

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS CONTÍNUO E BPZ DE ELEVAÇÃO ARTIFICIAL DE PETRÓLEO

M. F. C. SOUSA¹, W. R. S. CRUZ², R. A. MEDRONHO³ e G. F. SILVA⁴

¹ Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Química

² Universidade Tiradentes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – PEP

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química

⁴ Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia de Petróleo

E-mail para contato: marinafcsousa@gmail.com

RESUMO – No presente trabalho comparou-se a eficiência de produção de petróleo obtida utilizando o método de injeção contínua de gás e o método BPZ - que funciona com ciclos de compressão e descompressão do gás. Os resultados dos experimentos mostraram acréscimos de produção de, no mínimo, 15,40 % ao se trabalhar com o BPZ, sendo que, em determinadas condições, o BPZ produziu mais do dobro daquela alcançada com o método contínuo. Além disso, o método mostrou-se eficiente em poços depletados, conseguindo trabalhar com pressões de fundo do poço mais baixas.

1. INTRODUÇÃO

A elevação de petróleo, seja natural ou artificial, compreende a extração dos fluidos do reservatório até a superfície. Quando os fluidos não conseguem alcançar a superfície de forma natural, faz-se necessário a utilização de uma suplementação da energia natural através de elevação artificial.

Segundo Nascimento (2004), a escolha do melhor método de elevação para um poço está associada ao estudo da capacidade de produção atual do reservatório e à performance futura de produção do mesmo, além da avaliação das jazidas e das propriedades dos fluidos contidos na formação, visando maximizar a produção de fluidos com o menor custo possível. A seleção adequada do método de elevação artificial é crítica para a rentabilidade a longo prazo do poço de petróleo. Uma má escolha levará à baixa produção e a altos custos operacionais (AYATOLLAHI *et al.*, 2004).

1.1. Fluxos de Produção

Existem três etapas através das quais o fluido percorre o caminho desde o reservatório até as facilidades de produção, influenciando decisivamente na produção. Primeiro, o fluido enfrenta o fluxo no reservatório que é um fluxo em meio poroso, depois entra na coluna de produção ou elevação e, finalmente, passa pelo fluxo através da linha de produção e/ou restrições, denominado

fluxo na superfície ou coleta. Todas as três etapas estão interligadas e a vazão do poço a ser obtida é função do fluxo total do sistema (GOMEZ *et al.*, 2012).

Na coluna de produção, o fluxo corresponde ao deslocamento dos fluidos desde os canhoneados até a cabeça do poço (ROSSI, 2008). Para que os fluidos consigam alcançar os separadores na superfície, é necessário que a pressão de fluxo no fundo do poço seja suficiente para vencer as perdas de carga na coluna de produção. (THOMAS *et al.*, 2004).

Para o fluido no reservatório, quanto maior a vazão, menor deve ser a pressão em frente aos canhoneados¹ e para o fluxo na coluna de produção, quanto maior a vazão, maior deve ser esta pressão (ROSSI, 2008).

Na superfície, o fluxo corresponde ao transporte dos fluidos desde a cabeça de poço até o vaso separador, passando pela linha de produção e pelo regulador de fluxo. Portanto, a pressão necessária na cabeça do poço para que haja fluxo deve ser suficiente para vencer as perdas de carga na linha de produção e em restrições de superfície (ROSSI, 2008).

1.2. Método de Elevação Artificial BPZ

O BPZ é um método de elevação artificial que funciona em ciclos de compressão e decompressão e tem como fonte de energia àquela armazenada no gás comprimido. O BPZ foi desenvolvido e patenteado pela empresa ENGEPET.

O método é considerado bastante versátil, podendo ser aplicado a poços de qualquer profundidade, em qualquer campo de petróleo onde exista, ou possa ser disponibilizado, gás comprimido na pressão e volume necessários para operar o sistema.

Em reservatórios considerados depletados (pressão de fluxo próxima da pressão estática), mas que possuam um índice de produtividade, IP^2 , elevado e pressão estática residual razoável, é possível obter-se produções significativas, até em poços que já se encontram fechados.

O ciclo de operação do BPZ pode ser descrito em algumas etapas. A Figura 1 ilustra essas etapas, onde a cor preta representa o líquido a ser elevado, a cor amarelo claro os gases provenientes da formação e a cor amarelo escuro o gás injetado pelo sistema de pressurização.

O BPZ possui vantagens em relação a outros métodos de elevação, tais como: menor efeito de escorregamento, evitado pela presença das *standing valves* superior e inferior; Maior influência na alimentação da câmara, comparado ao *gas lift*; Trabalha com menor pressão de fluxo de fundo, pelo fato da câmara ocupar um maior volume no poço e o anular de revestimento

¹ Aberturas causadas mediante a utilização de cargas explosivas, colocando o reservatório produtor em comunicação com o interior do poço.

² É a razão entre a vazão total de líquido medida em condições de superfície e o diferencial de pressão sobre a formação produtora que originou aquela vazão.

ser continuamente drenado; Pode ser implantado em poços com alto *Basic Sediments and Water* (BSW); Possui menor consumo relativo de gás, quando comparado a métodos que utilizam, também, o gás como energia; Pode ser equipado com a extremidade da coluna abaixo dos canhoneados, quando comparado com o *gas lift*.

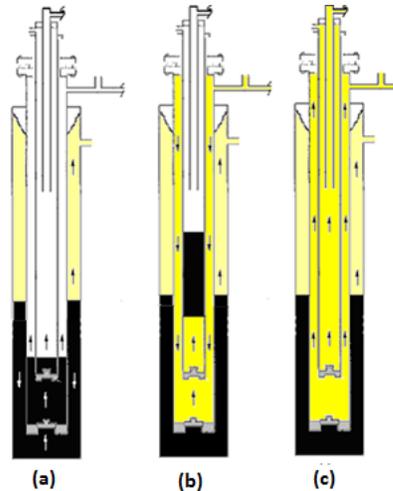


Figura 1 – Esquema ilustrativo dos ciclos de operação do BPZ: (a) alimentação da câmara de estocagem; (b) pressurização e elevação; (c) drenagem do anular entre as colunas intermediária e externa.

2. METODOLOGIA

2.1. Aparato Experimental

O aparato experimental para a realização dos experimentos está localizado na Unidade de Fabricação (UF) da empresa Engepet. Consiste num sistema de 2 m de altura fabricado em acrílico, composto por quatro colunas, uma correspondente ao reservatório do poço, uma à coluna externa, uma à coluna intermediária e a última à coluna interna, ou suspiro. Tanto a coluna externa quanto a coluna intermediária possuem uma válvula de retenção (*standing valve*), as quais permitem o fluxo de fluido somente no sentido ascendente. Na Figura 2 pode-se visualizar as colunas do BPZ.



Figura 2 – Sistema experimental utilizado no trabalho: (a) desenho esquemático do sistema real; (b) sistema real.

Controle do sistema: O sistema era controlado por um Controlador Lógico Programável (CLP), composto por um monitor de visualização das variáveis de saída, um painel de controle manual e automático e um sistema de controle dos parâmetros do BPZ, ou seja, o controle dos tempos de abertura e fechamento das três válvulas XV1, XV2 e XV3.

A válvula XV1 corresponde à válvula de injeção principal, responsável pelo enchimento do anular entre as colunas externa e intermediária. A válvula XV2 é responsável pelo enchimento do anular entre as colunas intermediária e interna, correspondente à válvula de injeção complementar. A válvula XV3 é responsável pela descompressão do anular entre as colunas externa e intermediária.

A pressão estática do poço era regulada por uma válvula ligada a uma tubulação, a qual era alimentada continuamente por água, para que se mantivesse a pressão estática desejada do poço. Tinham três pressões disponíveis, 0,192 kgf/cm², 0,090 kgf/cm² e 0,045 kgf/cm², as quais correspondem a uma altura de 1,92 m, 90 cm e 45 cm, respectivamente.

Como o sistema BPZ não possui packer³, ele é capaz de operar com a extremidade da coluna abaixo dos canhoneados, existindo, então, duas válvulas de regulação das profundidades dos canhoneados. A primeira válvula corresponde à profundidade de 1,46 m (canhoneado superior), onde a extremidade da coluna está abaixo dos canhoneados e a segunda válvula corresponde à profundidade de 2 m (canhoneado inferior), onde a extremidade da coluna está na mesma altura dos canhoneados.

2.2. Procedimento Experimental

Antes de iniciar cada experimento, o reservatório era preenchido com água abrindo-se a válvula que alimentava a tubulação reguladora da pressão estática, a qual era aberta na altura correspondente à pressão desejada. Eram especificados a pressão de linha e a profundidade dos canhoneados. Abria-se, também, a válvula reguladora da vazão representativa do IP, porém, sem poder mensurar seu valor.

Foram realizados testes com o sistema funcionando continuamente, com a válvula XV1 aberta o tempo todo, e testes com o sistema operando como BPZ, de forma intermitente.

Foram realizados, ao total, 46 experimentos, alterando-se os diferentes parâmetros do BPZ, o uso da válvula XV2 e a profundidade dos canhoneados. Na Tabela 1, estão expressas as variáveis que geraram os 46 experimentos: a pressão estática do poço (P_e), a pressão disponível de linha (P_{linha}) e a profundidade dos canhoneados ($H_{can.}$). Todas foram realizadas nos métodos contínuo e BPZ.

Tabela 1 – Variáveis adotadas nos experimentos realizados

P_e (kgf/cm^2)	P_{linha} (kgf/cm^2)	$H_{can.}$ (m)
0,045	0,200	1,46
0,090	0,220	2,00
0,192	0,250	
	0,500	

No presente trabalho, foi realizado o estudo comparativo entre os métodos contínuo e BPZ a fim de mostrar as vantagens em se trabalhar com ciclos de produção. Para a realização do estudo, foram mantidas constantes as condições do reservatório (pressão estática e IP), a pressão de linha e a profundidade dos canhoneados.

³ Equipamento utilizado na completação dos poços para prender a coluna de produção ao revestimento de produção, a uma determinada profundidade, isolando o espaço anular acima do packer do intervalo canhoneado e/ou da zona aberta ao fluxo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos experimentos, construiu-se uma tabela com valores dos tempos que cada válvula ficou aberta, o tempo de cada golfada, a profundidade dos canhoneados adotada ($H_{can.}$), a pressão da válvula XV1 (PV1), a pressão de cabeça do poço (PV2), a pressão de fundo do poço (P_{wf}) e a vazão produzida (Q).

Para o estudo, os experimentos foram separados e comparados de acordo com as variáveis adotadas no procedimento experimental, como observado na Tabela 1.

Os parâmetros do BPZ foram ajustados de acordo com a necessidade observada durante os testes. Procurou-se trabalhar com o tempo de compressão, ou seja, o tempo da XV1 aberta, otimizada o suficiente para o poço produzir o máximo com uma menor quantidade de ar possível, objetivando a redução nos custos.

O uso da válvula XV2 foi utilizada a fim de observar a sua influência no processo e na produção. Porém, seu uso mostrou-se desfavorável à produção, pois o sistema operava com uma pressão de linha suficiente para se trabalhar com apenas duas colunas.

Ao se trabalhar com a extremidade da coluna abaixo dos canhoneados, observou-se uma queda da pressão de fundo do poço e, conseqüentemente, um acréscimo na produção.

Os melhores resultados dos experimentos operados com BPZ e todos os experimentos operados continuamente estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Melhores resultados dos experimentos realizado

Teste	t xv1 (s)	t xv2 (s)	t xv3 (s)	t golfada (s)	$H_{can.}$ (m)	PV1 (kgf/cm^2)	PV2 (kgf/cm^2)	P_{wf} (kgf/cm^2)	Q (m^3/dia)
1	600	-	-	-	2,0	0,15-0,16	0,03-0,06	0,16	0,5495
3	12	5	8	22	2,0	0,10-0,22	0,01-0,07	0,08-0,10	0,7300
4	600	-	-	-	2,0	0,10-0,11	0,02-0,03	0,11	0,2450
6	9	0	10	20	2,0	0,04-0,12	0,02-0,03	0,04	0,3064
7	9	0	8	18	2,0	0,04-0,06	0,00-0,02	0,03	0,1150
9	7	0	10	18	2,0	0,03-0,06	0,00-0,02	0,03	0,1150
10	600	-	-	-	2,0	0,11	0,01-0,04	0,12	0,2451
13	7	0	8	16	2,0	0,09-0,11	0,01-0,06	0,05	0,3677
17	600	-	-	-	2,0	0,07-0,08	0,01-0,02	0,08	0,0840
18	9	0	8	18	2,0	0,05-0,08	0,01-0,04	0,04	0,2070
22	600	-	-	-	2,0	0,07	0,01	0,07-0,08	0,0648
24	6	0	7	12	2,0	0,05-0,08	0,02-0,03	0,03	0,1354
27	600	-	-	-	2,0	0,09	0,02-0,03	0,09	0,2045
28	8	0	7	16	2,0	0,06-0,08	0,02-0,03	0,04	0,2360
32	8	0	7	16	2,0	0,04-0,05	0,01-0,02	0,03	0,0950
35	600	-	-	-	2,0	0,09-0,10	0,02	0,10	0,1922

Teste	t xv1 (s)	t xv2 (s)	t xv3 (s)	t golfada (s)	$H_{can.}$ (m)	PV1 (kgf/cm^2)	PV2 (kgf/cm^2)	P_{wf} (kgf/cm^2)	Q (m^3/dia)
37	9	0	10	20	1,46	0,04-0,13	0,01-0,05	0,04	0,3500
38	600	-	-	-	2,0	0,09-0,10	0,02	0,11	0,2621
40	16	0	6	23	1,46	0,05-0,13	0,00-0,03	0,05	0,3384
41	600	-	-	-	2,0	0,07-0,08	0,01-0,02	0,08	0,1296
43	13	0	4	18	1,46	0,07-0,10	0,01-0,02	0,05	0,2549
44	600	-	-	-	2,0	0,06-0,07	0,01	0,07	0,0835
46	13	0	4	18	1,46	0,05-0,07	0,01	0,03	0,1483

3.1. Estudo Comparativo entre os Métodos Contínuo e BPZ

Para o estudo comparativo entre os métodos contínuo e BPZ, realizou-se o cálculo do acréscimo de produção do método BPZ em relação ao método contínuo para demonstrar percentualmente a vantagem em utilizá-lo. Observaram-se acréscimos de produções entre 15,40% e 146,43%.

A Tabela 3 fornece os valores da vazão produzida (Q) em cada experimento e do acréscimo de produção, de todos os experimentos realizados. Considerou-se como poço o conjunto de experimentos que foram comparados a partir das mesmas variáveis inseridas no procedimento experimental.

Tabela 3 – Valores comparativos do uso dos métodos contínuo e BPZ

Poço	Experimento	Método	Q (m^3/dia)	Acréscimo de produção (%)
1	1	Contínuo	0,5495	-
	2	BPZ	0,6950	26,48
	3	BPZ	0,7300	32,85
2	4	Contínuo	0,2450	-
	5	BPZ	0,2911	18,82
	6	BPZ	0,3064	25,06
4	10	Contínuo	0,2451	-
	11 a 16	BPZ	0,3677	50,02
5	17	Contínuo	0,0840	-
	18 a 21	BPZ	0,2070	146,43
6	22	Contínuo	0,0648	-
	23 a 25	BPZ	0,1354	108,95
	26	BPZ	0,1210	86,73
7	27	Contínuo	0,2045	-
	28 a 31	BPZ	0,2360	15,40

Poço	Experimento	Método	Q (m^3/dia)	Acréscimo de produção (%)
9	35	Contínuo	0,1922	-
	36	BPZ	0,2440	26,95
	37	BPZ	0,3500	82,10
10	38	Contínuo	0,2621	-
	39	BPZ	0,3211	22,51
	40	BPZ	0,3384	29,11
11	41	Contínuo	0,1296	-
	42 e 43	BPZ	0,2549	96,68
12	44	Contínuo	0,0835	-
	45	BPZ	0,1454	74,13
	46	BPZ	0,1483	77,60

4. CONCLUSÕES

Observou-se que todos os experimentos operados com o BPZ, ou seja, de forma intermitente, apresentaram um acréscimo de produção, em relação ao método contínuo. Estes acréscimos se situaram entre 15,40 e 146,43%, mostrando a versatilidade e vantagem do método.

Ao se trabalhar com a extremidade da coluna abaixo dos canhoneados, no método BPZ, houve um acréscimo significativo de produção, em comparação com o BPZ trabalhando acima dos canhoneados.

REFERÊNCIAS

AYATOLLAHI, S.; NARIMANI M.; MOSHFEGHIAN M. Intermittent Gas Lift in Aghajari Oil Field, a Mathematical Study. *Petrol Sci & Eng*, v. 42, n. 2-4, p. 245-255, 2004.

GOMEZ, D. A., MEDRONHO, R. A., Nele, M., PINTO, J. C. C. S., Estudo do escomento compressível de gás natural em regiões anulares com restrições em sistemas BPZ para a elevação de petróleo, Anais do COBEQ 2012 - XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo: ABEQ - Associação Brasileira de Engenharia Química, 2012.

NASCIMENTO, J. M. Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

ROSSI, N. C. M. Elevação Natural de Petróleo e Bombeio Centrífugo Submerso. Apostila do curso de formação para Engenheiro de Petróleo da Petrobrás, 2008.

THOMAS, J.E. ET AL. Fundamentos de Engenharia de Petróleo, 2ª edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.