

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



Realização



TÍTULO DO TRABALHO:

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS PRESENTES EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO VIA HIDROCICLONES

AUTORES:

Mônica Larissa Araujo Rocha Arruda¹, Ruth Luna do Nascimento Gonçalves¹ Tony Herbert Freire de Andrade¹, Luciana Viana Amorim¹

INSTITUIÇÃO:

Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal de Campina Grande

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA SEPARAÇÃO DE SÓLIDOS PRESENTES EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO VIA HIDROCICLONES

Abstract

During oil wells drilling the use of drilling fluids is essential. These fluids are used to make the rock cutting easier, carry the cuttings generated during the drilling to the surface, oil and cool the bit and drill columns, make pressure on the well walls and prevent unwanted inflows of well formation fluids, phenomenon known as kick. Therefore, drilling muds are subject to contamination by formation solids of these drilled formations and fluids contained in these formations, so their efficient treatment is essential to perform their functions properly, avoiding accidents and reducing costs in the wells design. For that, it's made use of various substance separation equipments such as shale shake, hydrocyclones, centrifuges, degassers, among others. Hydrocyclones are widely used in oil exploration due to their high processing capacity, reduced energy consumption, space used for installation, maintenance costs and high separation efficiency. And, for the treatment of drilling fluids, are preferred to the centrifuges for not removing additives from the sludge. In this work, it will be studied through Computational Fluid Dynamics the separation of contaminant solids from drilling muds via hydrocyclones. Therefore, it will be used the ANSYS CFX software that applies the finite volume elements method based on finite elements to solve the conservation equations. Given this, a multiphase model capable of faithfully reproducing the separation phenomenon will be presented. The flow lines, speed fields, volumetric fractions of the involved phases and the hydrocyclone separation efficiency will be shown.

Introdução

O petróleo é armazenado em rochas reservatório localizadas em bacias sedimentares na subsuperfície. Para atingir um reservatório de petróleo necessita-se atravessar camadas rochosas utilizando ferramentas de cortes, as brocas de perfuração, associadas à fluidos que facilitam a ação de corte. Esse processo é denominado perfuração de poços. O uso de fluidos de perfuração está associado à segurança da operação de perfuração, a fim de não colocar em risco a equipe envolvida e o meio ambiente. As lamas de perfuração, além de facilitar a perfuração devem atender aos requisitos do projeto do poço que requer propriedades especiais como viscosidade, densidade, forças géis, teor de sólidos, dentre outras (PEREIRA, 2010).

Na operação de perfuração são presentes diferenciais de pressões nas formações geológicas, nas quais as lamas de perfuração devem exercer pressão hidrostática, com proposito de evitar o influxo de fluidos presentes na formação para dentro do poço, fenômeno conhecido por *kick*. O *kick* não combatido com segurança leva à ocorrência de um *blowout*, acidente desastroso com a chegada de fluidos na superfície em alta pressão causando prejuízos humanos, ambientais e financeiros (NETO, 2011)

Tendo em vista que, o Sistema de Fluidos é o que tem maior valor agregado no projeto de perfuração, há a necessidade de reutilizá-lo (ALVES, 2017). O fluido de perfuração é bombeado para dentro da coluna de perfuração, que sai pelos jatos da broca e retorna pelo espaço anular criado pelas paredes do poço e a coluna de perfuração. A volta dessa lama se dá com o carregamento dos cascalhos das rochas do fundo do poço para a superfície. Para isso, as lamas passam por tratamento a fim de retirar cascalhos e demais partículas sólidas, pois a presença de sólidos nos fluidos altera as propriedades de viscosidade, densidade e forças géis que estão diretamente relacionadas com o risco de ocorrência de *kick* e má limpeza do fundo poço (TARAZONA, 2005).

O tratamento das lamas de perfuração conta com diversos separadores como, por exemplo, peneira vibratória, hidrociclones, centrífuga, desgaseificadores, entre outros equipamentos. A

utilização de hidrociclones está associada à eficiência de separação, redução de espaço para instalação, facilidade de operação e manutenção (BARBOSA, 2011).

O uso de hidrociclones necessita de baixo custo de manutenção, apresentam boa eficiência de separação e alta capacidade de processamento. Além de reduzir espaço ocupado por centrífugas, o que em plataformas offshore é um fator de elevada importância. (SILVA, 2012). Esses equipamentos são amplamente utilizados na indústria, tendo como princípio a separação de misturas líquido-líquido, gás-líquido e sólido-líquido por meio de campo centrífugo. O seu uso em larga escala deve-se ao fato de serem equipamentos de baixo custo operacional, alta eficiência de separação e flexibilidade de aplicações. (SVAROVSKY, 2000).

Os hidrociclones são compostos por uma parte cilíndrica unida a uma parte cônica. As entradas são tangenciais à parte cilíndrica. As descargas são posicionadas axialmente. A saída superior é denominada de *overflow*, e a saída inferior de *underflow*. A mistura inserida no equipamento contendo partículas suspensas é submetida à força centrípeta, centrífuga, gravitacional e de arraste, que as separa do fluido de acordo com a densidade dos componentes da mistura. (BARBOSA, 2011)

A alimentação tangencial de uma mistura sólido-líquido provoca a formação de um *vortex* descendente que faz as partículas de maior densidade atingir a parede e serem arrastadas até o *underflow*. As partículas de densidade menor serão direcionadas para o centro do hidrociclone, formando um *vortex* ascendente, e sairão pelo *overflow*. (CRUZ e ZANINI, 2010)

Nesta perspectiva, o objetivo desse trabalho é estudar por meio da Fluidodinâmica Computacional a separação de sólidos contaminantes dos fluidos de perfuração via hidrociclone, analisando as linhas de fluxo, o campo de velocidade, as frações volumétricas das fases envolvidas e a eficiência de separação do hidrociclone utilizando o software ANSYS CFX.

Metodologia

O problema físico consiste em analisar a separação via hidrociclone de uma corrente de fluido de perfuração contaminado por cascalhos oriundos da perfuração. A figura 1 mostra a configuração do hidrociclone utilizado para o estudo deste trabalho.

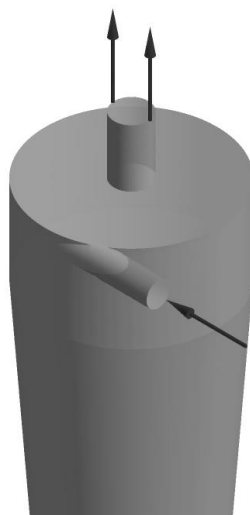


Figura 1: Configuração do hidrociclone utilizado neste estudo.

Domínio Computacional

A representatividade do domínio de estudo é devida a uma ferramenta disponível no ICEM CFD, que resultou em uma malha não estruturada com 534374 volumes de controle, mostrada na figura 2.

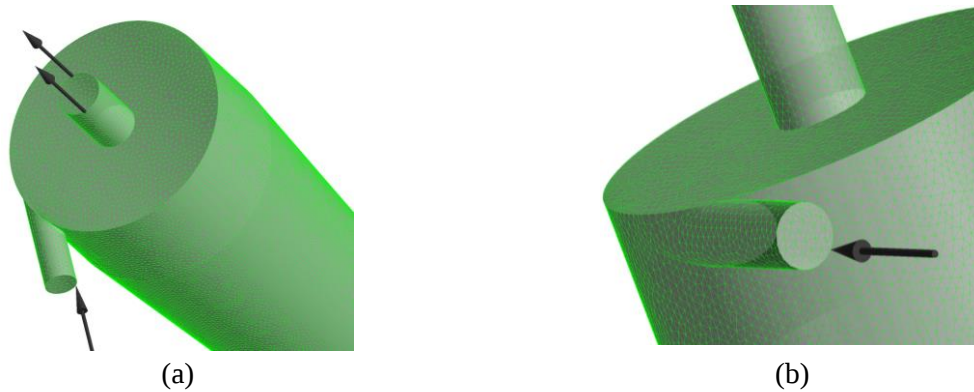


Figura 2: Malha do hidrociclone utilizado nesse estudo, (a) região de entrada e saída superior e (b) detalhes da entrada.

Modelo Matemático

A representação matemática da fluidodinâmica no interior do hidrociclone foi realizada através da abordagem Lagrangeana, cujas equações de conservação são resolvidas para cada fase constituinte do escoamento multifásico onde, o fluido de perfuração foi considerado como sendo a fase contínua e os cascalhos a fase dispersa.

Assim, foi assumida a condição de fluxo turbulento, a fase contínua é o fluido de perfuração e a dispersa são os cascalhos, fluido incompressível, que as paredes do equipamento são estáticas e estado estacionário.

Conservação da Massa

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

Onde α representa a fase, f , $\vec{U}$ e ρ representam a fração de volume, o vetor velocidade e a densidade respectivamente.

Conservação do Momento Linear

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

Onde p é a pressão, $\vec{M}_{\alpha}$ descreve a força de arrasto na fase α devido à interação com a fase β . O modelo da força de arrasto utilizado foi o de Schiller Naumann.

Modelo de Turbulência

As equações de conservação da massa e do momento não são capazes de descrever adequadamente a complexidade do fenômeno da turbulência presente no dispositivo. Portanto, é necessário usar um modelo adequado de turbulência e, neste trabalho, foi utilizado o modelo de turbulência RNG k- ϵ para descrever o comportamento turbulento das fases envolvidas no fluxo, pois segundo Barbosa (2011), é o mais indicado para representar o fluxo dentro de um hidrociclone tradicional. Esse modelo consiste nas seguintes equações:

$$\Delta \cdot \left(\rho \vec{U} k \right) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu T}{\sigma_{RNG}} \Delta \vec{U}_\alpha \right) \Delta k \right] + p_k - p_\varepsilon \quad (3)$$

$$\Delta \cdot \left(\rho \vec{U} \varepsilon \right) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu T}{\sigma_{RNG}} \right) \Delta \varepsilon \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1 RNG} \rho k - C_{\varepsilon 2 RNG} \rho \varepsilon) \quad (4)$$

Sendo k a energia cinética, ε a dissipação turbulenta, que é a taxa na qual as flutuações de velocidade se dissipam. O valor de $C_{\varepsilon 1 RNG}$ é dado por:

$$C_{\varepsilon 1 RNG} = 1,42 - f_n \quad (5); \quad f_n = \frac{\eta \left(1 - \frac{\eta}{4,38} \right)}{\left(1 + \beta_{RNG} \eta^3 \right)} \quad (6); \quad \eta = \sqrt{\frac{P_k}{\rho C_{\mu RNG} \varepsilon}} \quad (7)$$

Em que as constantes do modelo são:

$$C_{\varepsilon 2 RNG} = 1,68, \sigma_{RNG} = 0,7179, C_{\mu RNG} = 0,085, \beta_{RNG} = 0,012$$

E μ_T é a viscosidade turbulenta dada por:

$$\mu_T = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (8)$$

Onde C_μ é também uma constante deste modelo, $C_\mu = 0,0845$.

Condições Iniciais e de Contorno

A tabela 1 mostra as propriedades do fluido de perfuração e dos cascalhos utilizado nas simulações desse estudo.

Tabela 1 - Configurações do fluido de perfuração e dos cascalhos usados na simulação

Parâmetros	Fluido de perfuração	Cascalhos
Densidade (lb/gal)	9	21.4
Viscosidade (Pa*s)	1.3	-
Diâmetro (in)	-	0.25

A tabela 2 mostra os parâmetros de vazão volumétrica e fração de partículas dos casos estudados na simulação.

Tabela 2- Estudo de Casos

Casos	Vazão Volumétrica [m ³ /s]	Fração de partículas (%)
1	0.002136195	0.5
2	0.002136195	0.6
3	0.002136195	0.7

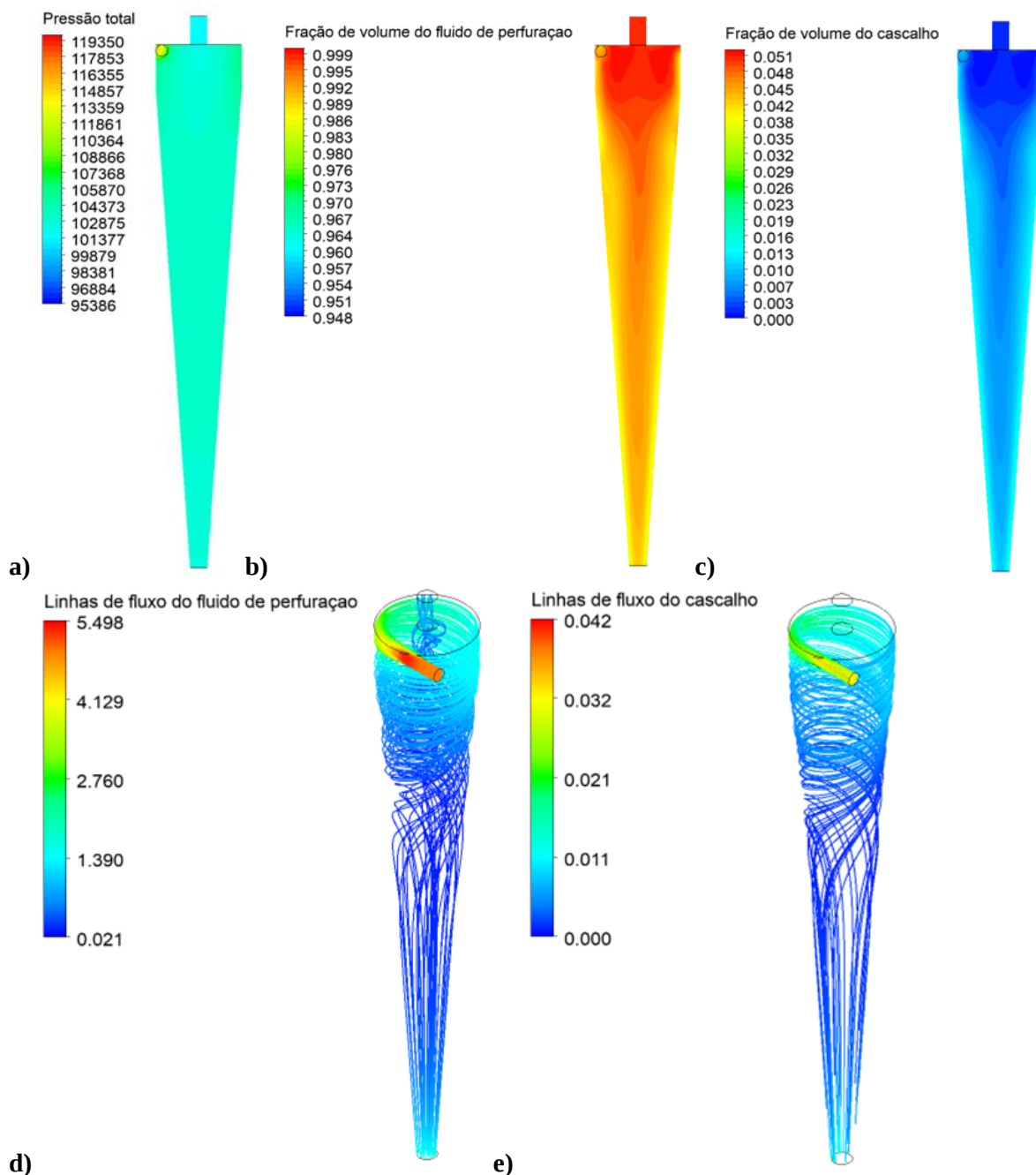
As concentrações de cascalhos definidas são provenientes de um estudo de caso realizado por Fonseca *et al.* (2009).

Foi assumido que pressão estática nas saídas inferior e superior são iguais a 1atm.

Resultados e Discussão

São analisadas as linhas de fluxo, o campo de velocidade, as frações volumétricas das fases envolvidas e a eficiência de separação do hidrociclone para cada caso descrito na Tabela 2. A figura 3 mostra os resultados obtidos.

Figura 3: Resultados em mapas de cores para: a) pressão total no hidrociclone, b) fração de volume de fluido, c) fração de volume das partículas, d) linhas de fluxo do fluido, e) linhas de fluxo dos cascalhos.



É possível observar na figura 3 a) que a pressão é maior nas paredes do hidrociclone e reduz quando se aproxima para o interior. Além disso, a pressão de maior valor no equipamento é observada na entrada.

Na figura 3 b) é observada a fração volumétrica da separação dos cascalhos do fluido de perfuração, em que o fluido limpo sai pelo *overflow*. É observado valores consideráveis de fluido saindo pelo *underflow*, isso pode ser explicado pela capacidade de separação do equipamento. Já na figura 3 c) observa-se o contrário, a saída do maior volume de cascalhos ocorre pelo *underflow*.

Na figura 3 d) e 3 e) pode-se visualizar as linhas de fluxo que descrevem o escoamento de cada fase constituinte da carga inserida no hidrociclone.

A seguir é mostrado tabelas com resultados numéricos da separação dos cascalhos presentes no fluido de perfuração e a eficiência referente a cada caso estudado.

Tabela 3: Resultados da separação dos cascalhos

Casos	Vazão de entrada de cascalho (Kg/s)	Vazão no overflow (Kg/s)	Vazão no underflow (Kg/s)	Eficiência (%)
1	0.0228061	-0.000945907	-0.02186	95,85
2	0.0273673	-0.00178201	-0.025585	93,49
3	0.0319286	-0.00280939	-0.0291189	91,20

Tabela 4: Resultados da separação do fluido de perfuração

Casos	Vazão de entrada de fluido de perfuração (Kg/s)	Vazão no overflow (Kg/s)	Vazão no underflow (Kg/s)	Eficiência (%)
1	1.90868	-0.598392	-1.31029	31,35
2	1.90676	-0.620877	-0.025585	32,56
3	1.90484	-0.641102	-1.26374	35,66

Nessas tabelas são observadas as eficiências de separação do hidrociclone, que é função da concentração de partículas presentes na corrente de entrada.

Conclusões

De acordo com o estudo, é possível observar que o hidrociclone estudado é capaz de separar com boa eficiência os cascalhos presentes no fluido de perfuração com granulometria de 0,25in e concentrações muito baixas, como as apresentadas.

Ao passo que aumenta a concentração de sólidos a eficiência de separação é reduzida.

Para obtenção de um volume maior de fluido de perfuração tratado, é necessário utilizar hidrociclones em série, a fim de separar os sólidos presentes nas correntes provenientes do underflow, cuja concentração de sólidos ainda é bastante alta.

Dado o exposto, o hidrociclone proposto é um equipamento eficiente no tratamento de fluidos de perfuração.

Agradecimentos

Agradeço ao Laboratório de Pesquisa e Simulação Numérica em Engenharia de Petróleo (SimPetro), Laboratório de Pesquisa em Fluidos de Perfuração (PefLab), à Petrobras (Petróleo Brasileiro SA) e à Universidade Federal de Campina Grande.

Referências Bibliográficas

ALVES, N. C. C. **Recuperação de fluido de perfuração não aquoso utilizando sistemas microemulsionados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Natal, RN. 2017.

BARBOSA, E. S. **Aspectos geométricos e hidrodinâmicos de um hidrociclone no processo de separação de sistemas multifásicos: aplicação à indústria do petróleo**. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Campina Grande, PB. 2011.

CRUZ, O. C. da; ZANINI, J. R. Eficiência de um hidrociclone de geometria "rietema" para pré-filtragem de água para irrigação. **Eng. Agríc.** vol.30 no.4 Jaboticabal July/Aug. 2010.

FONSECA, D. Q. M. da *et al.* Metodologia transiente para o transporte de cascalhos – um estudo de caso. **Boletim Técnico da Produção de Petróleo**. Rio de Janeiro, RJ. 2009.

NETO, A. G. **Estudo dos métodos de controle de poço**. Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo). Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2011)

PEREIRA, M. S. **Caracterização de cascalhos e lama de perfuração ao longo do processo de controle de sólidos em sondas de petróleo e gás**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Uberlândia, MG. 2010.

SILVA, D. de O. **Otimização da separação sólido líquido em hidrociclones mediante modificações geométricas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Uberlândia, MG. 2012

SVAROVSKY, L. **Solid-Liquid Separation**, 4rd Edn. Butterworths, London. 2000.

TARAZONA, V. M. C. **Escoamento de um líquido pseudoplástico em espaço anular com excentricidade variável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2005.