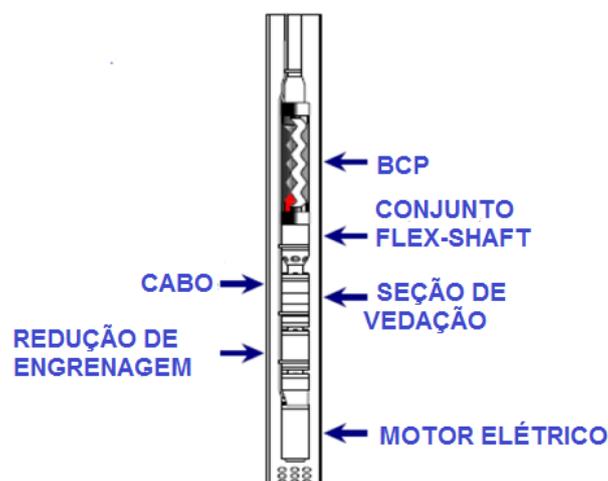
Diferente do BCP, a BCS envia energia ao fundo do poço para iniciar o bombeamento através de um cabo elétrico. No fundo, a energia elétrica é transformada em mecânica por um motor de subsuperfície que está diretamente conectado a bomba, que por sua vez fornece energia para o fluido na forma de pressão (RIZZO, 2011).

### **Bomba Elétrica Submersível de Cavidade Progressiva (ESPCP)**

O ESPCP integra a tecnologia de bombeamento de uma bomba de cavidade progressiva (BCP) no sistema de bomba elétrica submersível (BCS). O uso do ESPCP também acontece em poços com alto teor de gás no fluido, fluidos carregados de areia ou óleo viscoso grosso, onde o desempenho de sistemas BCS pode ser degradado. No método BCP o cordão da haste gira inteiro dentro da corda da tubulação, o desgaste da haste / tubulação pode ser um problema sério entre os poços desviados, isso pode resultar em grandes buracos na tubulação. Entretanto foi solucionado incorporando motores BCS com BCPs (ALYIEV, 2013).

### **Componentes de um sistema ESPCP**

**Figura 1 – Visão Esquemática do ESPCP**



(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

Fonte: Aliyev, 2013

### **Benefícios do ESPCP**

Além de custos iniciais menores e melhor eficiência volumétrica e global da bomba em relação a um BCS, permite que motores menores conduzam o sistema, melhorando a confiabilidade e otimizando a velocidade do motor e da bomba, elimina a necessidade de múltiplos sistemas de óleo e vedações para o motor e redutor de engrenagens, fornece separação eficiente de gás em poços desviados ou horizontais e permite vazão máxima na menor queda de pressão.

### **Perfuração Direcional Horizontal**

Realizado quando o objetivo da perfuração não se encontra na mesma vertical da localização da sonda, sendo necessária a utilização de técnicas e equipamentos específicos. Como é impossível perfurar um poço direcional sempre numa mesma direção, tendem a desviar lateralmente a broca. A projeção horizontal possibilita uma visão do topo do poço direcional.

### **METODOLOGIA**

Para a realização da simulação da produção do poço com o uso do método de elevação artificial foi utilizado o software PC-PUMP v3.6.1 2016 da empresa C-FER Technologies, o qual trabalha com os métodos BCP e a sua variação ESPCP.

O software PC-PUMP possui quatro abas de entrada, onde devem ser inseridos os dados para a realização da simulação, são eles:

- Geometria do poço, onde entra-se com as dimensões, ângulos e azimutes;
- Configuração do equipamento: abrange a escolha prévia da tubulação e revestimento, a bomba utilizada e o equipamento de fundo de poço;
- As propriedades do fluido: a composição do fluido, a razão gás/óleo, separação do gás livre e viscosidade do fluido;
- Condições de operação: inclui a especificação da curva IPR, informações de operação pressão superficial e temperatura.

As outras três abas disponíveis no PC-PUMP incluem opções, análise de resultados e análises auxiliares.

### **RESULTADOS**

## Geometria do Poço

Com os dados calculados pelo software podemos verificar a geometria e os dados de entrada da geometria do poço gerando uma tabela.

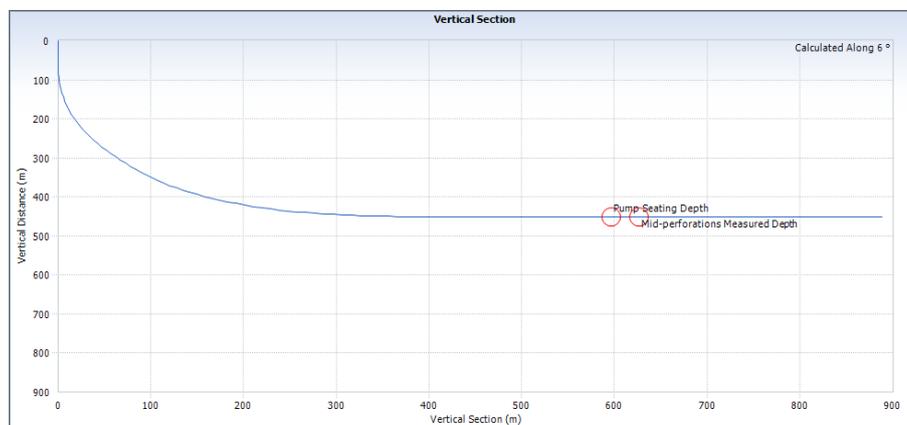
**Tabela 1 - Descrição do poço**

Descrição do poço	
Intervalo Médio	9.87
Azimute Final	0.0
Ângulo final do poço	90.0
Offset Horizontal Final	879.2
Medida Total de Profundidade	1194.6
Medida Total Vertical	450.0
Máxima Severidade de Curvatura (dogleg)	7.7 °/30m
Localização da máxima severidade de curvatura	579.6 mKB

Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

Com os dados da geometria foi gerado o seguinte gráfico:

**Figura 2 - Seção Vertical do Poço**



Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

Na figura 2 acima observamos a sessão vertical, demonstrado por um gráfico da distância vertical vs a seção vertical e a localização do assentamento da bomba e da perfuração média do poço.

## Aplicação do ESPCP

### Parâmetros de Entrada e Saída

Na aba de resultados do PC-PUMP temos o resumo dos dados de entrada que foram comentados anteriormente na metodologia e os dados de saída calculados pelo software como demonstrado nas tabelas abaixo.

- Parâmetros de Entrada:

**Tabela 2 - Propriedades do Fluido**

Propriedades do Fluido	
Tipo de Fluido	Multifásico
Grau API do Óleo	15° API
Salinidade da água	10000.00
Densidade específica do gás	0.70
Porcentagem de Água e Sedimentos	3.00 %
Razão Gás-óleo de produção	40.00 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> %
Separação do gás livre	100.00 %
Calor específico do óleo	1.85 kj/kg.K
Condutividade termica do óleo	0.12 W/m.K
Calor específico da água	4.20 kj/kg.K
Condutividade termica da água	0.61 W/m.K

Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

**Tabela 3 - Condições de Operações**

Condições de Operação	Bomba 1 (D064/135)	Bomba 2 (D054/120)
Taxa de Fluxo Líquido na Superfície	200.00 m <sup>3</sup> /D	200.00 m <sup>3</sup> /D
Velocidade da Bomba	359.98 RPM	426.22 RPM
Frequencia de Operação	50.75 Hz	58.24 Hz
Eficiência Volumétrica da Bomba	90.00%	90.00%
Nível do Fluido (específico)	781.81 mKB	288.90 mKB
Submersão	178.19 m	671.10 m
Pressão do Fundo do Poço	2454.10 kPa	2454.10 kPa
Pressão da Cabeça da Tubulação	1400.00 kPa	1400.00 kPa
Pressão da Cabeça da Coluna (revestimento)	1400.00 kPa	1400.00 kPa
Temperatura do Fundo do Poço	38.00 °C	38.00 °C
Gradiente de Temperatura	2.00 °C/100m	2.00 °C/100m
Temperatura do Fluxo na Cabeça do Poço	19.20 °C	19.20 °C

Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

**Tabela 4 - Parâmetros de Saída da Bomba 1 e Bomba 2**

Parâmetros Básicos	Bomba 1 (D064/135)	Bomba 2 (D054/120)
Pressão de Admissão da Bomba	2384.59 kPa	2385.23 kPa

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

Pressão de Descarga da Bomba	6175.59 kPa	6162.79 kPa
Pressão Diferencial	3791.00 kPa	3777.56 kPa
Cabeça Hidrostática Líquida	3084.40 kPa	3082.99 kPa
Perdas de Fluxo	706.60 kPa	694.58 kPa
Carga de Pressão de Bomba	28.17 %	31.48 %
Torque da Bomba	696.48 N.m	325.68 N.m
Carregamento Axial da Bomba	16.04 kN	15.86 kN
Temperatura do Condutor do Cabo	40.07 °C	40.43 °C
Temperatura do Enrolador do Motor	104.83 °C	125.39 °C

<b>Parâmetros do Fundo do Poço</b>	<b>Bomba 1 (D064/135)</b>	<b>Bomba 2 (D054/120)</b>
Potência de Entrada do Sistema	21.24 kW	23.72 kW
Potência de Saída do Motor de Fundo	14.94 kW	15.58 kW
Custo de Energia	25.48 \$/dia	28.46 \$/dia
Carga de Impulso da Unidade de Condução	10.28 %	10.17 %
Carga de Torque da Unidade de Condução	31.25 %	27.77 %
Carga de Potência da Unidade de Condução	26.62 %	27.85 %
Carga de Velocidade da Unidade de Condução	66.45 %	78.21 %
Carga do Motor de Fundo	34.46 %	30.75 %
<b>Eficiência do Sistema</b>	<b>Bomba 1 (D064/135)</b>	<b>Bomba 2 (D054/120)</b>
Eficiência Mecânica/Elétrica	47.58 %	42.47 %
Eficiência Geral do Sistema	42.83 %	38.23 %
Eficiência da Bomba Volumétrica	90.00 %	90.00 %

Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

Seguindo a análise do software da utilização do método de elevação por bomba elétrica submersível de cavidade progressiva (ESPCP) a utilização da bomba 1 é a ideal neste caso, já que a bomba 2 apresentou nos resultados que o fator de potência é abaixo do necessário.

### Fluxo de energia

Na aba de fluxo de energia, comparando as duas bombas utilizadas observamos que a eficiência geral elétrica/mecânica da bomba 1 (MONOFIO D064/135), que obteve um resultado de 47.58 %, é mais eficiente do que a bomba 2 (MONOFIO D054/120) que apresentou uma eficiência de 42.47 %.

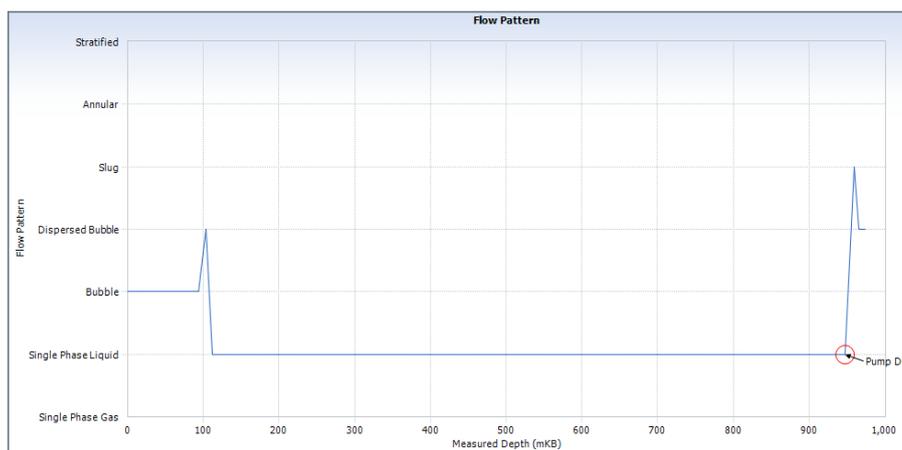
### Equipamentos de direção

No que se refere aos equipamentos de direção, a unidade de condução da bomba 1 apresentou eficiência de 93.0 %, e a bomba 2 de 93.3 %. O motor de fundo da bomba 1 mostrou um melhor desempenho para a bomba 1. O cabo utilizado são os mesmos para ambas as bombas, porém o cabo da bomba 1 apresentou um custo de operação menor.

### Fluido Multifásico

Observa-se que em 0m o escoamento encontra-se no padrão bolha que se mantém até 93m. Em 100m há um ponto de bolha disperso que em 103m já apresenta um padrão de escoamento de monofásico líquido, esse padrão se mantém até o ponto de descarga da bomba em 948m e após esse ponto apresenta um padrão de golfada em 960m e se encerra como bolha dispersa em 974m.

**Figura 3 - Padrão de Escoamento**



Fonte: Elaboração própria através do PC-PUMP, 2017

### Aplicação do BCP

Não foi possível simular o mesmo poço horizontal com o método de elevação artificial de bombeio por cavidade progressiva (BCP), resultado já esperado, já que devido a curvatura do poço haveria o contato elevado do poço com as hastes, causando a quebra da coluna de hastes. O estresse da haste atingiu 132,3 % impossibilitando o uso do método.

### CONCLUSÃO

Neste trabalho foi utilizado o software PC-PUMP, o qual apresentou resultados satisfatórios para o modelo proposto, onde foi possível realizar a simulação com dois métodos de elevação artificial, o bombeio por cavidades progressivas e o método do presente estudo, bomba elétrica submersível de cavidade progressiva.

No comparativo de equipamento entre a bomba 1 e bomba 2, obteve-se resultado ótimo para a bomba 1, a bomba de maior potência. Já para a bomba 2, não é recomendada a utilização devido uma baixa potência, resultando em um maior gasto energético e maior custo de operação, portanto não sendo rentável economicamente.

Além disso, o software gerou gráficos onde pode-se ser acompanhado todas as características apresentadas durante a simulação da elevação artificial, onde foi verificado se tratar de um poço com uma produção predominante de óleo, o que era esperado devido a profundidade que se encontra.

Sugestões para outros trabalhos incluem simulação com diferentes geometrias de poço, uso de outras correlações multifásica ou utilização de um fluido de fase única, pode-se também fazer a escolha de outros equipamentos disponíveis pelo software.

## REFERÊNCIAS

- ALIYEV, Elshan. **Development of expert system for artificial lift selection.** Turquia. 2013.
- RIZZO, H. S. F. **A Otimização de Gás Lift na Produção de Petróleo: Avaliação da Curvas de Performance do.** Rio de Janeiro. 2011.

ROCHA, L. A. S., et al. **Perfuração Direcional**. 2ª Ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, L. H. A.; et al. **Aplicação do Bombeio Mecânico com Hastes na Elevação de Petróleo**. Sergipe, 2013.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.