

## CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO PRELIMINAR EM PROTÓTIPO DE EJETOR VISANDO APLICAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO

Iredla Rayra Dantas do Nascimento<sup>1</sup>

Diana Carla Brandão Maia<sup>2</sup>

Leonardo Asfora de Oliveira<sup>3</sup>

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg de Jesus Nogueira Duarte<sup>4</sup>

### RESUMO

Ejetores são dispositivos que operam a partir da transferência de energia cinética de um fluido primário (motriz) à alta velocidade para aspirar um fluido secundário a uma pressão reduzida. Esse equipamento possui variadas aplicações, sendo a despressurização do anular de poços produtores de petróleo, uma delas. Nesse sentido, os ejtores serão adotados neste estudo com intuito de contribuir com o aumento da produtividade de poços que apresentam o anular pressurizado com gás, principalmente em campos maduros. Espera-se promover a sucção do gás presente no anular utilizando a energia cinética da própria produção do poço. Este trabalho propôs a construção de um protótipo de ejtor mudulado em quatro partes móveis (bocal convergente-reto, câmara de sucção, garganta e difusor), acoplado em configuração horizontal, em um sistema de escoamento bifásico gás-líquido. Foram realizados testes preliminares na linha de escoamento laboratorial, simulando aplicação na cabeça de poço, visando a despressurização do anular. O fluido motriz usado no experimento foi a água e o fluido secundário o ar atmosférico. Os resultados preliminares mostraram que o protótipo de ejtor apresenta boa capacidade de aspiração de ar atmosférico pela câmara de sucção, no entanto o difusor não conseguiu recuperar a pressão de forma satisfatória, o que deve ser objeto de estudos futuros.

**Palavras-chave:** Ejtor, protótipo laboratorial, poços de petróleo, campos maduros.

### INTRODUÇÃO

No decorrer da vida produtiva de um poço de petróleo, em determinado momento, será necessário implementar algum método de elevação artificial para auxiliar no transporte dos fluidos do reservatório até a superfície. Em poços que possuem uma elevada Razão Gás-Óleo (RGO), há uma restrição relativa aos métodos de elevação, uma vez que a sucção de gás livre na bomba acaba prejudicando seu desempenho. Nesses casos, é comum que seja feita a completação do poço sem a presença do *packer* de produção, usando separadores de gás, com a finalidade de direcionar parte do gás livre para o espaço anular.

---

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [iredla\\_rayra@hotmail.com](mailto:iredla_rayra@hotmail.com);

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [d\\_maia@outlook.com](mailto:d_maia@outlook.com);

<sup>3</sup> Doutorando, PPGCEP da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [leoasfora@hotmail.com](mailto:leoasfora@hotmail.com);

<sup>4</sup> Professor orientador: Doutor, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, [ljnduarte@hotmail.com](mailto:ljnduarte@hotmail.com).

Por questões ambientais e de segurança, impostas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), o anular deve ser mantido fechado para evitar o descarte de gás na atmosfera. Em decorrência disso, o gás vai se acumulando no anular, causando uma contrapressão no fundo do poço, reduzindo a produtividade do reservatório.

Uma solução para essa problemática seria a instalação de um ejetor acoplado à cabeça do poço, cuja função seria promover a sucção do gás presente no anular, utilizando a energia cinética da própria produção do poço.

Ejetores são equipamentos que utilizam o momento do fluido primário ou motriz para succionar um fluido secundário. Tal mecanismo de sucção se dá devido a diferença entre a pressão de sucção e a pressão de saída do bocal (SILVA, 2018). Geralmente, são compostos por quatro seções: bocal, câmara de sucção, garganta e difusor.

O presente trabalho teve como objetivo atestar o funcionamento adequado do protótipo de ejetor acoplado a um sistema bifásico de escoamento laboratorial, o qual foi montado no NUPEG II (Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás), localizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Esse protótipo foi desenvolvido com o intuito de obter dados experimentais preliminares para análise da pressão ao longo das seções moduladas do ejetor (bocal, câmara de sucção e difusor) e assim validar o modelo matemático desenvolvido para poços que operam com ejetores. Foram realizados testes preliminares com diferentes condições operacionais, a fim de avaliar sua capacidade de sucção de ar atmosférico.

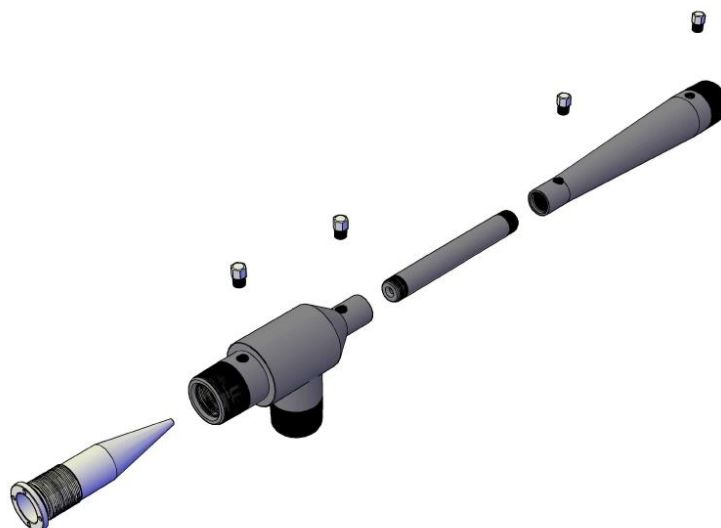
## **METODOLOGIA**

### **Dimensionamento e construção do ejetor**

O dimensionamento do ejetor foi realizado com base nas informações obtidas através do simulador Well Head Ejector (WHE), um software que foi desenvolvido pela grupo de pesquisa de desenvolvimento de ejetores (OLIVEIRA, SANTOS, DUARTE, 2019, QUEIROZ 2015). Esse simulador é responsável por fornecer a geometria do ejetor, onde são solicitados os dados das condições de contorno de entrada, sucção e descarga do ejetor, ângulos inclusos do bocal e do difusor, massa específica do líquido e densidade do gás. Além disso, como retorno, têm-se alguns dados de saídas como: o diâmetro do bocal e da garganta, o comprimento da garganta e do difusor, e a eficiência do ejetor.

O protótipo de ejetor projetado possui quatro seções definidas: câmara de sucção, bocal convergente-reto, garganta e difusor, as quais deverão ser conectadas por meio de luvas rosqueadas, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Geometria tridimensional do ejetor acoplado ao sistema.



A câmara de sucção é conectada com a tubulação que conduz o fluido motriz e a garganta. A câmara de sucção deve conter tubulação lateral (responsável pela aspiração do ar), sendo equipada com um rotâmetro para medição do volume de gás aspirado. O bocal tem uma geometria convergente-reto, podendo ser ajustado com a garganta, a qual permite a mistura das fases. O difusor, por sua vez, tem a finalidade de recuperar a pressão. Logo após a saída do difusor, foi acoplado um visor em vidro temperado para permitir a visualização dos padrões de escoamento da mistura bifásica água-ar. Na sequência, têm-se uma válvula esfera em aço inoxidável para promover o ajuste de contrapressão do sistema de escoamento.

Após a conclusão das etapas de dimensionamento e projeto, os ejetores foram confeccionados em sua integralidade em aço inoxidável, modulado, com pontos para tomadas de pressão, visor em vidro temperado e rotâmetro conectado à câmara de sucção (Figura 2).

Figura 2. Ejetor em aço inoxidável montado



## Descrição do aparato laboratorial

O sistema é composto por um reservatório, com capacidade para 560 litros, uma bomba de cavidades progressivas modelo MN021\*1L (Netsch), um ejetor modulado em quatro partes (câmara de sucção, bocal, garganta e difusor), cinco medidores de pressão (Yokogawa), um medidor de vazão eletromagnético modelo CTHHD (Contech), um compressor, uma linha de aspiração de gás, um inversor de frequência modelo ATV312H075N4 (Schneider), um sistema de aquisição de dados (National Instruments), e uma linha de fluxo composta por tubos de 1”1/2 interligados por conexões flangeadas, conforme pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3. Sistema de escoamento laboratorial com ejetor gás/líquido acoplado.



## Procedimento experimental

O procedimento realizado para análise experimental utilizou água (fluido motriz) e ar atmosférico (fluido secundário), sendo possível controlar a vazão de aspiração do ar na pressão atmosférica. Em suma, o ensaio experimental consiste na variação da frequência do inversor (variando a vazão do fluido motriz), com ou sem aplicação de uma contrapressão após o difusor,



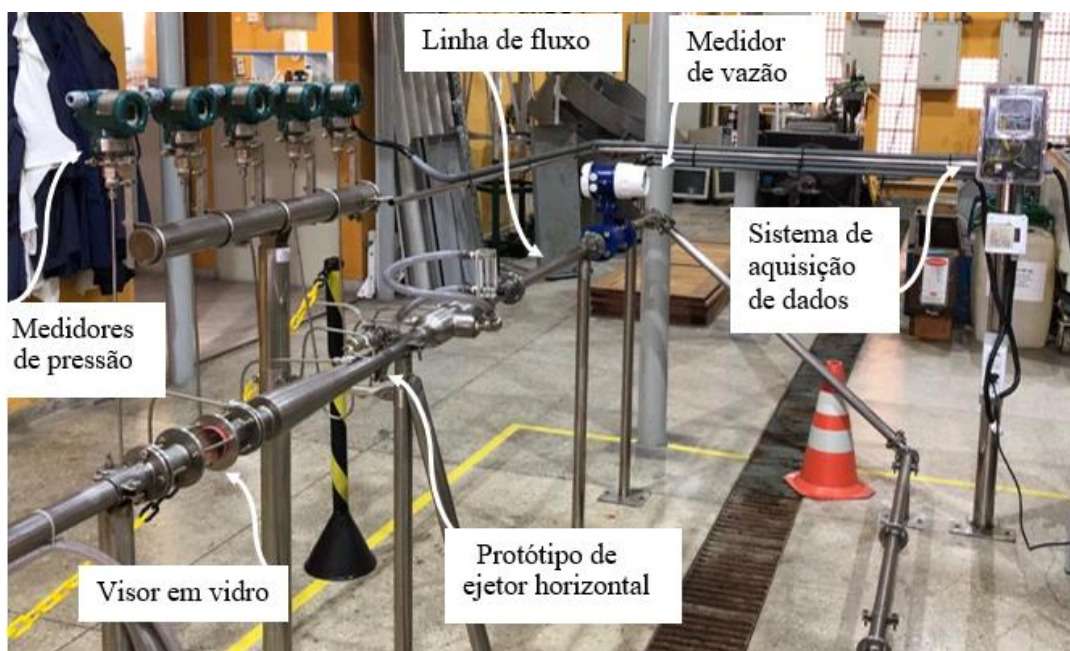
no monitoramento da vazão e das pressões ao longo do ejetor, e no acompanhamento dos padrões de escoamento (observados no visor localizado após o difusor). Foram realizados testes preliminares sob diferentes condições operacionais, porém, não será objeto do estudo avaliar a influência da geometria do ejetor, ou seja, o estudo será realizado com uma geometria fixa do ejetor, com as seções previamente definidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já relatado na metodologia, o teste preliminar foi realizado empregando água como fluido motriz e ar atmosférico como fluido secundário, sendo o teste conduzido em uma geometria fixa do ejetor. Ressalta-se que a vazão do fluido motriz (água) foi mantida constante, sob diversas condições de fluxo de ar atmosférico aspirado, o qual foi controlado pelo rotômetro, localizado na câmara de sucção do ejetor.

Por fim, foram coletadas as pressões ao longo do ejetor (na região de entrada do fluido motriz, na câmara de sucção, na entrada da garganta, na saída da garganta e na saída do difusor), através do sistema de aquisição de dados e dos medidores de pressão. (Figura 4).

Figura 4. Instrumentação e sistema de aquisição de dados.



Inicialmente, os ensaios experimentais foram realizados na frequência de 60 Hz com a válvula de contrapressão completamente aberta (pressão de descarga atmosférica) e com

válvula da câmara de sucção de ar (anular) fechada, impossibilitando a aspiração do ar atmosférico, até atingir o regime de escoamento permanente. Como esperado, em alguns minutos, o sistema entrou em regime permanente, ocorrendo estabilidade da vazão e das pressões ao longo do ejetor. As condições operacionais e resultados obtidos com o teste são discriminados na Tabela 1.

Tabela 1. : Resultados preliminares do teste 01.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Vazão L/m</b>	<b>P<sub>1</sub> (psi) Bocal</b>	<b>P<sub>2</sub> (psi) Sucção</b>	<b>P<sub>3</sub> (psi) Garg. Ent.</b>	<b>P<sub>4</sub> (psi) Garg. Sai.</b>	<b>P<sub>5</sub> (psi) Difusor</b>
60	14,90	26,32	5,32	2,04	1,56	1,86

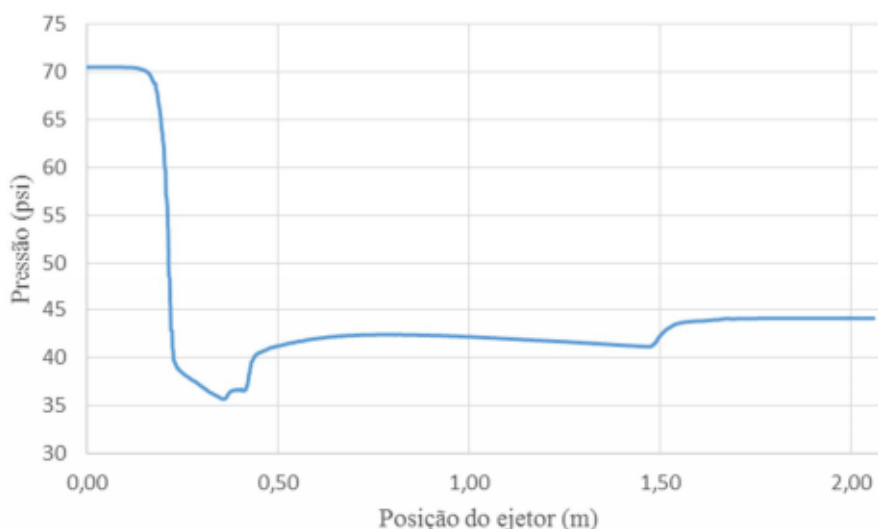
Em seguida, abriu-se a válvula da câmara de sucção para atmosfera e o rotâmetro, permitindo, assim, a aspiração do ar atmosférico através da câmara de sucção.

De acordo com os resultados preliminares obtidos no teste 02 (Tabela 2), considerando que P<sub>1</sub> é a pressão na entrada do ejetor (bocal), P<sub>2</sub> é a pressão na câmara de sucção, P<sub>3</sub> a pressão na entrada da garganta, P<sub>4</sub> a pressão na saída da garganta e P<sub>5</sub> a pressão na saída do difusor, pode-se concluir que houve uma queda de pressão drástica entre o bocal e a garganta, resultando na capacidade de aspiração do ar atmosférico por meio da câmara de sucção, o teste foi realizado variando-se a capacidade de aspiração de ar de 0 a 20 L/min, nas condições atmosféricas. No entanto, observa-se que o difusor não conseguiu recuperar a pressão de forma satisfatória, o que deve ser objeto de estudos futuros, porém já observados no trabalho desenvolvido por BRANDÃO, ZAWADZKI, BEZERRA e DUARTE (2019), conforme ilustra a Figura 5.

Tabela 2. : Resultados preliminares do teste 02.

<b>Frequência (Hz)</b>	<b>Vazão L/m</b>	<b>P<sub>1</sub> (psi) Bocal</b>	<b>P<sub>2</sub> (psi) Sucção</b>	<b>P<sub>3</sub> (psi) Garg.Ent.</b>	<b>P<sub>4</sub> (psi) Garg. Saí.</b>	<b>P<sub>5</sub> (psi) Difusor</b>
60	12,59	26,34	1,80	1,94	1,56	1,38

Figura 5. Gráfico de pressão versus posição.



Fonte: BRANDÃO, ZAWADZKI, BEZERRA e DUARTE (2019).

A evolução da pressão ao longo do ejetor mostra uma queda de pressão intensa provocada pelo bocal e um discreto incremento de pressão no difusor. Este comportamento foi coerente com os resultados obtidos nos trabalhos de Chagas (2016), Chagas et al., (2017) e Varela e Duarte, (2017), sendo um indicativo que a recuperação da pressão no ejetor do aparato experimental também deve ser baixa.

Com relação aos padrões de escoamento, foi possível observar sua evolução no visor em vidro temperado, localizado após a saída do difusor, durante a realização do teste. A Figura 6 ilustra o comportamento do sistema bifásico gás-líquido no escoamento horizontal, mostrando a segregação das fases. O surgimento do gás confirma o poder de aspiração do gás na câmara de sucção, além de se apresentar, provavelmente, como uma das causas que compromete a recuperação de pressão no difusor, tendo em vista o caráter compressível do ar.

Estes resultados iniciais atestam, mesmo que de forma preliminar, a alta capacidade do ejetor em promover a aspiração do ar atmosférico, podendo, portanto, apresentar um desempenho satisfatório na despressurização de anular de poços de petróleo. No entanto, vale ressaltar que estudos mais contundentes devem ser realizados com o objetivo de avaliar tanto a geometria do ejetor como as condições operacionais como vazão e pressão.

Figura 6. Padrões de escoamento durante a realização do teste:

- (a) Câmara de sucção fechada, (b) câmara de sucção aberta, fluxo de ar de 10 L/min e (c) câmara de sucção aberta, fluxo de ar de 20 L/min.



(a)



(b)



(c)

## CONCLUSÕES

Os ejetores foram acoplados em uma linha de escoamento gás-líquido horizontal, simulando aplicação na cabeça do poço, visando a despressurização do anular, cujo os resultados preliminares mostraram que os protótipos de ejetores apresentam boa capacidade de aspiração de ar atmosférico pela câmara de sucção. As condições analisadas permitiram avaliar a capacidade de operação do aparato experimental com ou sem contrapressão do sistema, identificando o poder de recuperação de pressão no difusor. Vale ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho são preliminares e tiveram o intuito de avaliar a capacidade de operação do aparato experimental em função da vazão e pressão do sistema. Espera-se, portanto, que



trabalhos futuros possam explorar minuciosamente os ensaios experimentais na configuração horizontal a fim de validar os modelos matemáticos desenvolvidos, assim como os estudos de simulação.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Núcleo de Ensino e Pesquisa em Petróleo e Gás (NUPEG II) e à Petrobras.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

OLIVEIRA, L. A.; SANTOS, A.; DUARTE, L. J. N. **Modeling multiphase jet pumps for gas compression.** In: Journal of Petroleum Science and Engineering. 173, 848-853, 2019.

CHAGAS, K. W.; ÁLVARES, K. C. M.; OLIVEIRA, L. A.; DUARTE, L. J. N. **Análise geométrica de ejetores para descompressão do revestimento em poços maduros.** In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2, 2016, Natal.

CHAGAS, K. W. **Validação e análise de modelo de ejetor para despressurização do anular de poços produtores.** 2016. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2016.

QUEIRÓZ, C. D. de O. **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para o Dimensionamento de Ejetores Acoplados à Cabeça de Poço.** Mai. 2015, 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA, F. M. F. da. **Proposta de um protótipo de ejetor laboratorial para obtenção de dados experimentais.** 2018. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2018.

VARELA, N. K. L.; DUARTE, L. J. N. **Análise da geometria do difusor em ejetores de superfície instalados em poços de petróleo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 9, 2017, Maceió

MAIA, D. C. B.; ZAWADZKI, G. H. M.; BEZERRA, A. R. A.; OLIVEIRA, L. A.; DUARTE, L. J. N. **Estudo Experimental da aplicação de ejetores de superfície em poços de petróleo.**  
In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 10, 2019, Natal.