

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

PROCESSAMENTO DE ÁGUA E ÓLEO EM SEPARADORES CICLÔNICOS:
MODELAGEM E SIMULAÇÃO

AUTORES:

Flávia Daylane Tavares de Luna¹, Morgana de Vasconcellos Araújo¹, Helton Gomes Alves¹, Severino Rodrigues de Farias Neto¹, Antonio Gilson Barbosa de Lima²

INSTITUIÇÃO:

¹Departamento de Engenharia Química, Unidade Acadêmica de Engenharia Química, Universidade Federal de Campina Grande, , ²Departamento de Engenharia Mecânica, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. 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 8º PDPETRO.

PROCESSAMENTO DE ÁGUA E ÓLEO EM SEPARADORES CICLÔNICOS: MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Abstract

In order to increase the useful life of reservoir, water is injected, process called secondary recovery. However, this addition causes an increase in the presence of water in extracted oil, and consequently a rise in the amount of produced water. In the oil industry, the produced water by the oil contain in high concentrations, therefore their disposal causes serious problems to the environment. Several water/oil separation equipment present dimensions that prevent its use on oil rigs. Among several equipment used, one deserve highlighting is the hydrocyclone. However, their efficiency is influenced by operating parameters and also the equipment geometry. Given this situation, this paper proposes a numerical study of two cyclonic separators, which operate on the same principle of separation of hydrocyclone. The simulations were performed using commercial package ANSYS CFX considering 3D, turbulent, isothermal, incompressible and steady state flow. The particle model and the RNG k- ϵ turbulence model were used to describe the water-oil two phase flow. Was evaluated the flow dynamic, as well as the influence of concentration in the feed on the behavior of the phases using the separators and its efficiency.

Introdução

O processamento primário é uma etapa importante na produção do petróleo. O hidrociclone por apresentar facilidade na construção, manutenção, baixo custo operacional, fácil adaptação a operações extremas (alta pressão, baixa temperatura e presença de gases corrosivos), tamanho reduzido e além da elevada eficiência, obteve uma boa aceitação, sendo bastante utilizado em indústrias petroquímicas, no tratamento primário do óleo (FARIAS *et al.*, 2011; BARBOSA, 2011).

A eficiência de separação do hidrociclone é afetada por alguns fatores operacionais, tais como vazão de alimentação da mistura, concentração dos componentes na entrada do equipamento, entre outros (HASHMI *et al.*, 2004; HUSVEG *et al.*, 2007). E também, sofre influência da geometria do equipamento como apresentado por alguns autores, como exemplo Wang e Yu (2006) e Bhaskar *et al.* (2007). Esses autores apresentam a influência do comprimento da parte cilíndrica e cônica do hidrociclone sobre o comportamento do fluido e a eficiência de separação do equipamento, respectivamente.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo estudar dois dispositivos que operam sobre os mesmos princípios de separação dos fluidos apresentado pelo hidrociclone, porém com uma geometria diferenciada, com o intuito de elevar a eficiência no processo de separação dos fluidos água e óleo.

Metodologia

Descrição do Problema

O processo de separação água/óleo é realizado utilizando dois separadores ciclônicos. O primeiro separador ciclônico, denominado como separador ciclônico A é constituído de um cone principal munido de duas entradas tangenciais e duas saídas, sendo uma tangencial e a outra axial. Na secção cilíndrica, nas proximidades das entradas tangenciais foi introduzido um tronco cônico, com o propósito de direcionar o fluxo de óleo para a saída axial, como pode ser observado na Figura 1a. O segundo, chamado de separador ciclônico B, diferencia-se do primeiro por apresentar duas saídas axiais de raios diferentes (Figura 1b).

Modelagem Matemática

A representação matemática do escoamento multifásico no interior do separador ciclônico foi baseada na aproximação Euleriana- Euleriana. As seguintes hipóteses foram assumidas:

- a) Fluido newtoniano e incompressível;
- b) Escoamento isotérmico e em regime permanente;
- c) As paredes do equipamento são estáticas;

Com essas considerações, as equações de conservação de massa e momento linear se reduzem a:

- Equação de conservação de massa

$$\nabla \cdot (f_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha) = 0 \quad (1)$$

onde o sub-índice α representa a fase envolvida na mistura bifásica água e óleo, f , ρ , e $\vec{U}$ são a fração volumétrica, densidade e o vetor velocidade, respectivamente. Para a fase α , o vetor velocidade é dado por $\vec{U}_\alpha = (u, v, w)$

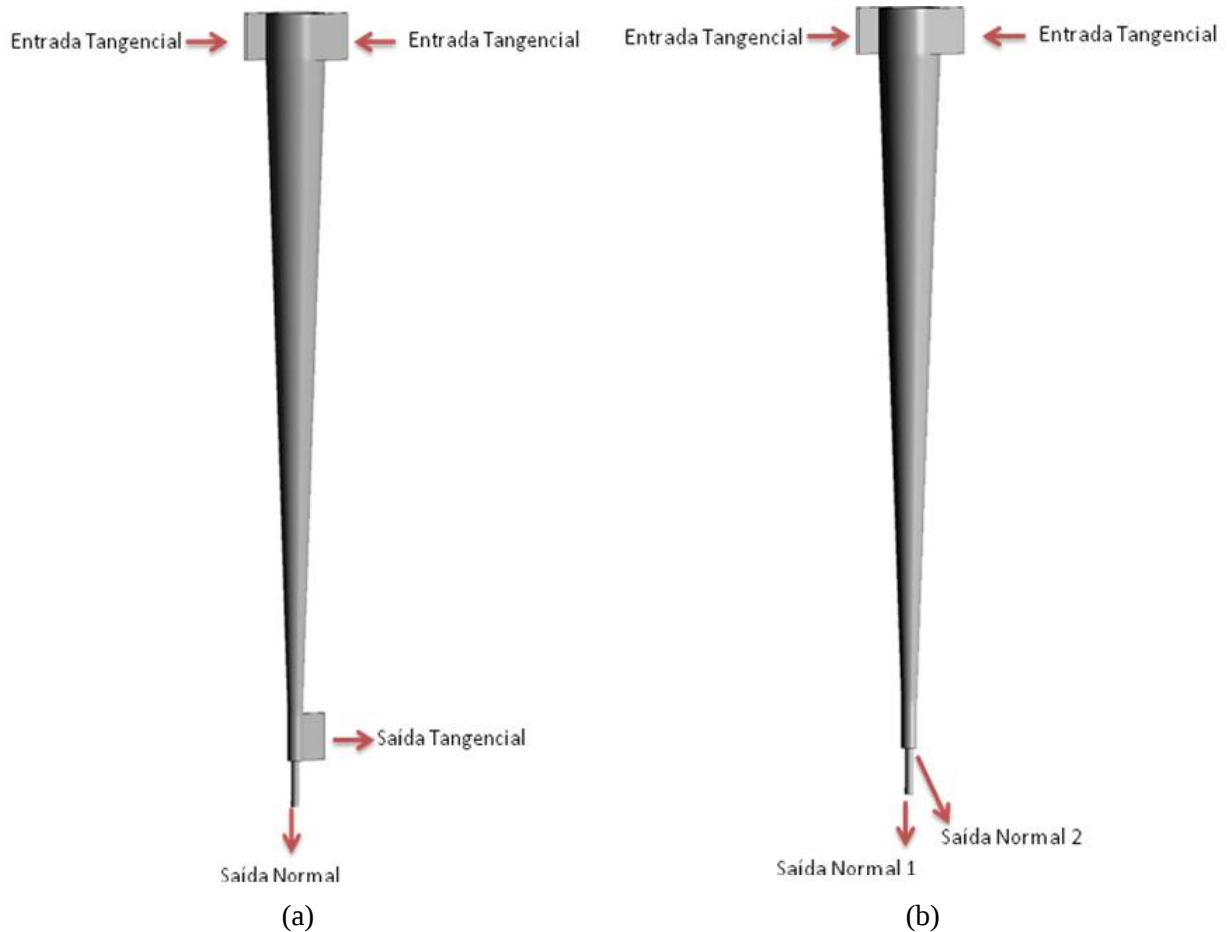


Figura 1: Descrição das entradas e saídas dos separadores ciclônicos, (a) Separador A; (b) Separador B.

- Equação da conservação do movimento

$$\nabla \cdot [f_\alpha (\rho_\alpha \vec{U}_\alpha \otimes \vec{U}_\alpha)] = -f_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot \left\{ f_\alpha \mu_{ef} \left[\nabla \vec{U}_\alpha + (\nabla \vec{U}_\alpha)^T \right] \right\} + \vec{S}_{M\alpha} + \vec{M}_\alpha \quad (2)$$

onde p é a pressão, $\vec{S}_{M\alpha}$ representa o termo das forças externas que atuam sobre o sistema por unidade de volume, M_α descreve as forças de arraste interfacial sobre a fase α devido à interação com a fase β definido por:

$$\vec{M}_\alpha = \frac{3}{4} \frac{C_D}{d_p} f_\beta \rho_\alpha |\vec{U}_\beta - \vec{U}_\alpha| (\vec{U}_\beta - \vec{U}_\alpha) \quad (3)$$

onde d_p é o diâmetro da partícula e C_D é o coeficiente de arraste, o qual foi assumido igual 0,44.

- Modelo de turbulência

Com a presença de um escoamento turbulento, as equações de conservação de momento linear juntamente com de conservação de massa não conseguem prever adequadamente as oscilações oriundas deste fenômeno. Assim sendo, é necessária a utilização de um modelo de turbulência adequado capaz de prever o escoamento. Neste sentido, foi adotado o modelo de turbulência RNG κ - ε para descrever o fluxo turbulento das fases presentes no interior do separador ciclônicos.

- Eficiência de separação

A fim de quantificar a eficiência de separação dos equipamentos, foram utilizadas duas definições de eficiência, as quais são apresentadas a seguir:

$$E = 1 - \left(\frac{1 - C_o}{1 - C_A} \right) \quad (5)$$

onde C_A e C_o são as concentrações de óleo, na unidade de kg de óleo / m³ da mistura na alimentação e no *overflow*, respectivamente.

$$E' = 1 - \left(\frac{K_u}{K_A} \right) \quad (6)$$

onde, K_u e K_A são os fluxos de óleo e o fluxo da mistura no *underflow* e na entrada, respectivamente.

Condição de Contorno

As seguintes condições de contorno foram usadas:

- Condição de entrada: Vazão volumétrica, w igual a 6,3 m³/h e fração volumétrica do óleo, f_o , 1,0; 5,0 e 10 %.
- Condição de saída: Pressão estática igual a 2,1 bar para cada saída.
- Condição de parede: Foi adotada a condição de não deslizamento.

Resultados e Discussão

Na Figura 2 estão representados os campos de fração volumétrica do óleo sobre o plano xz passando pelo eixo central do separador para uma vazão de entrada igual a 6,3 m³/h e concentração de óleo igual a 5,0%, nos dois separadores em estudo. Observa-se a presença de um núcleo de óleo na região central dos dois equipamentos desde o início do escoamento semelhante ao observado em hidrociclones tradicionais, como apresentado em vários trabalhos na literatura, como exemplos, Cullivan *et al.* (2004), Ahmed *et al.* (2008), Wang e Yu (2008), Souza *et al.* (2011) e Farias *et al.* (2011). Porém, o núcleo de óleo formado na região central do separador A é desfeito em consequência

da ação da saída tangencial (Figura 2a), mostrando a baixa eficiência do separador ciclônico A na coleta dos fluidos separados.

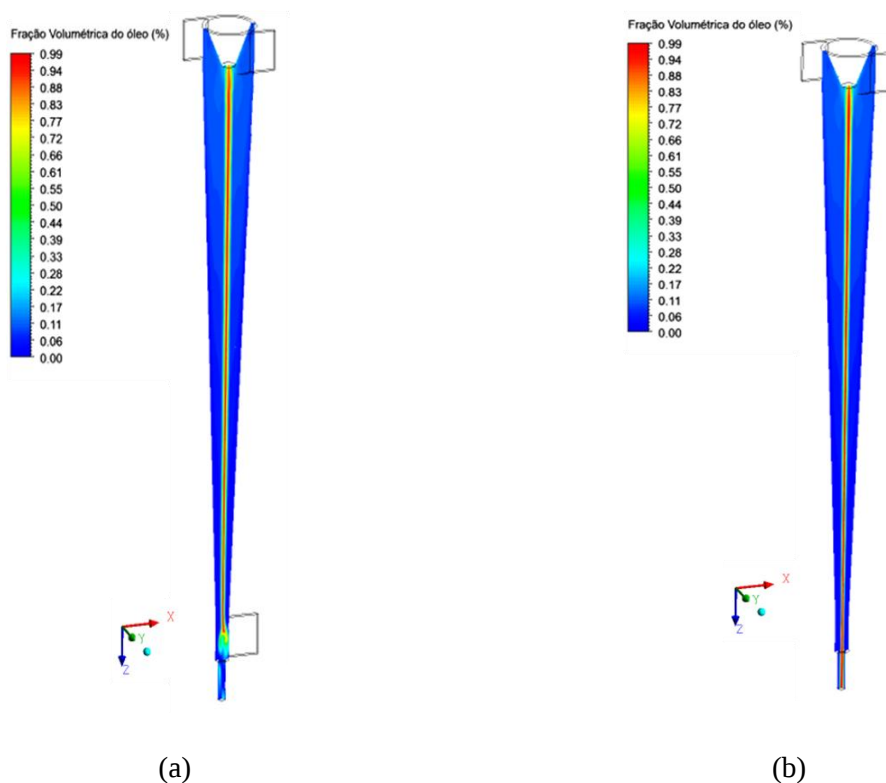


Figura 2: Campo de concentração de óleo para o caso com concentração igual a 10%; (a) separador ciclônico A e (b) separador ciclônico B.

Para analisar a influência da concentração volumétrica do óleo na alimentação sobre o comportamento dos perfis de velocidades axial e tangencial, foram tomadas duas posições axiais (200 e 775 mm), como mostrado na Figura 3.

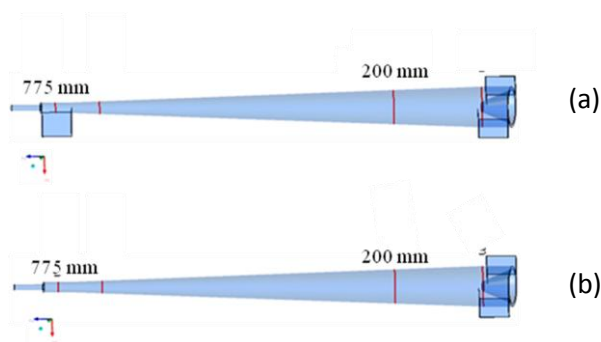
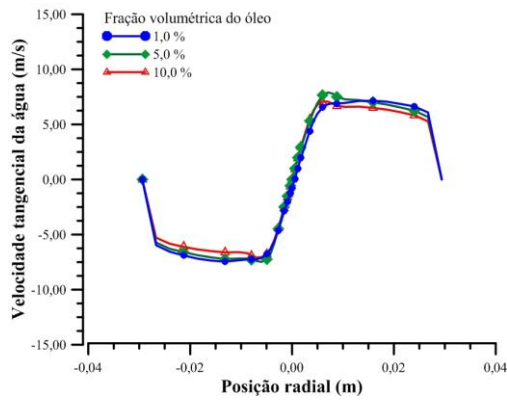
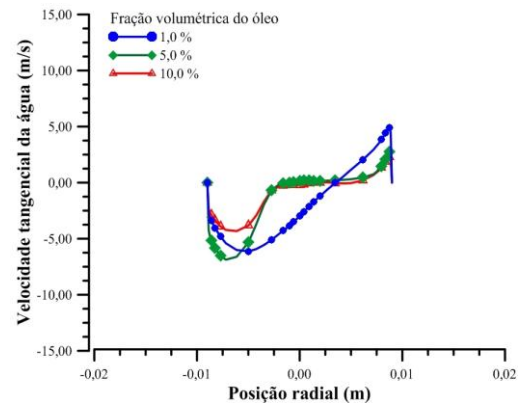


Figura 3: Posições das linhas axiais. (a) separador ciclônico A e (b) separador ciclônico B.

Nas Figuras 4 e 5, são apresentados os perfis de velocidade tangencial para os três casos com diferentes concentrações volumétricas de óleo na mistura de alimentação. Dentre os casos estudados, o comportamento da velocidade tangencial sofre pouca influência da concentração da mistura na entrada. Para concentrações da fase dispersa acima de 10%, Silva e Farias Neto (2012) relatam que a velocidade tangencial sofre influência da variação de concentração de óleo na mistura, na faixa entre 10 a 40 %.

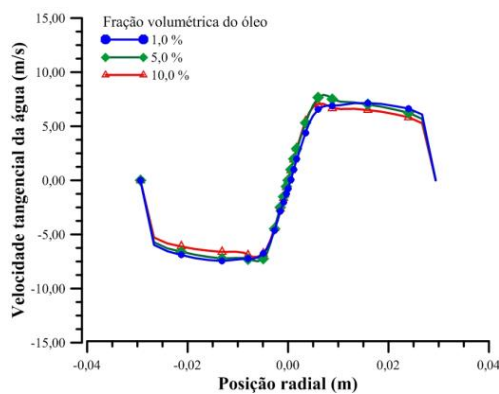


(a)

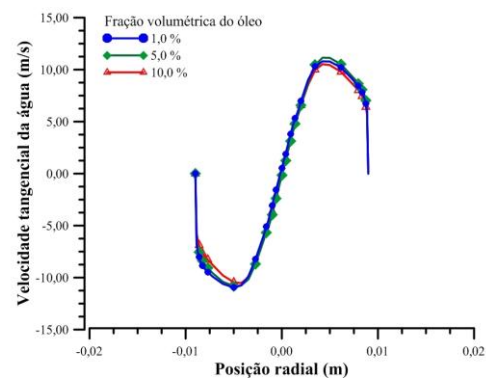


(b)

Figura 4: Análise da influência da concentração volumétrica do óleo no perfil de velocidade tangencial para o separador ciclônico A. (a) 200 mm e (b) 775 mm.



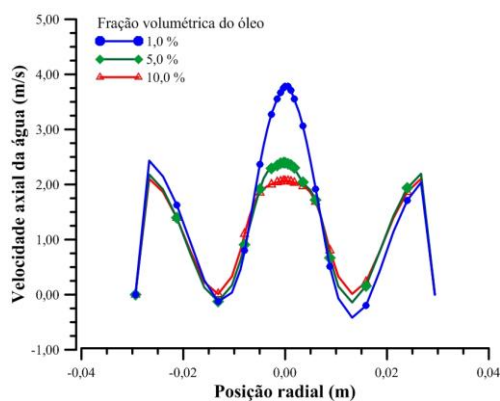
(a)



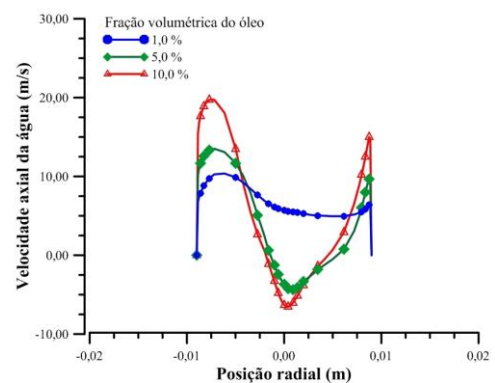
(b)

Figura 5: Análise da influência da concentração volumétrica do óleo no perfil de velocidade tangencial para o separador ciclônico B (a) 200 mm e (b) 775 mm.

Estão apresentados nas Figuras 6 e 7, os perfis de velocidade axial. Verifica-se que o aumento da concentração de óleo não influencia significativamente o perfil de velocidade, diferindo do observado por Maciel (2013), ao estudar um hidrociclone, no qual evidenciou que o aumento de óleo na entrada reduz o momento angular.



(a)



(b)

Figura 6: Perfil de velocidade axial para o separador ciclônico A. (a) 200 mm e (b) 775 mm.

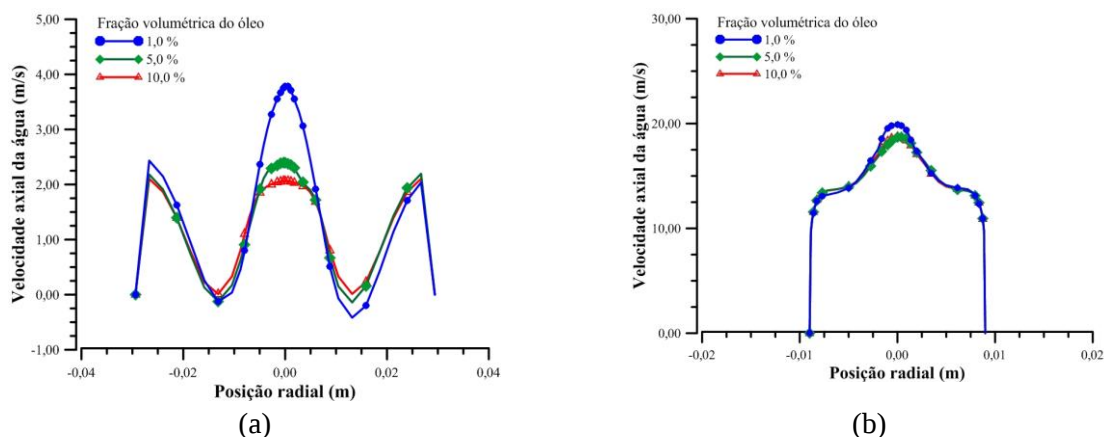


Figura 7: Perfil de velocidade axial para o separador ciclônico B. (a) 200 mm e (b) 775 mm.

Na Figura 8 é apresentada graficamente a eficiência obtida no separador B em função da concentração volumétrica do óleo na alimentação. Os resultados mostram uma pequena elevação, seguida de decaimento da eficiência, semelhante ao que é apresentado na literatura para hidrociclones. Pelo fato do estudo ter sido aplicado para baixas concentrações de óleo na alimentação, a influência da variação da concentração da mistura não foi observada nos perfis de velocidades, porém foi evidenciada na eficiência de separação.

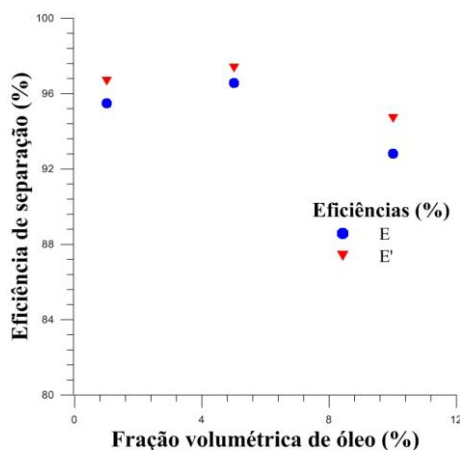


Figura 8: Eficiência de separação para o separador ciclônico B.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos separadores ciclônicos pode-se concluir que:

- O modelo matemático proposto mostrou-se capaz de avaliar o problema em questão, sendo possível verificar o comportamento tridimensional do escoamento no interior de ambos os separadores ciclônicos;
- O aumento da concentração não influenciou consideravelmente o comportamento da velocidade tangencial e axial, dentre os casos estudados;
- Os separadores ciclônicos tendem a concentrar o óleo na região central desde o início do escoamento;
- O separador ciclônico A mostra dificuldade na coleta dos fluidos separadamente, apresentando uma zona de mistura no final do equipamento, provocando, assim, uma baixíssima eficiência de separação;

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES, à FINEP, à PETROBRAS, à ANP/PRH-25 e à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte financeiro.

Referências Bibliográficas

AHMED, M.M.; IBRAHIM, G.A.; FARGHALV, M.G., Performance of a three product hydrocyclone. Journal of Mineral Processing, v. 86,p. 18-25,2008.

BARBOSA, E.S., Aspectos Geométricos e Hidrodinâmicos de um Hidrociclone no Processo de Separação de Sistemas Multifásicos: Aplicação na Indústria de Petróleo. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação Engenharia de Processo, UFCG, Campina Grande-PB, 2011.

BHASKAR, K.U; RAMA MURTHY, Y. ; RAMAKRISHNAN, N.; SRIVASTAVA, J.K, SARKAR, S.; KUMAR, V., CFD validation for flyash particle classification in hydrocyclones. Mineral Engineering, v.20, n.2, p.290-302, 2007

CULLIVAN, J. C.; WILLIAMS, R. A.; DYAKOWSKI, T.; CROSS, C.R., New understanding of a hydrocyclone flow field and separation mechanism from computational fluid dynamics. Mineral Engineering, v. 17, p. 651–660, 2004

FARIAS, F.P.M; SOUZA, J. S; LIMA, W.C.P.B ; MACÊDO, A.C.; FARIAS NETO, S.R.; LIMA, A.G.B., Influence of Geometric Parameters of the Hydrocyclone and Sand Concentration on the Water/Sand/Heavy-Oil Separation Process: Modeling and Simulation. The International Journal of Multiphysics, v. 5, n.1, p. 187-202, 2011.

HASHMI, K.A.; HAMZA, H.A.; WILSON, J.C., CANMET hydrocyclone: an emerging alternative for the treatment. Mineral Engineering, v.17, n.3, p.643-649, 2004.

HUSVEG, T.; RAMBEAU, O.; DRENGSTIG, T.; BILSTAD,T., Performance of a deoiling hydrocycl one during variable flow rates. Mineral Engineering, v.20, n.4, p.368-379, 2007.

WANG, B.; YU, A.B., Numerical study of parti cle–fluid flow in hydrocyclones with diferent body dimensions. Mineral Engineering, v. 19, n.1, p. 1022-1033, 2006.

WANG, B.; YU, A. B., *Numerical study of the gas–liquid–solid flow in hydrocyclones with different configuration of vortex finder*. In:Chemical Engineering Journal, v. 135, p. 33–42, 2008

SILVA, A. S.; FARIAS NETO, S.R. Estudo dos efeitos das variáveis geométricas no desempenho do separador ciclônico no tratamento de efluentes industriais. IX Congresso de iniciação científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012

SOUZA, J. S. ; FARIAS, F. P. M.; SWARNAKAR, R. ; FARIAS NETO, S. R. ; LIMA, A. G. B. , Non-Isothermal Separation Process of Two-Phase Mixture Water/Ultra-Viscous Heavy Oil by Hydrocyclone. Advances in Chemical Engineering and Science, v. 1, 271-279, 2011.