

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de **P&D** em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCE ENTRE O
COMPORTAMENTO EM BANCADA DE TESTE E O
DESEMPENHO EM UM POÇO DE TESTES DE UMA BOMBA DE
CAVIDADE PROGRESSIVA**

AUTORES:

Larissa Faria Nery, Tiago de Oliveira Silva, Ezequias Santos de Matos, Odilon Luis Santana Abreu.

INSTITUIÇÃO:

Centro de Capacitação Tecnológica em Automação Industrial, Universidade Federal da Bahia

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFORMANCE ENTRE O COMPORTAMENTO EM BANCADA DE TESTE E O DESEMPENHO EM UM POÇO DE TESTES DE UMA BOMBA DE CAVIDADE PROGRESSIVA

Abstract

Progressive Cavity Pump (PCP) is a more recent artificial lift method compared to other more used ones, such as Mechanical Pump (MP) and Electrical Submersible Pump (ESP). Its operation is based on the head drive with an electric motor, which transfers movement to a set of owners that move the rotor, causing the oil to move axially from the suction to a discharge. In order to establish as pump operating specifications, the manufacturer, perform bench tests that will provide information such as operating ranges, speed data, pressure, fluid rate, torque, among others. Benchtop tests, in turn, are performed in a controlled environment with factors that usually differ from the application in a real well. In this work, it is a comparative study between a pump curve tested in a simulation well, with due load losses and operational factors, and a production curve to make a testicle bench. Without qualification, based on the data collected, it is proposed as curves of the pump used. The comparative study was performed using a PCP system in the Laboratory of Artificial Elevation, located at the Polytechnic School of UFBA. The experimental results are aimed at verifying the compatibility of the data collected by the controlled tests performed in the bench and the reality found in an operational environment. Through the elaboration of the curve, it can be the best performance of the progressive cavity pump under experimental conditions.

Keywords: Artificial Elevation, Progressive Cavity Pumping, Performance Curve.

Introdução

A indústria do petróleo dispõe de alguns métodos de elevação artificial, dentre os quais, quatro merecem especial destaque: Gás-lift Contínuo (GLC) e Intermitente (GLI), Bombeio Centrífugo Submerso (BCS), Bombeio Mecânico com hastes (BM) e o Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP) (THOMAS, 2004).

O método de elevação por Bombeio de Cavidades Progressivas se baseia na transferência de energia para o fluido através da bomba de deslocamento positivo que trabalha no interior do poço de petróleo, e que é essencialmente constituída por um rotor e um estator. A geometria do conjunto é tal que forma uma série de cavidades herméticas idênticas. O rotor, ao girar no sentido da sucção para a descarga, realiza a ação de bombeio (THOMAS, 2001; ASSMANN, 2008).

Tal método apresenta vantagens, como a produção de fluídos de alta viscosidade ou mesmo, fluídos com concentração de areia, além de apresentar baixo cisalhamento interno, fator que reduz a emulsificação por agitação. O método, porém, possui algumas restrições, entre outras a taxa de produção, limitada a cerca de 500 m³/dia, e elevação limitada a 3000 metros (QUICKLY, 2013).

Determinar a bomba ideal para realização da elevação artificial maximiza a sua eficiência e a do sistema. Com intuito de estabelecer as especificações de funcionamento da bomba, o fabricante,

realiza testes de bancada que irão gerar dados de rotação, pressão, vazão, torque, potência e eficiência. Por meio dos parâmetros mencionados será estabelecida a curva de performance da bomba BCP, que consiste na relação gráfica entre a vazão, pressão e potência.

Compreender as informações fornecidas por esta curva possibilita a tomada de decisões sobre a aprovação da bomba que será utilizada, rotação por minuto (rpm) e potência que serão aplicados ao sistema. Entretanto o fluido utilizado pelo fabricante não será o mesmo produzido nos campos de petróleo, este e outros fatores, usualmente fazem com que os resultados de bancada se diferenciem da aplicação em um poço real.

O presente artigo propõe a realização de um estudo do sistema BCP no Laboratório de Elevação Artificial (LEA), localizado no Centro de Capacitação em Automação Industrial (CTAI) na Escola Politécnica da UFBA. O LEA dispõe de uma planta completa com o fundo do poço acessível. Analisar as variações na curva da bomba quando esta se encontra em operação em um poço experimental, no qual, fatores como propriedades do fluido, temperatura e perdas de carga na tubulação influenciam na elaboração da curva.

Metodologia

Este experimento foi realizado utilizando um sistema BCP equipado com uma bomba, modelo NTZ350*045ST25, do tipo P06, com 10 estágios, da Netzsch. A mesma é constituída por um rotor 167M10, um estator 1607X0230 e um elastômero 286. Na Figura 1 abaixo podemos visualizar parte dos equipamentos de superfície da infraestrutura do BCP dispostos no LEA:

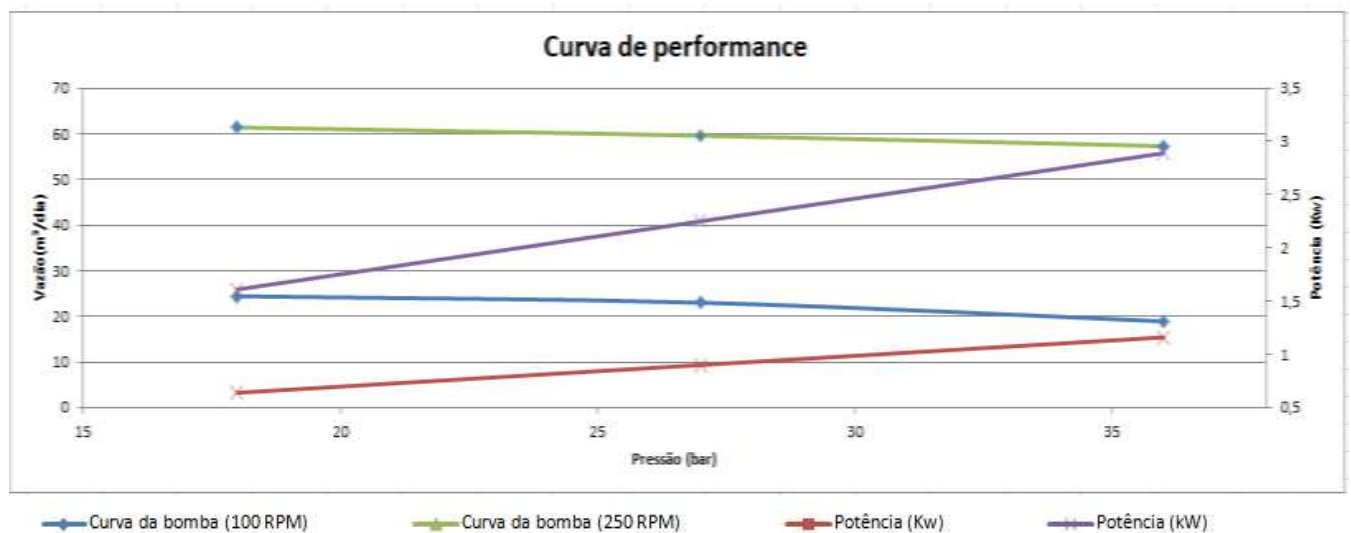
Figura 1: Cabeçote de acionamento do BCP.



Fonte: O autor.

A curva de performance fornecida pelo fabricante foi gerada utilizando um fluido SAE140, com viscosidade de 136 cP a uma temperatura de 60 °C, obtendo valores de vazão, pressão e outros, para rotações de 100 rpm e 250 rpm. A Figura 2 foi reconstruída com os dados do fabricante :

Figura 2: Curva do Fabricante.



Fonte: adaptada da Netzsch.

A bomba apresenta a 100 rpm valores de vazão que variam entre 24,4 m³/dia e 10,7 m³/dia, com pressões correspondentes de 18 bar a 45 bar; estas variáveis formam uma curva decrescente, acompanhados de uma reta com potência crescente variando entre 0,64 kW e 1,41 kW.

Já a 250 rpm apresentará uma variação de vazão de 61,4 m³/dia a 49,0 m³/dia, com uma pressão correspondente entre 18 bar e 45 bar, formando uma curva decrescente. Esta curva está acompanhada pela crescente de potência, variando de 1,61 kW a 3,53 kW.

Para a construção da curva de performance experimental foi utilizado um óleo mineral Lubrax Hidra XP10 com viscosidade de 10,52 cP, segundo a ficha técnica estabelecida pelo fabricante do óleo. Mantiveram-se as rotações estabelecidas pelo fabricante para diferentes pressões e os valores de vazão e potência foram coletados na unidade experimental do laboratório.

A energia requerida para girar o rotor e movimentar o fluido é fornecida pelo torque aplicado ao rotor (ASSMANN, 2008). A Equação 1 é utilizada para calcular o torque gerado nas hastes e no rotor e está utiliza as variáveis elétricas fornecidas pelos parâmetros do inversor Weg.

$$T = P0404 \cdot 60 / (2 \cdot \pi \cdot P0402) \quad (\text{Nm}) \quad (1)$$

Onde:

- P0404= Potência nominal do motor
- P0402= Rotação nominal do motor.

Os valores de torque obtidos foram:

Tabela 1: Torques calculados.

Pressão(bar)	3,12	11,05	20,08	29,05	33,05
100 rpm	0,0021	0,0023	0,0024	0,0025	0,0026
250 rpm	0,0017	0,0018	0,0020	0,0022	0,0023

Fonte: O autor.

Além dos dados obtidos experimentalmente utilizando a unidade de bombeio do LEA, foi acrescentado aos valores de pressão coletados o valor correspondente à perda de carga no tubo de produção do sistema utilizando os seguintes cálculos:

A fim de elevar o fluido a bomba em operação deve superar um diferencial de pressão de elevação correspondente à diferença entre a pressão de recalque e a pressão de sucção na bomba (Equação 2).

$$\Delta PB = Pr - Ps \quad (2)$$

No qual a pressão de sucção (Ps) é calculada utilizando a Equação 3:

$$Ps = Prev + \rho Lgh \quad (3)$$

Considerando que no poço dimensionado não haja presença de gás na produção, a coluna de revestimento seja aberta à atmosfera e o nível de fluido no anular do revestimento esteja até submersão mínima da bomba, ou seja, pressão de sucção igual à zero.

$$Ps = 0$$

E a pressão de recalque pela (Equação 3) :

$$Pr = Ph + Pf + Pwh \quad (4)$$

Onde:

- Ph = Pressão devido ao peso da coluna hidrostática de líquido sobre a bomba;

- Pf = perda de carga por atrito no espaço anular entre coluna de produção e haste de bombeio;
- Pwh = pressão na cabeça do poço.

Assim, o diferencial de pressão requerido pelo sistema pode ser estimado por:

- a) Pressão hidrostática (Ph) é calculada através da (Equação 5).

$$Ph = \rho m \times g \times Hb \quad (5)$$

Sendo: massa específica da mistura (ρm); aceleração da gravidade (g); profundidade da bomba (Hb).

- b) Perdas de cargas por atrito (Pf)

Adotando a equação de (BIRD, 1976 apud Farias, 1995) para fluxo anular, haste concêntrica:

$$Pf = \frac{128 \times \mu \times Q \times Hb}{\pi \times dt \times Fk} \quad (6)$$

Onde:

$$Fk = 1 - K^4 - \frac{(1-K^2)^2}{\ln(\frac{1}{K})} \quad (7)$$

$$K = \frac{dh}{dt} \quad (8)$$

Onde: diâmetro das hastes (dh); diâmetro interno da coluna de produção (dt); constante adimensional para fluxo anular (k); fator de correção (Fk); viscosidade do fluido (μ); vazão (Q); profundidade da bomba (Hb).

Esta equação só é válida para escoamento laminar, isto é, quando atendida a condição $Re < 2100$ (Equação 8).

$$Re = \frac{4 \times \rho \times Q}{\pi \times \mu (dt + dh)} \quad (8)$$

Para correção do valor de ΔPf obtido, adotada os seguintes critérios:

- Correção para excentricidade da haste: são acrescentados 8%, para a possibilidade de ocorrência do caso mais desfavorável estudado, conforme ressaltado por Farias (1995);
- Consideração das hastes: as perdas são calculadas para dois diâmetros, das luvas (di) e do corpo das hastes (dh); em seguida é feita uma ponderação entre as perdas no trecho do corpo e no das luvas (onde o diâmetro é maior), com o objetivo de considerar a perturbação provocada pela variação de diâmetro, conforme estudo de Blanco (1999):

- 0,90 * (dh) para o corpo das hastes;
- 0,10 * (di) para as luvas das hastes.

- c) Pressão na cabeça do poço (Pwh)

A pressão na cabeça do poço é função de pressão de separação e das perdas de carga na linha de produção, que dependem da distância do poço até a estação coletora, da vazão de escoamento, das propriedades dos fluidos (como viscosidade e ponto de fluidez) e das condições topográficas e ambientais.

Considerando o óleo Lubrax Hidra XP 10 e a coluna de produção do poço experimental, teremos os seguintes dados:

Tabela 2: Dados para cálculo.

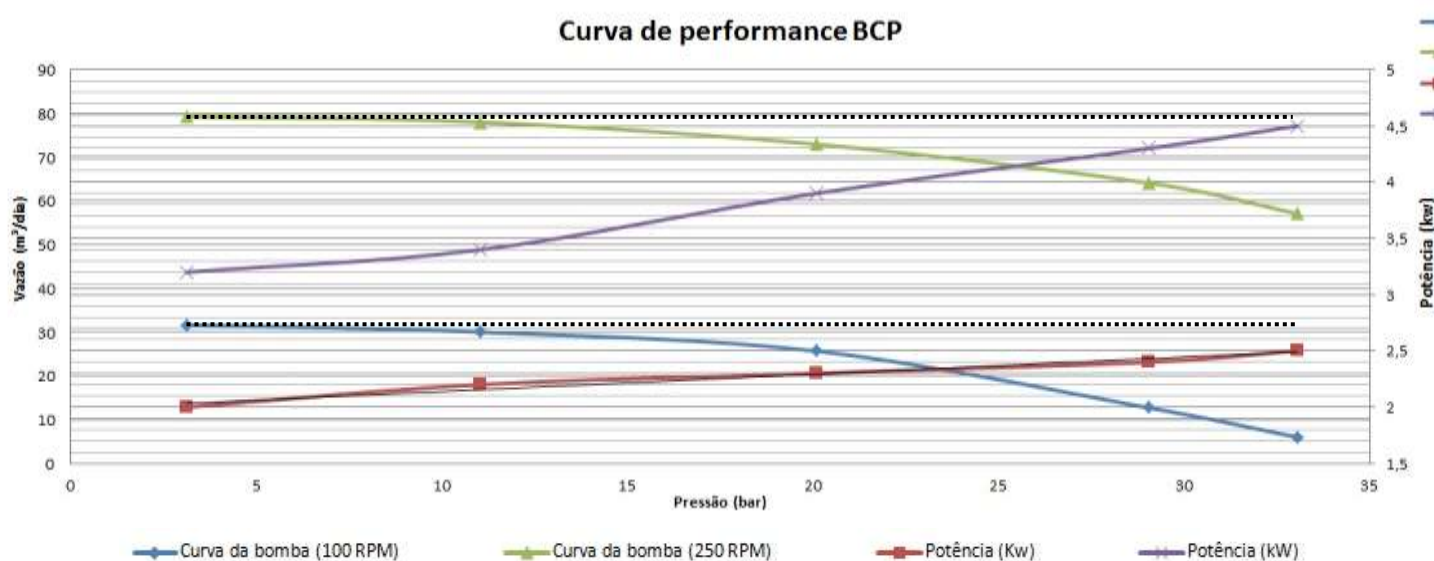
μ (cp)	dt (mm)	dh (mm)	P (kg/m ³)	Hb (m)	D luva (mm)
10,52	62	25,4	855,1	24,96	50,8

Fonte: O autor.

Resultados e Discussão

As curvas características da bomba relacionam a vazão (m³/dia), a pressão(bar) e a potência (kW); caracterizando as condições operacionais do equipamento trabalhando em determinada rotação. Baseados nos valores experimentais coletados em laboratório, foi elaborada a seguinte curva de performance, Figura 3:

Figura 3: Curva experimental.



Fonte: O autor.

A taxa de escorregamento é a diferença entre a taxa de fluido a uma pressão de bomba diferencial especificada e a taxa de fluido a pressão zero (QUICKLY, 2013).

A bomba possui escorregamento a partir de uma pressão de 10 bar, apresentando a 100 rpm um delta de vazão de 31,68 m³/dia a 6 m³/dia, com a variação de pressão entre 3,12 bar e 33,05 bar, o que caracteriza uma curva decrescente que relaciona as grandezas. A potência se configura de forma crescente com valores de 2 kW a 2,5 kW.

A 250 rpm a bomba apresenta uma variação de pressão de 79,2 m³/dia a 57,12 m³/dia, com valores de pressão que vão de 3,12 bar a 33,05 bar formando uma curva decrescente; sua potência também se configura de forma crescente com valores de 3,2 kW a 4,5 kW.

Segundo Assmann (2008), a faixa de rotação ótima, isto é, a que possibilita a melhor relação entre desempenho e a vida útil da bomba, deve seguir a Tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Tabela de relação rotação x viscosidade.

Viscosidade	Faixa ideal	Velocidade máxima
<500 cp	200-300 rpm	500
500 a 5000 cp	150-200 rpm	400
> 5000 cp	100-150rpm	250

Fonte: O autor.

Sendo assim, conceitualmente a faixa ideal de rotação para o fluído experimental seria de 200-300 rpm, já que se trata de um óleo pouco viscoso. Seria adotada assim a rotação de 250 rpm, que apresentaria o melhor desempenho levando em conta as variáveis analisadas. Segundo as curvas foram obtidos os seguintes valores de escorregamento:

Tabela 4: Escorregamento na Bomba.

	100 rpm	250 rpm
Experimental	25,68 m ³ /dia	22,08 m ³ /dia
Fabricante	13,7 m ³ /dia	12,04 m ³ /dia

Fonte: O autor.

Por tanto, a uma rotação de 250 rpm, experimentalmente, foi constatado um menor escorregamento equivalente a 14,01% quando comparado ao valor a 100 rpm e maior 56,16% do que o medido pelo fabricante a mesma rotação; o que condiz com o que foi estabelecido conceitualmente sobre o melhor desempenho da bomba, e retrata um aumento significativo do escorregamento quando os fatores não são controlados como no teste em bancada e dependem de critérios técnicos e operacionais inerentes do reservatório e do poço.

Conclusões

Por tanto, a bomba quando não se encontra em ambiente controlado poderá apresentar diferentes resultados quanto as grandezas analisadas, porém o teste de bancada deve servir de base para seleção e aprovação da bomba utilizada.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Elevação Artificial (CTAI-LEA) da Escola Politécnica da UFBA por ter proporcionado a realização do projeto.

Referências Bibliográficas

ASSMANN, B. W. **Estudo de Estratégias de Otimização para Poços de Petróleo com Elevação por Bombeio de Cavidades Progressivas** Estudo de Estratégias de Otimização para Poços de Petróleo com Elevação por Bombeio de Cavidades Progressivas. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN.

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

CARVALHO, P. C. G. **Gerenciamento do Bombeio de Cavidades Progressivas**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp .

FARIA, R. C. **Estudo experimental do gradiente de pressão em tubulações anulares concêntricas com e sem rotação**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp.

MATHEWS, ZAHACY, SKOCYLAS. **Progressing Cavity Pumping Systems: Design, Operation and Performance Optimization**, C-Fer, 2002.

MATTOS, E. E. de.; FALCO, R. de. **Bombas Industriais**. 2º Ed. Interciência: Rio de Janeiro, 1998.

QUICKLY, D. P. **PC-PUMP ® – The Industry Standard C-FER PC-PUMP ® – The Industry Standard C-FER**, 2013.