

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



TÍTULO DO TRABALHO:

ESCOAMENTO, NÃO-ISOTÉRMICO E TRANSIENTE, DE ÓLEO PESADO E ÁGUA EM DUTO VERTICAL COM VAZAMENTO

AUTORES:

Lorena Monteiro Cavalcanti Barbosa, Antonio Gilson Barbosa de Lima, Severino Rodrigues de Farias Neto

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Campina Grande

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. 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 6ºPDPETRO.

ESCOAMENTO, NÃO-ISOTÉRMICO E TRANSIENTE, DE ÓLEO PESADO E ÁGUA, EM DUTO VERTICAL COM VAZAMENTO

Abstract

An adequate monitoring system should be able to detect leaks and spills in oil facilities, enabling immediate action to reduce the socio-economic and environmental consequences of such accidents and contributing significantly to the operational safety. The leak detection through the use of commercial software based on the pressure wave from the existence of leakage has had little success due to the difficulty in determining the flow characteristics inside the duct at each instant of time, generating large number of false alarms. So, this objective of this research is to study the patterns of multiphase flow with or without the presence of leaks in duct via CFD (Computational Fluid Dynamics) in order to detect leak and to estimate the characteristic parameters of fluid flow during the transient flow in real time.

Keywords: Leakage monitoring system, CFD, Oil–water Multiphase Flow

Introdução

Um dos mais graves problemas ambientais associados ao petróleo é a questão dos derramamentos de óleo. Dependendo da extensão do derramamento, este pode ocasionar graves impactos ambientais na fauna e flora local, além de implicações negativas sobre o turismo, economia local, etc (REDDY *et. al*, 2010; SILVA *et. al*, 2005). Segundo o PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration) citado pela Asel-tech (2011), acidentes em dutos e derivados podem ser definidos como eventos inesperados que afetam direta ou indiretamente a segurança, a empresa e a saúde da população envolvida, causando impactos ao meio-ambiente gerando altos custos de operação. Segundo Baghdadi citado por Santos (2010) existem dois tipos de vazamentos: de pequenas proporções e por ruptura. O primeiro ocorre quando a quantidade de fluido vazado é inferior a 5 litros por hora; são vazamentos extremamente perigosos, visto a dificuldade de detecção, assim grandes perdas podem acontecer até serem detectados. Estes tipos de vazamento podem ocorrer por corrosão, trincas, falhas em soldas, juntas, etc. Já o segundo é mais fácil de ser detectado devido à grande quantidade de perda de fluido, ocasionando grande impacto ambiental e perdas econômicas. Essas rupturas são de fácil localização devido às elevadas quedas de pressão e diferenças volumétricas (ABHULIMEN *et. al*, 2003).

Pode-se detectar um vazamento por três métodos: métodos diretos, indiretos e por observação. Os métodos diretos consistem na utilização de diferentes dispositivos para detecção e localização do vazamento, por exemplo, sensores acústicos, detectores de gases, pressão negativa entre outros (BEZERRA, 2008). O método indireto, o computador é utilizado como ferramenta auxiliar na detecção de vazamento. Este geralmente trabalha em conjunto com os sensores visando detectar qualquer falha. Sistemas como o SCADA (Sistemas de Detecção de Vazamentos com Controle Supervisório de Aquisição de Dados) estão sendo utilizados para realizar a detecção através de dados de fluxos, pressão, temperatura, etc. (CAMERINI, 2004). Para os métodos indiretos podem-se citar

métodos de detecção por mudança de fluxo e pressão, balanço de massa e volume, entre outros (SANTOS, 2009).

Mesmo com a evolução das técnicas de detecção de vazamentos, muitos alarmes falsos são detectados devido ao ruído de dutos resultantes de: efeitos dinâmicos do fluxo ou da dificuldade em determinar as características do fluxo no interior do duto em cada instante de tempo, como por exemplo, a monitoração das ondas de pressão. Com base na temática apresentada este trabalho tem como objetivo apresentar a modelagem e simulação do escoamento não-isotérmico, tridimensional e bifásico (óleo pesado e água) em dutos verticais com e sem vazamento, utilizando o software ANSYS CFX 11.0, e apresentar o comportamento termo-hidrodinâmico do escoamento antes e após o vazamento.

Metodologia

Descrição do Modelo

O problema físico analisado neste trabalho consiste num duto de 7 metros, com diâmetro de 12,5 cm, e um furo localizado no meio da tubulação (3,5 metros do início da tubulação). Este furo possui 6 mm de diâmetro. A geometria do duto e furo estão apresentadas na figura 1.

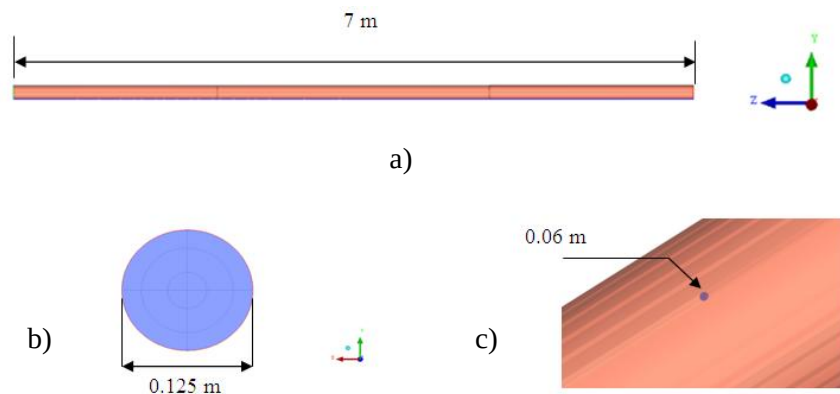


Figura 1 – a) Oleoduto com vazamento, (b) Visão frontal da entrada do duto; (c)- Detalhes do oleoduto com vazamento

Modelagem Matemática

O modelo matemático usado para descrever o escoamento multifásico em oleodutos é fundamentado pelas equações básicas da mecânica dos fluidos e transferência de energia, ou seja, as equações da conservação da massa, do movimento e da energia.

✓ Equação da continuidade

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha) + \nabla \cdot (r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha) = \sum_{\beta=1}^{N_p} \Gamma_{\alpha\beta} + S_{MS\alpha} \quad (1)$$

Onde: a fração volumétrica da fase α é representada por r_α , ρ_α é densidade do material e $\vec{U}$ é o vetor velocidade real, ρ a massa específica, Γ é o fluxo mássico por unidade de volume, S_{MS} representa possíveis fontes de massa.

O subscrito α e β representam a fase contínua ou a dispersa, $\alpha\beta$ ou $\beta\alpha$ representa a interação entre as fases α e β junto à interface, N_p é o número total de fases no escoamento multifásico.

✓ Equação da quantidade de movimento

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha) + \nabla \cdot [r_\alpha (\rho_\alpha \vec{U}_\alpha \otimes \vec{U}_\alpha)] - r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla \cdot \{r_\alpha \mu_\alpha [\nabla \vec{U}_\alpha + (\nabla \vec{U}_\alpha)^T]\} = S_{M\alpha} + M_\alpha \quad (2)$$

onde $S_{M\alpha}$ descreve as forças de momento devido às forças de corpo externas e M_α descreve as forças interfaciais agindo na fase α devido a presença de outras fases.

O modelo matemático utilizado foi o modelo não-homogêneo, com uma abordagem euleriana-euleriana, ou seja, as fases são contínuas e interpenetráveis, onde a fração volumétrica é a variável que quantifica a fase.

✓ A equação da energia para um escoamento multifásico tem a forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(r_\alpha \rho_\alpha h_\alpha) + \nabla \cdot [r_\alpha (\rho_\alpha \vec{U}_\alpha h_\alpha - \lambda_\alpha \nabla T_\alpha)] = \sum_{\beta=1}^{N_p} (\Gamma_{\alpha\beta}^+ h_{\beta s} - \Gamma_{\beta\alpha}^+ h_{\alpha s}) + Q_\alpha + S_\alpha \quad (3)$$

Onde: $h_\alpha, \lambda_\alpha, T_\alpha$, descreve a entalpia estática, condutividade e temperatura da fase α , respectivamente, S_α descreve a fonte de calor externa, Q_α descreve a transferência de calor para a fase α através das interfaces com outras fases, $(\Gamma_{\alpha\beta}^+ h_{\beta s} - \Gamma_{\beta\alpha}^+ h_{\alpha s})$ representa a transferência de calor induzida pela transferência de massa.

As considerações feitas para o escoamento bifásico (água e óleo) foram: escoamento não-isotérmico, sem transferência de massa entre fases, transiente, tridimensional, incompressível, propriedades termo-físicas constantes e presença de força de corpo.

Devido as velocidades dos fluidos presentes, o escoamento é turbulento. Neste caso, os efeitos turbulentos são calculados utilizando o modelo de duas equações, em específico o modelo RNG k- ϵ , que é um modelo semelhante ao k- ϵ , porém a equação da taxa de dissipação viscosa turbulenta é modificada para calcular os efeitos turbulentos em várias escalas de comprimento. Detalhes de todas as formulações matemáticas podem ser obtidas no manual do software Ansys CFX 11.0.

Condições de Contorno e Dados da Simulação

Para que o CFX resolva as equações que descrevem o fenômeno estudado, é necessário implantar condições de contornos a fim de complementar o modelo matemático. A tabela 1 apresenta as condições utilizadas. A tabela 2 apresenta as propriedades dos fluidos utilizados, na simulação.

Tabela 1 – Condições de contorno utilizadas na simulação - dados de entrada

Entrada no duto	$u_w = 1.0 \text{ m/s}$, $u_o = 0.1 \text{ m/s}$ $T_o = T_w = 80^\circ\text{C}$
Saída do duto	P = 1 atm
Seção de vazamento do duto	P = 1 atm
Parede do duto	T = 30°C
Fração volumétrica	$f_w = 0.25$ $f_o = 0.75$

Tabela 2 - Propriedades físicas das fases usadas na simulação

Propriedade	Valor	Fonte
ρ_a (kg/m ³)	1000	Incropera e DeWitt (2002)
μ_a (N.s/m ²)	$1,0 \times 10^{-5}$	Incropera e DeWitt (2002)
$(Cp)_a$ (J/kgK)	4181,7	Incropera e DeWitt (2002)
k_a (W/mK)	0,6069	Incropera e DeWitt (2002)
ρ_o (kg/m ³)	951	Incropera e DeWitt (2002)
μ_o (N.s/m ²)	0,5	Incropera e DeWitt (2002)
$(Cp)_o$ (J/kgK)	1800	Incropera e DeWitt (2002)
k_o (W/mK)	0,147	Incropera e DeWitt (2002)

Malha numérica

A geometria do problema e a malha numérica foram geradas utilizando o software ANSYS ICEM[®]. O duto possui uma entrada e uma saída, e um vazamento localizado a 3,5 metros da entrada. A malha numérica possui 300.000 elementos hexaédricos.

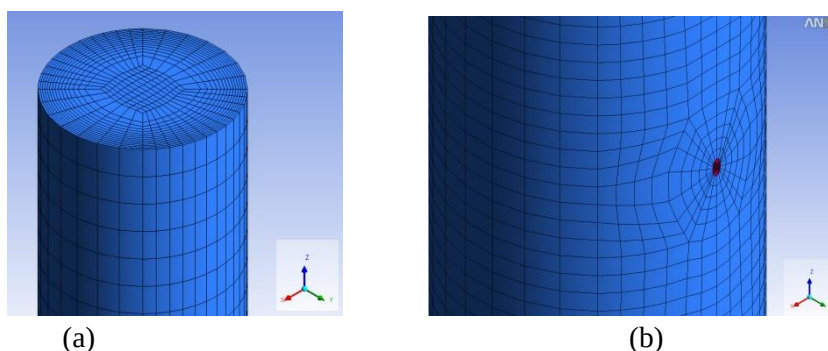


Figura 2: Malha numérica utilizada nas simulações (a) saída do duto e, (b) Detalhe do vazamento.

Resultados e Discussão

As simulações tem como objetivo analisar o comportamento hidrodinâmico do escoamento bifásico, não-isotérmico do fluido antes e após o vazamento. Esse dados serão apresentados nas figuras 3 a 5 e na tabela 3.

A figura 3 apresenta o comportamento, da queda de pressão total, no decorrer da tubulação de 7 metros. Para um duto com e sem vazamento. O vazamento é representado no ponto P. Observou-se que nesta região ocorreu um pico de pressão, a pressão aumenta de 104,712 kPa, para 105,041 kPa. Esse valor é compreensível visto que a pressão total é a soma da pressão estática com a dinâmica. As curvas de contorno da pressão total são apresentadas na figura 4, nelas observam-se claramente o aumento da pressão total que o vazamento ocasiona.

Na figura 5 observa-se as linhas de correntes para a água (fig. 5(a)). Para o óleo (fig. 5(b)). Percebe-se claramente que parte do fluido desloca-se para a superfície vazante e outra parte continua a escoar pela tubulação. Observa-se que a velocidade de saída da água é muito maior a do óleo, devido a alta viscosidade do óleo.

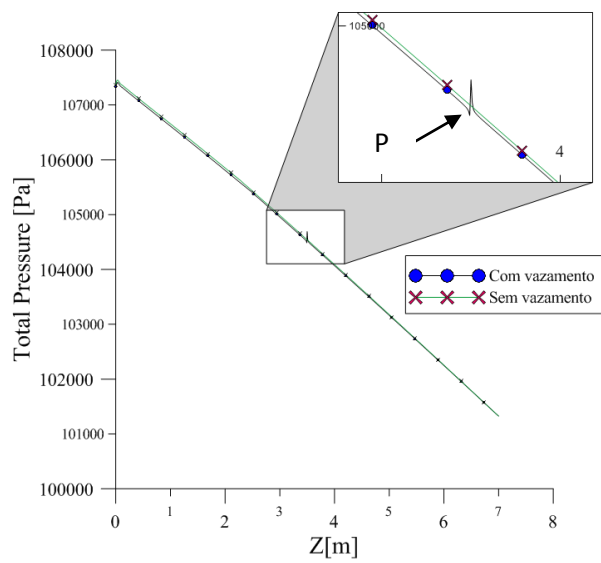


Figura 3. Gráfico altura vs Pressão total

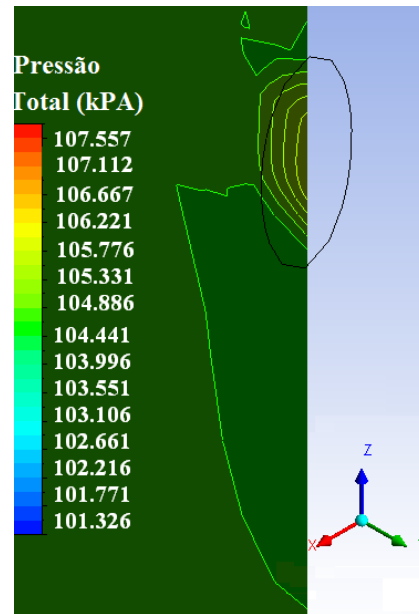
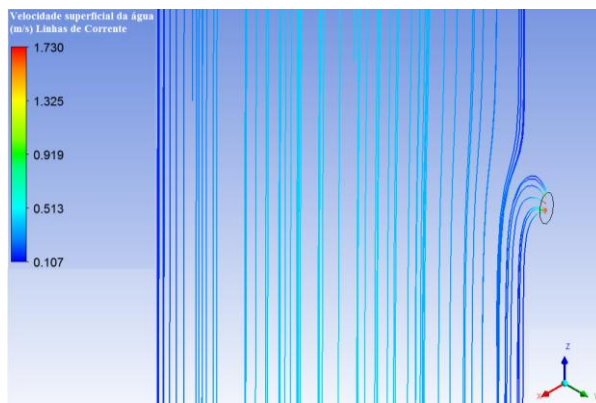
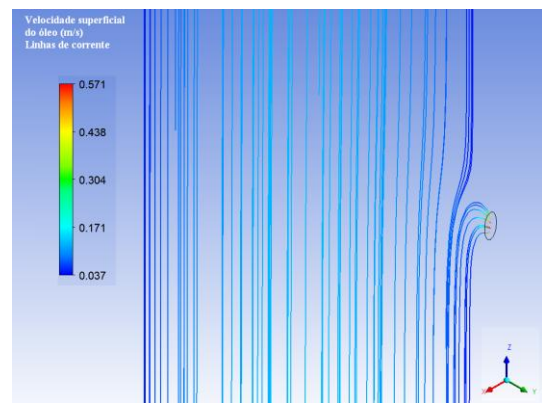


Figura 4. Curvas de contornos da pressão total

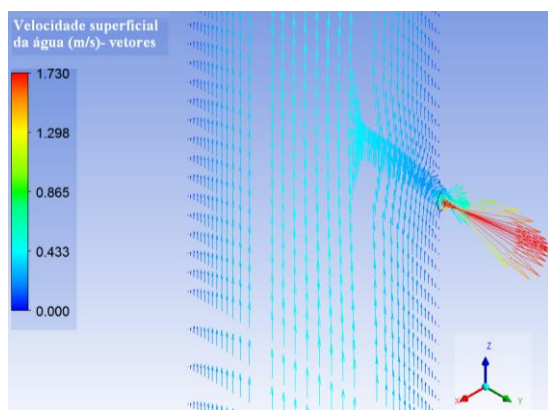


(a)

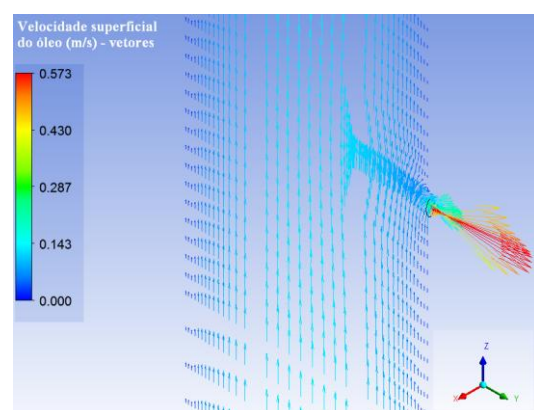


(b)

Figura 5. As linhas de corrente para a velocidade superficial do fluido - a) água e b) óleo.



(a)



(b)

Figura 6. Velocidade superficial do fluido, nas formas de vetores - a) água e b) óleo

Na figura 6 observa-se o comportamento dos vetores de velocidade para a água (fig. 6(a)), para o óleo (fig. 6(b)), os vetores apresentam comportamento similares, embora as velocidades sejam bem diferentes.

Na tabela 3 é apresentado uma comparação entre os valores médios de pressão estática, pressão dinâmica, velocidade superficial do óleo e água, e temperatura dos fluidos medidos na superfície de vazamento, superfície pré-vazamento para $z = 2$ m e superfície pós vazamento para $z = 5$ m, quando a tubulação apresenta ou não vazamento:

Tabela 3 – Valores médios dos parametros termo-hidrodinâmicos na superfície que contém vazamento

Parâmetro	Superfície de Vazamento		Superfície Pré-Vazamento ($z = 2$ m)		Superfície Pós-Vazamento ($z = 5$ m)	
	Sem vazamento	Com vazamento	Sem vazamento	Com vazamento	Sem vazamento	Com vazamento
Pressão total média [kPa]	104,712	105,041	105,849	105,879	103,266	103,249
Pressão estática média [kPa]	104,712	103,472	105,922	105,806	103,178	103,163
Velocidade superficial da água [m/s]	0,0029089	1,27796	0,28284	0,282759	0,308889	0,304662
Velocidade superficial do óleo[m/s]	0,00234315	0,431319	75,187	75,186	70,403	70,215
Temperatura da água [°C]	72,601	73,341	0,0850985	0,0850799	0,0930631	0,0917122
Temperatura da óleo [°C]	68,825	73,572	75,923	75,924	70,823	70,641

Conclusões

Após a realização das simulações do escoamento do duto com e sem vazamento, concluí-se que:

- O vazamento altera levemente os campos de pressão estática e dinâmica. Esta variação é muito pequena. Portanto pode dificultar a detecção do vazamento pelos sensores, pelas condições operacionais estabelecida nesta pesquisa.
- O vazamento acarreta grandes variações na velocidade do fluido. Embora a velocidade da água seja quase três vezes maior do que a do óleo.
- A temperatura do fluido no duto com o vazamento também sofre alteração. Verifica-se que ambas as fases varia pouco. A temperatura do óleo na região do furo é mais elevada do que a da água.

Agradecimentos

Agradecimentos a ANP/UFCG/PRH-25, a CAPES, ao CNPq, a FINEP, a JBR ENGENHARIA LTDA, ao CTPETRO, a PETROBRÁS e ao CT BRASIL por todo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

ABHULIMEN Kingsley. E., SUSU Alfred. A. **Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation**. Chemical Engineering Journal; vol. 97, n.2004. p. 47–67, 2003.

ASEL-TECH, disponível em: <http://www.asel-tech.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=146&32f13eff2784af8bf89c3f7f9cfff24=83732c92baf30399daad87055b5c5bb5> . Acesso em 15/02/2011

BEZERRA, Bruno Alexander Felix. **Deteção de Vazamentos em Tubulações de Gás pelo Método de Transitório de Pressão Utilizando CLP e Sensores**. 2008. 77 f. Monografia. (Graduação) Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências - curso de Especialização em Engenharia de Instrumentação.

CAMERINI, Daniel Almeida. **Desenvolvimento de Pigs Instrumentados para Deteção e Localização de Pequenos Vazamentos em Dutos**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

REDDY, H. Prashanth; NARASIMHAN Shankar; BHALLAMUDI S. Murty; BAIRAGI S. **Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part-I:Theory and simulations**. Computers and Chemical Engineering, vol. 35, p. 651–661, Out. 2010.

SANTOS, Josué da Silva Teixeira. **Estudo Experimental e Numérico da Parafinação em Escoamento de Hidrocarbonetos em Dutos Produtores**. 2009. 136 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica.

SANTOS, Michelly Martuchele. **Simulação Numérica do Escoamento Bifásico Óleo-Água em Tubos**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

SILVA, Henrique. V.; MOROOKA, Celso. K.; GUILHERME, Ivan. R.; FONSECA, Tiago C.; MENDES, José R.P. **Leak detection in petroleum pipelines using a fuzzy system**. Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 49,p. 223– 238, Mai. 2005.