

# PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL APLICADO NO PROCESSO DE FLOTAÇÃO NA SEPARAÇÃO PETRÓLEO-ÁGUA

C. S. MARINHO<sup>1</sup>, M. A. R. TENORIO<sup>1</sup>, J. L. G. MARINHO<sup>1</sup>, S. H. V. CARVALHO<sup>1</sup> e J. I. SOLETTI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia  
E-mail para contato: jisoletti@ctec.ufal.com

**RESUMO** – Na indústria petrolífera, durante a extração do petróleo, há geração de um enorme volume indesejado de água produzida. Esta água é tratada para descartá-la de acordo com a legislação e/ou para aproveitá-la na injeção dos poços, mantendo a pressão dos poços que é perdida durante a extração do petróleo. O processo de flotação é muito utilizado para tratamento desta água e tal processo consiste na injeção de microbolhas de ar no fundo de uma coluna, onde estas bolhas ao subirem aderem às partículas oleosas, formando compostos de “partícula-gás” com densidade menor que a do líquido, possibilitando-se com isso a sua flotação. O objetivo deste trabalho é verificar a influência das variáveis de processo da flotação por ar dissolvido com relação à eficiência da remoção do óleo, a partir do tratamento da água produzida. Foi realizado um planejamento experimental 2<sup>3</sup>, onde foram avaliadas as variáveis concentração do óleo, vazão de alimentação e vazão água-ar. Ao realizar tais investigações, observou-se uma influência maior na vazão água-ar com remoção de 90% do óleo, devido a uma maior presença de bolhas proporcionando um elevado arraste do óleo.

## 1. INTRODUÇÃO

Na indústria petrolífera, na extração do óleo e gás, há geração de um enorme volume de água de produção. Ao longo da vida produtiva de um reservatório pode-se chegar até 100% em volume de água, em virtude do decaimento da produção de óleo e gás. Esta água é tratada com o intuito de recuperar parte do óleo presente e posterior reinjeção ou descarte em mananciais. O descarte sem um prévio tratamento afetará negativamente o meio ambiente, devido à presença de elevada quantidade de compostos orgânicos e produtos químicos tóxicos (Campos *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2010).

Um esquema de um reservatório de petróleo é mostrado na Figura 1, onde sua produção continua é dada pela própria pressão interna do reservatório e como consequência os fluidos lá contidos (óleo e água conata) se expandem, acarretando deslocamento desse fluido para fora do meio poroso, e devido a esta redução de pressão, o volume dos poros diminui (Rosa *et al.*, 2006). Para que a pressão do reservatório seja mantida a água de produção que é retirada juntamente com as frações de óleo e reinjetada no poço.

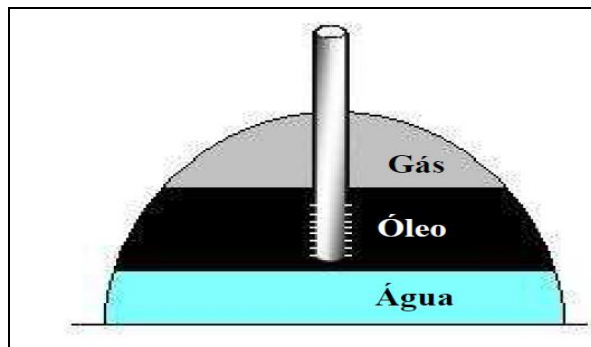


Figura 1- Esquema de um reservatório de óleo.

O uso de vasos gravitacionais, flotação, centrifugação e utilização de hidrociclones são os principais meios de tratamento de água de produção (Silva *et al.*, 2008).

A flotação se destaca por apresentar simplicidade, flexibilidade e eficiência na sua operação, requer pouco espaço físico, gera um pequeno e concentrado volume de lama e pode ser utilizada em pequena, média e larga escala, além de ter o emprego de menores concentrações de coagulantes e/ou floculantes (Martins e Casqueira, 2009).

O processo de flotação consiste em quatro passos básicos: (1) geração de bolhas de ar, (2) contato entre as gotas de bolhas de gás e petróleo, (3) fixação de bolhas de gás nas gotículas de óleo, e (4) elevação da combinação de ar-óleo, conforme mostra a Figura 2. Para um processo de flotação de sucesso as gotas de óleo devem anexar as bolhas de gás e devem permanecer em bom contato até que as bolhas cheguem à superfície da célula de flotação (Bensadok *et al.*, 2007; El-Kayar *et al.*, 1993).

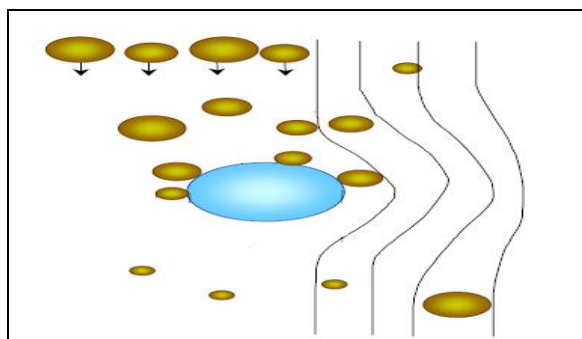


Figura 2 - Esquema básico do processo de flotação.

Este trabalho visa avaliar a eficiência do processo de tratamento de um efluente sintético petróleo/água através do processo de flotação por ar dissolvido em escala piloto. As influências das variáveis estudadas foram realizadas pela análise de planejamento experimental  $2^3$ , onde foram avaliadas as variáveis concentração do óleo, vazão de alimentação do efluente e vazão água-ar (diluição das bolhas na água).

## 2. METODOLOGIA

No estudo da flotação por ar dissolvido foi utilizada uma unidade piloto experimental, montada no Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos (LASSOP-UFAL). A unidade é composta por um tanque de 140L, um vaso pressurizado e uma coluna, como mostra a Figura 3.

No tanque de alimentação é gerado a emulsão sintética óleo/água e no vaso de pressão é gerado as microbolhas a partir de uma alimentação de água e ar comprimido.

A coluna é operada com a alimentação do efluente no topo do equipamento, enquanto que, em contracorrente, as micro-bolhas, provenientes do vaso de pressão, são alimentadas na base da coluna. O contato das bolhas com o óleo faz com que o mesmo fique aderido a sua superfície que, por flotação, são arrastadas até o topo da coluna.

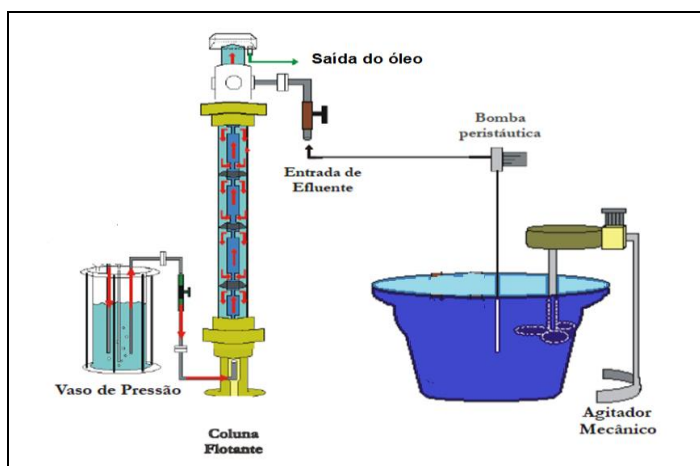


Figura 3 - Unidade Piloto de flotação.

### 2.1. Teor de Óleos e Graxas

A concentração do óleo foi determinada em um HORIBA OCMA-350. Para determinação do teor de óleo e graxas (TOG), em uma fração de 60 mL da amostra, são adicionados 50 mL do solvente S-316 para a extração do óleo presente na amostra. Uma alíquota de 10 ml era transferido para uma cubeta e posteriormente lida no HORIBA, conforme diagrama da Figura 4.

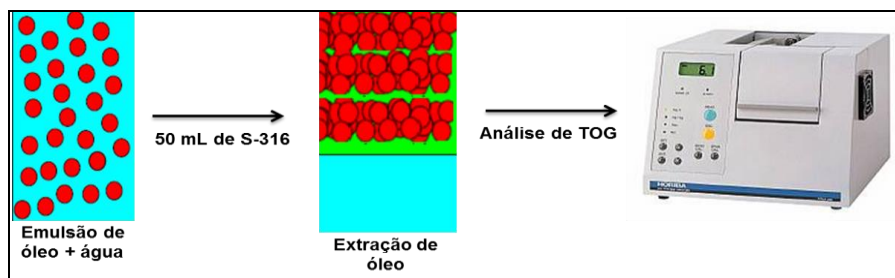


Figura 4 – Processo de análise de TOG.

## 2.2. Planejamento Experimental

Foi realizado um planejamento experimental  $2^3$ , em duplicata totalizando 16 ensaios. Este procedimento teve como objetivo determinar as variáveis que influencia no processo e avaliar os efeitos associado a cada variável. A matriz de planejamento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Planejamento experimental  $2^3$ .

Ensaio	Concentração do efluente ( $\text{kg/m}^3$ ). $10^{-3}$	Vazão de alimentação ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ( $\times 2,778.10^{-7}$ )	Vazão água-ar ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ( $\times 2,778.10^{-7}$ )
1	50(-1)	100(-1)	50(-1)
2	150(+1)	100(-1)	50(-1)
3	50(-1)	150(+1)	50(-1)
4	150(+1)	150(+1)	50(-1)
5	50(-1)	100(-1)	100(+1)
6	150(+1)	100(-1)	100(+1)
7	50(-1)	150(+1)	100(+1)
8	150(+1)	150(+1)	100(+1)

O *software Statistica 9.0* foi utilizado para determinar os efeitos associado ao planejamento experimental proposto.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram expressos em termos do percentual de remoção de teor de óleo e graxas (TOG), fazendo variar os seguintes parâmetros de processo: concentração do efluente ( $C_0$ ), vazão de alimentação ( $V_t$ ) e vazão água-ar ( $V_b$ ). Na Figura 5 é apresentado o gráfico de pareto e na Figura 6 a superfície de resposta mostrando a influência das variáveis operacionais e o ponto ótimo de trabalho ao atingir a máxima remoção de óleo dentro do intervalo estudado.

A Figura 5 mostra a influência das variáveis individuais e da interação das mesmas. Na faixa de estudo avaliada pode-se observar que a variável que mais influenciou no processo foi a vazão de alimentação seguida da vazão água-ar e a interação da concentração do efluente com a vazão água-ar. Com conhecimento das variáveis que influencia no processo foi construída uma superfície de resposta com as variáveis mais significativas no processo. Para melhor interpretação dos resultados foi construída uma superfície de resposta, conforme mostra a Figura 6.

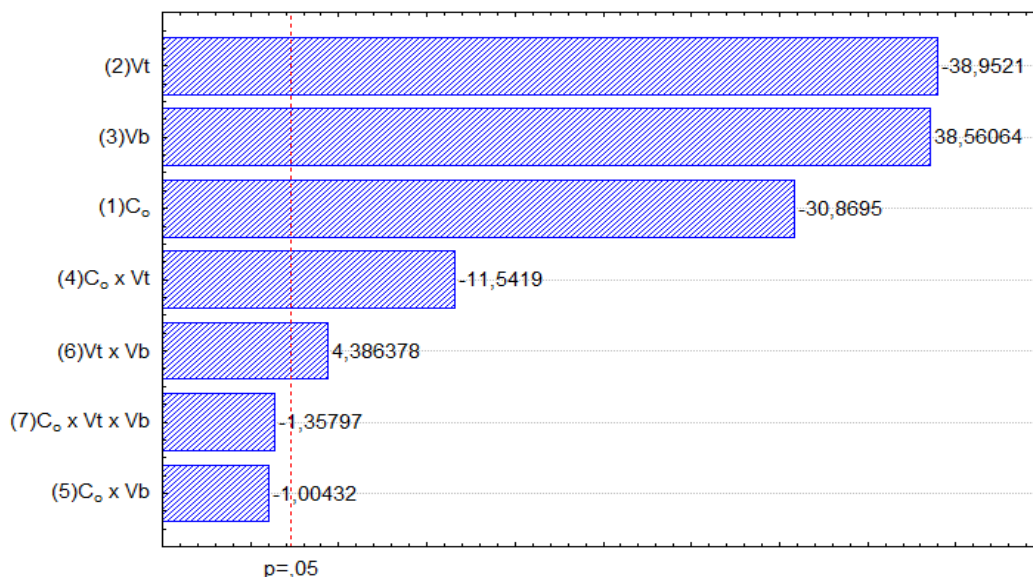


Figura 5 – Pareto mostrando a influência das variáveis.

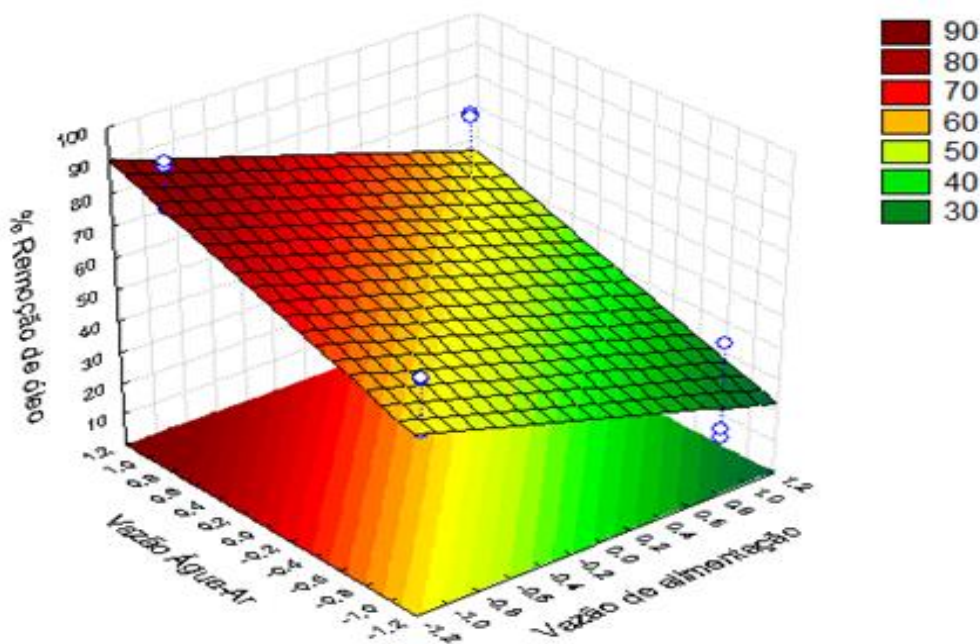


Figura 6 - Superfície de resposta para efeito da interação das vazões.

Observa-se, através da superfície de resposta ilustrada na Figura 6 que, a medida que a vazão de alimentação varia do nível superior para o inferior e a vazão água-ar sai do nível inferior para o superior, há um aumento na resposta, onde a maior remoção de óleo atingida foi de 90%. Isso é totalmente aceitável, pois ao diminuir a vazão de alimentação, diminui a quantidade de efluente para

se tratar e ao aumentar a vazão água-ar, aumenta-se a quantidade de bolhas na coluna por minuto, assim, aumenta-se sua eficiência pois haverá mais bolhas para aderir as partículas de óleo e arrastá-lo para o topo da coluna, realizando a separação petróleo-água.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho propôs a avaliação da remoção do óleo da água produzida pelo processo de flotação. Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Em todos os experimentos foram observados remoção de óleo. O melhor resultado foi obtido para uma vazão de alimentação de  $(100 \times 2,77 \cdot 10^{-7}) \text{ m}^3/\text{s}$  e uma vazão de água-ar de  $(150 \times 2,77 \cdot 10^{-7}) \text{ m}^3/\text{s}$ , obtendo-se remoções de até 90% do efluente tratado.

A partir do planejamento experimental, observou que a variável que mais influencia o processo, foi a vazão de alimentação seguida da variável água-ar.

## 6. REFERÊNCIAS

- BENSADOK, K; BELKACEM, M; NEZZAL, G. Treatment of Cutting Oil/Water Emulsion by Coupling Coagulation and Dissolved Air Flotation. *Desalination*, v. 206, p. 440–448, 2007.
- EL-KAYAR, A. HUSSEIN, M; ZATOUT, A. A; HOSNY, A. Y; AMER, A. A. Removal of Oil from Stable Oil-Water Emulsion by Induced Air Flotation Technique. *Sep. Technol.*, v. 3, 1993.
- CAMPOS, W.K.S; BUARQUE, F.S; JÚNIOR, R.O.M; SILVA, D.P; RUZENE, D.S. Estudo sobre as principais tecnologias para tratamento da água produzida. Cadernos de graduação. Ciências exatas e tecnologias. v.1,n.15, p.141-151.Sergipe, 2012.
- MARTINS, A. L. S; CASQUEIRA, R.G. Remoção de chumbo e bário de um efluente aquoso via flotação por ar dissolvido. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ. 2009.
- ROSA, A.J; CARVALHO, R. S; XAVIER, J. A. D. *Engenharia de Reservatório de poços*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2006.
- SILVA, P.K.L; NETO, A.D.D; MELO, J.L.S. Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativos de origem vegetal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 2008.
- SILVA, S.S; FILHO, O.C; NETO, E.L.B. Avaliação dos processos de flotação e oxidação avançada para o tratamento de efluente modelo da indústria do petróleo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN. 2010.
- THOMAS, J.E. *Fundamentos de Engenharia de Petróleo*. Editora Interciência, Rio de Janeiro/RJ, 2001.