



XXVI CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica

ILHÉUS/ITABUNA - BAHIA



XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia
Mecânica, CREEM 2019 19 a 23 de agosto de 2019, Ilhéus, BA,
Brasil

ESTUDO DO MÉTODO HORIZONTAL DO FLUXO ANULAR CORE E EFEITOS DA VISCOSIDADE

Lucas Santos de Oliveira, lucassantosdeoliveira2020@gmail.com
Rafael Lemos Diniz, cathedral_rafa20@hotmail.com
José Ribamar Ribeiro Silva Júnior, professorjrribeiro@gmail.com
Israel da Conceição Rocha, israelr777@live.com

Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI, S/N - Tirirical, São Luís – MA

Resumo. *O presente trabalho traz um estudo sobre os efeitos da viscosidade do líquido no método do fluxo do núcleo do anel. Este é um regime de fluxo multifásico para dois líquidos imiscíveis em um tubo onde o líquido de alta viscosidade forma um núcleo e o outro líquido de baixa viscosidade forma um lubrificante de anel ao redor do núcleo e ao longo da parede. Este é um método muito eficiente para transportar petróleo. Outra vantagem abordada é sobre a importância do escoamento anular óleo-água (“core annular flow”) e a sua modelagem. O escoamento anular óleo-água é de relevância prática para o transporte de óleo pesado (óleo viscoso) para a indústria de petróleo, porque este é um método muito eficiente. A vantagem de combinar esses dois métodos é discutida neste artigo.*

Palavras chave: *Escoamento. Anular. Óleo-água. Fluido. Multifásico.*

Abstract: *The present work presents a study about the effects of liquid viscosity on the ring core flow method. This is a multiphase flow regime for two immiscible liquids in a tube where the high viscosity liquid forms a core and the other low viscosity liquid forms a ring lubricant around the core and along the wall. This is a very efficient method for transporting oil. Another advantage studied is this research is the importance of the core annular flow and its modeling. The central annular flow has practical relevance for transportation of heavy oil (viscous oil) in the petroleum industry because this is a very efficient method. The advantage of combining these two methods is discussed in this article.*

Keywords: *Flow. Annular. Oil-water. Fluid. Multiphase.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o transporte de óleo altamente viscoso lubrificado com água tornou-se econômico para a indústria do petróleo. Com esta técnica, a água envolve o núcleo do óleo localizado no centro para formar o núcleo do fluxo de óleo e água. Devido à sua imensa importância industrial, numerosos trabalhos foram conduzidos para investigar diferentes aspectos do fluxo de óleo-água usando métodos experimentais, numéricos e analíticos.

A técnica do fluxo anular central (CAF) é um método usado para transportar misturas bifásicas, com base na imiscibilidade e na diferença de viscosidade e densidade entre as soluções da mistura. Tal técnica consiste basicamente em formar um anel de fluxo de fluido menos viscoso que envolve um anel de fluxo de fluido mais viscoso. O método demonstrou eficiência na redução do atrito no tubo e no gasto de energia no bombeamento. O CAF é geralmente usado para transportar óleos viscosos tais como o petróleo e seus derivados, onde a água é usada para formação de anéis, o que envolve o fluxo de óleo.

Num cenário cada vez mais competitivo, a indústria do petróleo evoluiu rapidamente, criando a necessidade de desenvolver técnicas que permitam a especificação e projeto de sistemas de produção que sejam capazes de movimentar misturas multifásicas. Tais escoamentos ocorrem desde os reservatórios até as instalações de superfície, passando também pelos poços de produção (Muniz, 2005).

Os padrões de escoamento de sistemas óleo-água são classificados em dois grandes grupos, dependendo de qual fluido constituía fase contínua, aparecendo assim os padrões baseados em óleo (oil based) e os baseados em água (water based), onde as fases contínuas são o óleo e a água, respectivamente (Paladino, 2005).

Portanto este trabalho tem por objetivo analisar as formas de escoamento, a viscosidade do líquido no método do fluxo do núcleo do anel, além de discutir as vantagens de modelagem.

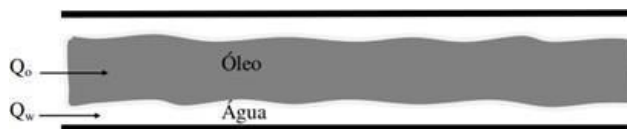
2. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de diversos trabalhos e artigos, onde foi constatada a importância do “core annular flow” para a indústria petrolífera. Logo, a pesquisa se deu de forma teórica através de livros, revistas, professores e materiais didáticos

relacionados ao tema em questão.

O fluxo de dois líquidos imiscíveis em tubos horizontais, em particular os sistemas óleo-água, pode apresentar diferentes configurações espaciais das fases. Dentre estas, destacamos o padrão de escoamento do óleo viscoso assistido com água por seu grande interesse prático, especialmente na indústria de petróleo. Quando o óleo forma um núcleo contínuo no centro do tubo rodeado por um fino anel de água, ele possui um padrão anular líquido-líquido conhecido como fluxo-núcleo ou fluxo núcleo-anular (CAF), como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1. Esquema de um segmento de linha operando no modo fluxo-núcleo e as forças de superfície atuando no Volume de controle (Brauner, 1991)

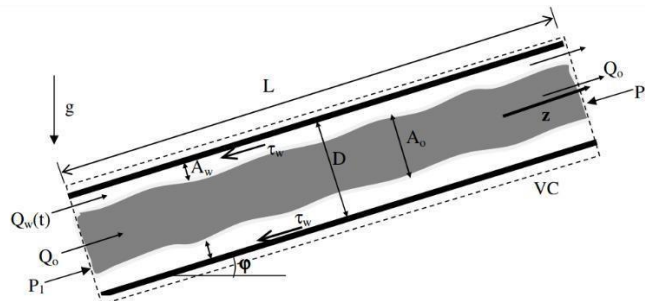


Esta norma oferece a possibilidade de transportar hidraulicamente um óleo altamente viscoso em vazões relativamente altas com baixa queda de pressão, graças à grande redução de atrito proporcionada pela injeção lateral de um pequeno fluxo de água que flui próximo à parede do tubo. Em dutos horizontais, o fluxo do núcleo pode ser prejudicado pela ação desestabilizadora da força de empuxo, que tende a causar estratificação de fase. Se um fluxo de água excessivo é injetado na tentativa de evitar essa estratificação, o núcleo de óleo contínuo pode ser rompido e o fluxo se torna intermitente. Portanto, existe um fluxo de água mínimo que pode impedir que o óleo encoste no topo da parede do tubo. O grande interesse no fluxo do núcleo é principalmente devido à redução da perda de carga por fricção no fluxo de óleo. Dessa forma, numerosos estudos teóricos e experimentais foram realizados observando a variação da perda de carga para diferentes vazões de óleo e água.

2.1 Modelagem

A figura mostra a configuração do padrão core-flow em um pipe genérico e as principais variáveis do problema.

Figura 2. O esquema de dois fluidos proposto por (Brauner, 1991)



Onde Q_w e Q_o são os fluxos volumétricos de água e óleo, A_w e A_o , as áreas transversais ocupadas por água e óleo, respectivamente, L o comprimento do trecho da linha, D o diâmetro do tubo, z a direção do fluxo, g a força gravitacional, e o ângulo ϕ é a inclinação do eixo de simetria do tubo em relação à horizontal. O volume de controle (VC) é delimitado pela superfície pontilhada. A pressão P_1 e $P_2 (= P_1 + dP)$ referem-se respectivamente à pressão na entrada e na saída do VC, τ_w na tensão de cisalhamento na interface e na parede do tubo.

As hipóteses iniciais adotadas nessa modelagem são as seguintes:

1. Fluxos Incompressíveis;
2. fases perfeitamente imiscíveis;
3. Fluxo no padrão de anel (núcleo-fluxo);
4. Nenhuma transferência de calor ou massa ou mudança de fase;
5. Óleo infinitamente mais viscoso que a água ($\mu_o / \mu_w = 5.000$);
6. Sem efeitos de tensão interfacial ($P_o = P_w = P$).

No CAF, a flutuação induzida pela diferença de densidade faz com que o núcleo se torne excêntrico. Portanto, é importante selecionar um parâmetro adimensional que seja responsável pela força gravitacional. Ingen Housz [28] sugeriu uma definição modificada do número de Froude através da Eq. 1:

$$Fr = \sqrt{\frac{U^2}{gL}} \sqrt{\frac{\rho_0 u_{mv}^2}{(\rho_w - \rho_0)gD}} \quad (1)$$

Onde ρ é uma densidade, D é o diâmetro, U é uma mistura de velocidade que é uma soma das velocidades superficiais de óleo e água. Os subscritos o e w representam as fases do petróleo e da água, respectivamente. O número de Froude é importante porque representa o equilíbrio entre uma força de inércia descendente do núcleo móvel e uma força gravitacional responsável pelo fenômeno da levitação. Para o número de Reynolds no anel de água do PCAF, use a relação:

2.2 fluxo anular perfeito

O Fluxo do Anel Nuclear Perfeito é definido como o caso em que o óleo forma um concêntrico perfeito. núcleo cilíndrico dentro do anel de água. Experimentalmente, esse fluxo é muito difícil de obter. Usando as equações 2, 3 e 4 que são de Navier-Stokes, Li e Renardy derivaram as velocidades adimensionais no núcleo e no anel:

$$core : V(r) = 1 - \left(\frac{mr^2 k}{A} \right) \quad (2)$$

$$Annulus : V(r) = (a^2 - r^2 - 2(K - 1) \ln\left(\frac{r}{a}\right))A \quad (3)$$

$V(r)$ foi tornado adimensional dividindo o perfil de velocidade pela velocidade da linha central $V(0)$. O coeficiente A é dado por:

$$A = mK + a^2 - 1 + 2(K - 1) \ln(a) \quad (4)$$

Para o CAF, a gravidade age perpendicularmente ao gradiente de pressão. Assim, o termo, K , é igual a 1. O campo de velocidade pode ser reformulado como a Eq. (5):

$$core : V(r) = 1 - \left(\frac{mr^2}{m + a^2 - 1} \right) \quad (5)$$

$$Annulus : V(r) = (a^2 - r^2) \setminus (m + a^2 - 1) \quad (6)$$

3. RESULTADOS

As condições experimentais estudadas e utilizadas obtiveram parâmetros importantes para o estudo do método do fluxo anular central, são estas:

Tabela 1. Condições e parâmetros (Brauner, 1991)

ε_w	Oil flow rate (Q_o)	Water flow rate (Q_w)	Mixture velocity (U_{mv})
12,5%	0.36 l/s	0.052 l/s	1.2m l/s
17,5%	0.36 l/s	0.076 l/s	1.26 l/s

A imagem mostra o experimento realizado no qual as propriedades físicas do óleo foram estudadas, analisando a viscosidade, assim como a velocidade da mistura e o fluxo de óleo e água. Beerens realizou simulações de fluxo horizontal com o solucionador interFoam. Suas simulações foram baseadas nos experimentos de Bai et al. No entanto, Beerens assumiu o tubo para ser horizontal em vez de vertical. Ele relatou que a levitação do núcleo foi equilibrada por uma força descendente causada por uma pressão positiva que se desenvolve entre as ondas, o anel superior e a parede. (Ooms et al) estudaram as forças de levitação no HCAF para proporções de densidade pequenas e altas taxas de viscosidade. Eles mostraram que a viscosidade e as forças inerciais são importantes. Suas simulações foram para baixos fluxos de Re. Ingen Housz realizou simulações numéricas baseadas em algumas de suas experiências. Ele primeiro realizou simulações de fluxo laminar para misturar velocidades de 1,18 m / s. Os perfis de velocidade mostraram um pico não físico na interface para o anel inferior. Ele argumentou que esse erro poderia ser atribuído a uma transição para a turbulência. Simulações como modelo de turbulência de Launder Sharma não mostraram este pico. As simulações também previram uma considerável quantidade

de turbulência se desenvolvendo na água. À medida que o núcleo é levantado para cima, a turbulência no anel superior diminui, enquanto no anel inferior ele aumenta. No geral, houve uma discrepância de cerca de 22% na velocidade da mistura, em comparação com os experimentos. Além disso, quando comparando diferentes modelos de turbulência, ele descobriu que o modelo SST-k apresentou melhor concordância com os experimentos.

3.1 Fluxo turbulento no anel

Como as simulações numéricas de Ingen Housz [28] previam a turbulência, estávamos interessados em ver se a turbulência também poderia ser observada nos experimentos. Portanto, injetamos uma solução de corante ecoline preto no fluxo no anel inferior. Com base na idéia de Reynolds, que injetou um filamento de tinta fina no fluxo, uma dispersão errática do corante indicaria turbulência, enquanto um filamento não perturbado significa que o fluxo é laminar.

3.2 Modelagem matemática

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k U) = \nabla \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right) + 2\mu_t S_{ij} S_{ij} - \rho \varepsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} \nabla \cdot (\rho \varepsilon U) = \nabla \left(\frac{\mu + \mu_t}{\sigma_k} \nabla \varepsilon \right) + C_{1\varepsilon} f_1 \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t S_{ij} S_{ij} - C_{2\varepsilon} f_{2\rho} \frac{\varepsilon^2}{k} + E \quad (8)$$

$$f_\mu = e^{-\frac{2.4}{(1+Re+50)^2}} \quad f_1 = 1 \quad f_2 = 1 - 0.3e^{(-RE_T)^2}$$

$$\varepsilon_0 = 2\nu \left(\frac{\partial \sqrt{K}}{\partial Y} \right) \quad E = 2\nu v_t \left(\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right)^2 \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44$$

$$C_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad C_\mu = 0.99 \quad \sigma_k = 1 \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado um estudo sobre a influência da viscosidade do líquido no núcleo sobre as características do fluxo anular central em tubos verticais e horizontais. Esses recursos incluem queda de pressão, formas de onda interfaciais. O fluxo anular central é de relevância prática para o transporte de óleo pesado (óleo viscoso) para a indústria de petróleo, porque este é um método muito eficiente. Em particular, este método de lubrificação com água é mais eficiente, logo os estudos se deram no core annular perfeito e no anel central.

5. AGRADECIMENTO

As considerações e os agradecimentos são em primeiro lugar dirigidos a Deus, fonte de vida e amor, que ainda nos mantém. Em seguida, para as nossas famílias para apoio em todas as áreas e ocasiões. E, para a Universidade Estadual do Maranhão, que nos proporciona conhecimento de várias formas e possibilita estudos, trabalhos e pesquisas como esses.

6. REFERENCIAS

- Al-wahaibi, T.; Al-wahaibi, Y.; Al-ajmi, A.; Al-hajri, R.; Yusuf, N.; Olawale, A. S.; Mohammed I. A. Experimental investigation on flow patterns and pressure gradient through two pipe diameters in horizontal oil–water flows. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. v.122, p. 266–273, 2014.
- Al-yaari, M. A E Sharkh, A. B. F. CFD Prediction of Stratified Oil-Water Flow in a Horizontal Pipe. *Asian Transactions on Engineering*. v. 1, p. 2221-4267, 2011.
- Andrade, T. H. F.de. Estudo Numérico do Transporte de Óleos Pesados em Tubos Lubrificadas por Água. Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2008.
- Angeli, P. e Hewitt, G. F. Flow structure in horizontal oil-water flow. *International Journal of Multiphase Flow*. 26, p. 1117-1140,2000
- Brauner, N. Two-phase Liquid-Liquid Annular Flow. *International Journal of Multiphase Flow*, 1991, Vol.17,n.1,p.59-76.
- Muniz, A. R.; Argimiro, R. S.; Nilo, S. M. C. Uma Nova Metodologia para a Simulação de Escoamentos de Fluidos Viscoelásticos, Relatório técnico, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2005).
- Paladino, E., E. Estudo do Escoamento Multifásico em Medidores de Vazão do tipo Pressão Diferencial. Tese (Doutorado

em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, (2008).

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores Lucas Santos de Oliveira, Rafael Lemos Diniz, José Ribamar Ribeiro Silva Júnior e Israel da Conceição Rocha são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.