

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Desempenho de um Hidrociclone para a Separação de Águas Oleosas

AUTORES:

Diogo B. Coelho¹, João V. B. Alves², Ricardo A. Medronho³

¹diogobcoelho@yahoo.com.br, ²joaovictorbr@hotmail.com, ³medronho@eq.ufrj.br

INSTITUIÇÃO:

Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro

DESEMPENHO DE UM HIDROCICLONE PARA A SEPARAÇÃO DE ÁGUAS OLEOSAS

Abstract

In the oil industry, the produced water requires treatment, due to strict environmental standards that regulate the amount of oil that can be discarded. To achieve those requirements, different apparatuses are used to promote a more efficient separation of the mixture oil/ water. The hydrocyclone has been widely used due to its operational simplicity, low cost, and high efficiencies. The velocity profiles of a hydrocyclone, mainly the tangential velocity profile, are important for predicting performance. In this work, computational fluid dynamics (CFD) was used to simulate a hydrocyclone used to promote oil-water separation. The simulated results were validated against experimental results. When fed with fine, medium and coarse oil-water dispersions, this hydrocyclone produced mass total separation efficiencies of 43.7, 80.9, and 98.7%, respectively.

Introdução

A água produzida é um efluente sempre presente na exploração petrolífera. Em dispersões óleo/água, o óleo pode estar na forma livre, disperso, emulsionado e dissolvido. O óleo livre representa as dispersões grosseiras, constituídas por gotas com diâmetros superiores a 150 μm , que são facilmente removidas por meio de processos de separação gravitacional. O óleo disperso, normalmente apresentando diâmetro de gotas entre 50 e 100 μm , também pode ser removido através de processos gravitacionais; no entanto, a eficiência de separação dependerá essencialmente da distribuição de diâmetros de gotas e da presença de agentes desestabilizantes (Oliveira, 1995). No caso do óleo emulsionado, o diâmetro das gotas normalmente se situa abaixo de 50 μm e caracteriza-se por apresentar-se em uma mistura relativamente estável com a fase aquosa; isto ocasiona uma dificuldade de sua remoção através de métodos gravitacionais e requer o emprego de processos mais sofisticados, tais como centrifugação ou flotação, associados ao emprego de produtos químicos. Por fim, a remoção do óleo dissolvido é extremamente difícil, requerendo o uso de processos químicos e/ou biológicos.

Com o envelhecimento do poço, é comum ocorrer um aumento da quantidade de água produzida. Esse grande volume de efluente não pode ser lançado ao mar antes de passar por um processo de tratamento, para se adequar aos padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais. O descarte de água produzida deverá obedecer a uma concentração média mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L (CONAMA 393, 2007).

Dentre os equipamentos de separação utilizados para tratar esse efluente, o hidrociclone destaca-se devido às suas elevadas eficiências e à pequena área (*floor space*) ocupada, devido aos baixos tempos de residência produzidos. Segundo Svarovsky (1990), o hidrociclone é muito versátil em suas aplicações devido aos baixos custos de fabricação, instalação e manutenção, ausência de partes móveis e simplicidade de operação.

A Fluidodinâmica Computacional (CFD) é uma ferramenta utilizada para simular escoamentos de fluidos, através da resolução numérica das equações de conservação (Versteeg e Malalasekera, 1995).

O objetivo do trabalho foi prever a eficiência de separação promovida por um hidrociclone especialmente projetado para a separação de águas oleosas, para distintas dispersões com diferentes distribuições de gotas de óleo em água.

Metodologia

O hidrociclone em estudo foi baseado no trabalho de Marins *et. al.* (2010), que realizou testes experimentais com água somente, obtendo perfis de velocidade através das técnicas LDA (*Laser-Doppler Anemometry*) e PIV (*Particle Image Velocimetry*). Na Tabela 1 e na Figura 1 são apresentadas as proporções geométricas utilizadas deste hidrociclone.

Tabela 1. Dimensões do hidrociclone empregado neste estudo.

Geometria	Dimensões (mm)
Diâmetro do cilindro (D_c)	70
Diâmetro do overflow (D_o)	10
Diâmetro do underflow (D_u)	26
Comprimento da seção cilíndrica (L_1)	50
Comprimento da primeira seção cônica (L_4)	130
Comprimento da segunda seção cônica e do tubo de underflow (L_5+L_6)	750
Ângulo da primeira seção cônica (θ_1)	15°
Ângulo da segunda seção cônica (θ_2)	1°

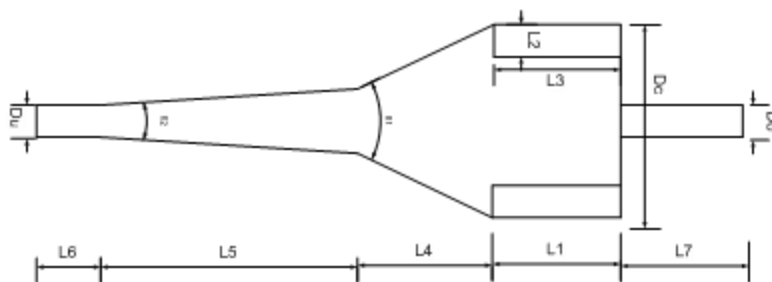


Figura 1. Esquema das proporções geométricas

Nesse trabalho, foram utilizados os softwares da Ansys Technology (versão 12.1). As simulações foram realizadas em um microcomputador com processador Intel Core i7 2,8GHz e memória de 4GB DDR3. Foi utilizado o programa ICEM da ANSYS para construção das malhas hexaédricas. A malha empregada contém 1.057.604 elementos e 1.038.866 nós (Figura 2).

A solução numérica do problema foi obtida com o software Ansys Fluent, utilizando uma abordagem Lagrangeana para a simulação da fase dispersa. Para o cálculo da turbulência foi utilizado o modelo dos tensores de Reynolds, RSM. A fase aquosa é contínua com densidade de 1000 kg/m³ e viscosidade de 0,85 cp. Para a fase dispersa, a fração volumétrica do óleo na entrada foi de 0,002, a densidade de 871 kg/m³ e viscosidade de 13cp. As condições de contorno empregadas foram a vazão volumétrica na entrada de 6,3 m³/h e as quedas de pressão na saída da corrente concentrada em óleo (*overflow*: 1,2 bar) e no na corrente diluída (*underflow*: 2,5 bar).

As distribuições de tamanhos de gotas de óleo utilizadas neste trabalho foram as empregadas por Colman e Thew (1980); Husveg *et al.* (2007) e Husveg (2011) e distribuição pessoal.

Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra os planos verticais de pressão e velocidade tangencial do hidrociclone. Na Figura 3a, pode-se verificar o gradiente radial de pressão, comum na operação de hidrociclones. Na Figura 3b percebe-se que, como descrito na literatura (Svarovsky, 1984; Heiskanen, 1993), as velocidades tangenciais apresentam seus maiores valores próximos à região central.

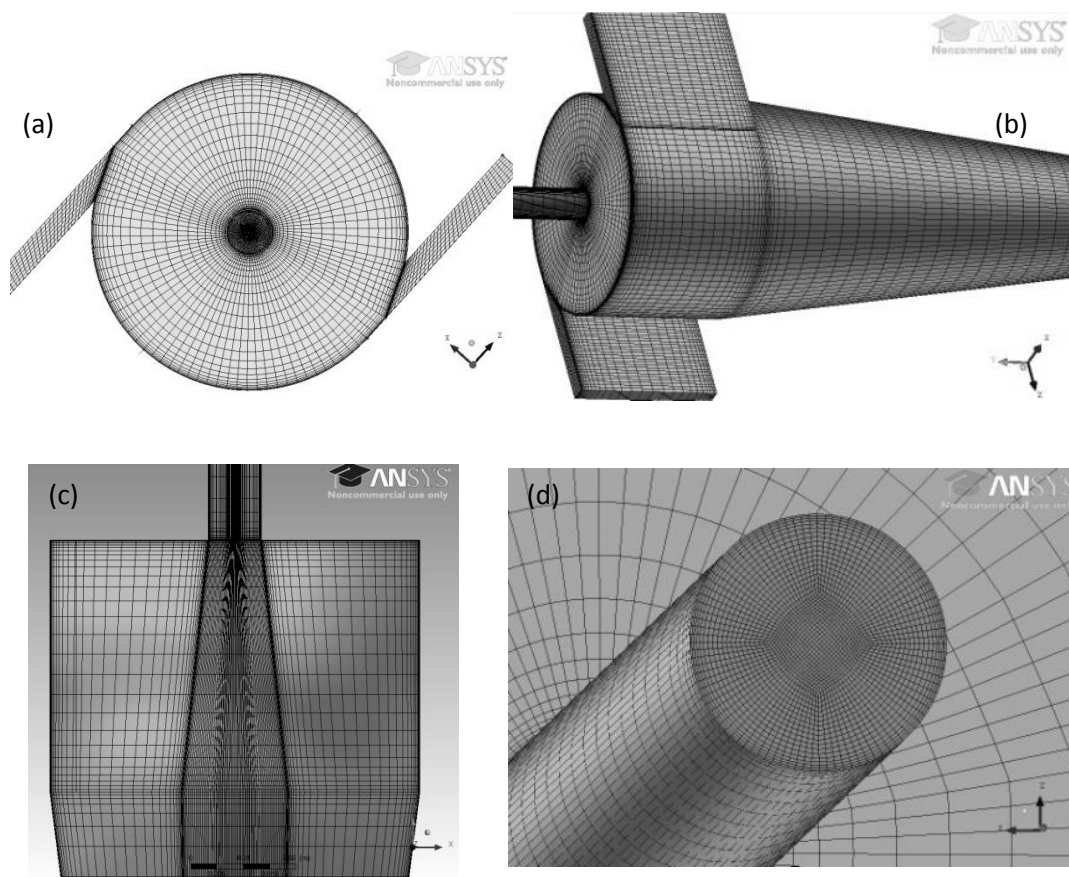


Figura 2. Malha do hidrociclone: (a) Vista superior, (b) vista em perspectiva, (c) vista do refino da malha na zona central, (d) vista do refino no overflow.

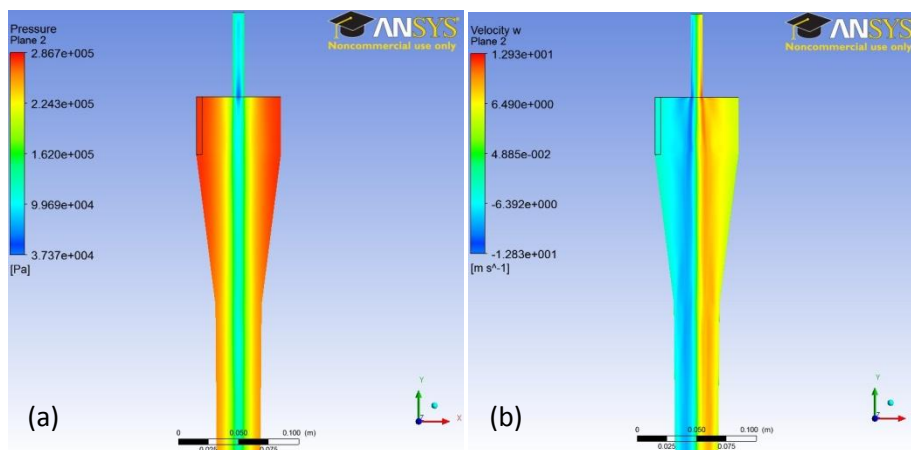


Figura 3. a) Perfil de pressões, b) Perfil de velocidades tangenciais.

O perfil de velocidade tangencial calculado na simulação foi comparado ao perfil medido experimentalmente por Marins *et al.* (2010), como mostrado na Figura 4. O perfil foi medido 180mm abaixo do *overflow*. Pode-se perceber que o resultado simulado ajustou-se bem ao experimental.

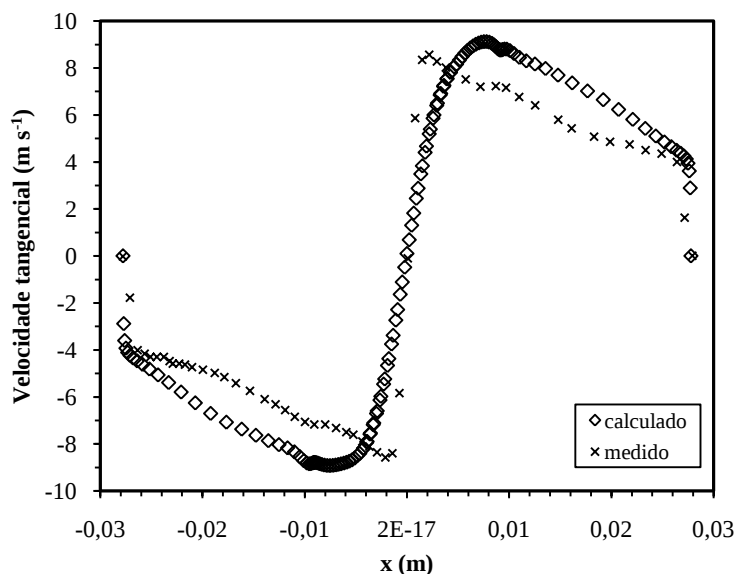


Figura 5. Perfis de velocidades tangenciais simulado e experimental a 180mm abaixo do *overflow*.

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre os valores experimentais medidos por Marins *et al.* (2010) e os obtidos neste trabalho para a pressão na entrada do hidrociclone e a razão de quedas de pressão ($DPR = (\text{pressão na entrada} - \text{pressão no } \textit{overflow}) / (\text{pressão na entrada} - \text{pressão no } \textit{underflow})$). Como pode ser verificado, os resultados simulados representam bem os experimentais.

Tabela 2. Comparação dos valores experimentais e da simulação para a pressão na entrada (P_i) e a razão entre as quedas de pressão (DPR)

Resultado	P_i (bar)	DPR
Experimental	3,02	1,87
Simulado	2,84	2,07

Para o cálculo da eficiência global de separação, as distribuições de tamanho de gotas foram ajustadas ao modelo de Rosin-Rammler (equação 1) e seus parâmetros podem ser encontrados na Tabela 3.

$$y = 1 - \exp \left[- \left(\frac{d}{k} \right)^m \right] \quad (1)$$

Tabela 3. Distribuições de tamanhos de gotas empregadas neste trabalho.

Tipo de Distribuição	k (μm)	m	Mediana da distribuição (μm)	Referência
fina	26	1,9	21	Husveg (2007, 2011)
média	51	2,5	45	Colman e Thew (1980)
grossa	168	1,8	130	§

§ = Dados do laboratório dos autores deste trabalho.

Com as distribuições listadas na Tabela 3, foi possível simular-se as eficiências totais de separação do óleo, em massa (razão entre as vazões mássicas de óleo no *overflow* e na alimentação), empregando-se a abordagem lagrangeana. Para uma razão de fluido (fração da água que entra que se reporta ao *overflow*) calculada de 26,2%, a Tabela 3 mostra as eficiências simuladas para as três distribuições estudadas. Pode-se notar que se obteve elevadas eficiências para as distribuições média e grossa, o que mostra ser este hidrociclone adequado para o tratamento de águas oleosas.

Tabela 3. Eficiências obtidas para as três distribuições de tamanhos de gotas (fina, média e grossa).

Distribuição	Eficiência Total (%)
Husveg (2007, 2011)	43,7
Colman e Thew (1980)	80,9
§	98,7

§ = Dados do laboratório dos autores deste trabalho.

Conclusões

Os resultados obtidos a partir da simulação numérica representaram bem aos dados experimentais do perfil de velocidades tangenciais, razão entre as queda de pressão (DPR) e pressão na entrada do hidrociclone medidos por Marins *et. al* (2010). As elevadas eficiências de separação obtidas para duas típicas distribuições de tamanhos de gotas de óleo alimentadas ao hidrociclone estudado demonstram que este é adequado para o tratamento de águas oleosas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás (PRH-ANP). Agradecem, em particular, ao PRH-14 da UFRN e a todos que fazem parte do Laboratório de Fluidodinâmica Computacional (Lab CFD) da Escola de Química da UFRJ.

Referências Bibliográficas

- COLMAN, D. A., Thew, M. T. **Hydrocyclone to give a highly concentrated sample of a lighter dispersed phase**. Paper presented at an International Conference on Hydrocyclones, p. 209 - 223, Cambridge, U.K., October, 1980.
- HEISKANEN, K. **Particle Classification**, Chapman & Hall, London, 1993
- HUSVEG, T. **Distribuição de tamanhos de partículas**. Informação pessoal, 2011.
- HUSVEG, T., RAMBEAU, O., DRENGSTIG, T. **Peformance of a deoling hydrocyclone during variable flow rates**. Minerals Engineering 20 368-379, Norway, 2007.
- MARINS, L. P. M., DUARTE, D. G., LOUREIRO, J. B. R., MORAES, C. A. C. **LDA and PIV characterization of the flow in hydrocyclone without an air-core**. Journal of Petroleum Science and Engineering, Cenpes/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- OLIVEIRA, R. C. G. **Estudos de Variáveis Operacionais e Interfaciais na Flotação de Óleo por Gás Dissolvido**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1995.
- SVAROVSKY, L. **Hydrocyclones**, Holt, Rinehart and Winston, London, 1984.
- SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**. 3rd Ed., Butterworths, London, 1990.
- VERSTEEG, H. K., MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics - The Finite Volume Method**, Longman, London, 1995.