

ANÁLISE DA TÉCNICA DE TRATAMENTO DE IMAGENS PARA A OBTENÇÃO DO TAMANHO MÉDIO DAS BOLHAS DE TAYLOR EM UM APARATO DE ESCOAMENTO BIFÁSICO VERTICAL

Marcelo de Oliveira e Silva, mos@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Kaique Matheus Castro Cabral, kaique.castrocabral@yahoo.com.br

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Diego Lourenço da Costa Felipe, diego_felipe95@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Juliana Ferreira Pereira, juliana.cbl@hotmail.com

Universidade Federal do Maranhão, Av. dos Portugueses, 1966 - Bacanga, São Luís - MA, 65080-805

RESUMO: Quantificações de escoamentos bifásicos são muito comuns em aplicações industriais, especialmente nas áreas de petróleo e gás. Este artigo descreve uma nova técnica que calcula os parâmetros de bolhas (por exemplo, dimensão e velocidade) através da análise do tratamento de imagens de escoamentos em tubos verticais. Os dados experimentais foram obtidos a partir de uma seção de teste onde os escoamentos do tipo slug foram gerados sob condições controladas.

PALAVRAS-CHAVE: escoamento slug, escoamento bifásico, análise de imagem

ABSTRACT: *Two-phase flow measurements are very common in industrial applications especially in oil and gas areas. This article describes a new technique that estimates bubble parameters (e.g. dimension and velocity) through analysis of image processing flows in the vertical tubes. Experimental data were obtained from a flow test section where slug flows were generated under controlled conditions.*

KEYWORDS: *slug flow, two-phase flow, imaging analysis*

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria petrolífera no Brasil está diretamente ligado à exploração em águas profundas. Entre os inúmeros fenômenos que devem ser considerados na elaboração de projetos de grande complexidade destacam-se aqueles relacionados à dinâmica das linhas de fluxo verticais e ao escoamento de fluidos (Pessanha, 2014).

O escoamento multifásico é definido como sendo dois ou mais fluidos com propriedades diferentes e imiscíveis, fluindo simultaneamente em uma tubulação. A definição de fase não é relativa ao estado da matéria (sólido, líquido, gasoso), mas sim ao número de interfaces presentes num escoamento multifásico. Tradicionalmente quando nos referimos ao escoamento óleo, água e gás, chamamos de fluxo multifásico. Quando essas fases escoam simultaneamente dentro de uma tubulação, onde os fluidos possuam propriedades físicas diferentes, existe uma grande abundância de possibilidades de padrões ou regimes de escoamento, ou seja, há uma distribuição espacial das fases na mistura. Nesse momento, o regime de escoamento é definido através da distribuição de uma fase em relação à outra. Para a determinação do padrão de escoamento deve-se analisar vários parâmetros físicos, dentre eles a tensão superficial e a gravidade (Silva, 2006).

Quando uma mistura de gás-líquido escoar em movimento ascendente em um tubo vertical, cada fase

se distribui radialmente e axialmente de maneiras diferentes refletindo diferentes padrões de fluxo de acordo com a velocidade de cada fase, propriedades dos fluidos e geometria da tubulação (Souza, 2010). O escoamento gás-líquido pode ocorrer em colunas verticais, horizontais ou inclinadas. Não obstante as muitas situações práticas em que pode ser encontrado, o escoamento em colunas inclinadas tem sido muito menos estudado, em comparação com o escoamento em colunas verticais e horizontais (GARCIA, 2005).

METODOLOGIA

Aparato experimental

Um aparato experimental foi desenvolvido para permitir a análise adequada do escoamento, onde uma mistura bifásica (ar - água) é escoada em um duto vertical de acrílico cujo diâmetro interno equivale a 22,4 cm, com seção de teste inferior equivalente a 50 cm de altura a partir da injeção de gás e com seção de testes superior equivalente a 175 cm a partir da injeção de gás. As taxas volumétricas de escoamento de cada fase são pré-definidas de acordo com o mapa de padrão de escoamento do aparato experimental. Tais taxas volumétricas de escoamento utilizadas no experimento podem ser verificadas na Tab. 1.

Tabela 1. Vazões de gás e líquido utilizadas no experimento

Vazão de gás (m ³ /s)	Vazão de líquido (m ³ /s)
3,012*10 ⁻⁵	8,33*10 ⁻⁵

$4,98 \cdot 10^{-5}$	$1,67 \cdot 10^{-4}$
	$2,5 \cdot 10^{-4}$

O aparato é constituído de um sistema fechado, onde uma bomba d'água de 1Hp escoa o líquido pelo sistema. No início da seção de teste deacrílico, ar é injetado com uma superfície porosa proveniente de um compressor de ar. O modelo esquemático do aparato experimental pode ser visualizado na Fig. (1).

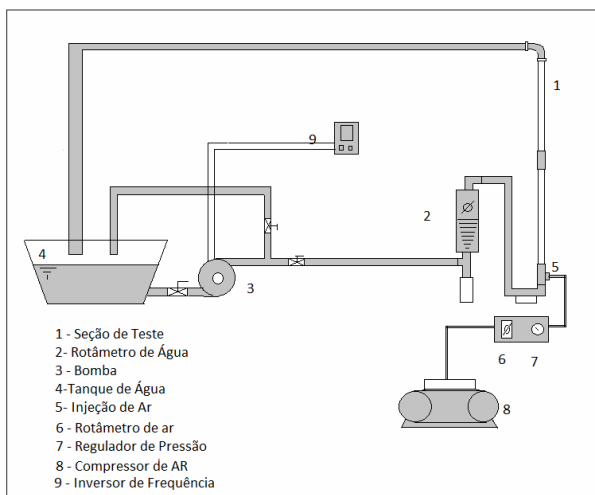


Figura 1. Modelo esquemático do aparato experimental

Softwares utilizados

Foi necessário a utilização de meios computacionais em conjunto com a técnica de tratamento de imagens para a devida quantificação dos tamanhos das bolhas de Taylor em escoamento. “Image Pro Plus” é o nome do software utilizado no presente experimento. Neste software é necessária uma calibração inicial onde é utilizada uma régua milimetrada para que se saiba a distância exata entre dois pontos, como pode ser visualizado na Fig. (2).



Figura 2. Calibração do software “Image Pro Plus”

Após a sua devida calibração, o software pode ser utilizado para a medição do tamanho aproximado de cada bolha em determinado escoamento, como pode ser visualizado na Fig. (3).

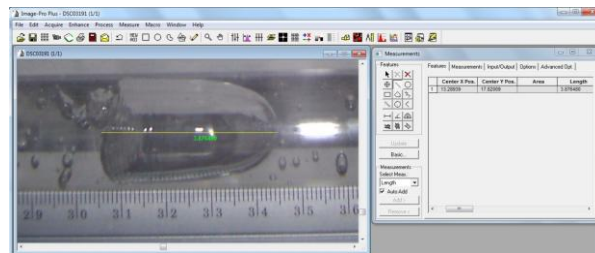


Figura 3. Utilização do software na medição das bolhas

Procedimento experimental

Para medição dos tamanhos médios das bolhas de Taylor, utilizou-se a técnica de tratamento de imagens, onde uma câmera digital foi utilizada e foi registrada uma amostra de imagens para diferentes combinações de taxas volumétricas de escoamento tanto na seção de testes superior quanto na seção de testes inferior. Na região de registro de imagens no tubo deacrílico, é posicionada uma escala milimetrada de referência, com o intuito de auxiliar nas medições dos tamanhos das bolhas como pode ser visualizado na Fig. (4).

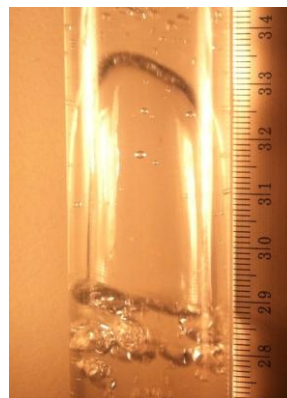


Figura 4. Escala utilizada como parâmetro de quantificação do tamanho das bolhas

Nesta técnica, são obtidas amostras de imagens de no mínimo 20 fotos, para cada combinação de taxas volumétricas de escoamento em ambas as seções de testes. As imagens são tratadas com o auxílio do software mencionado anteriormente para que se possa obter a quantificação dos tamanhos das bolhas em cada imagem, calculando, por fim, o tamanho médio das bolhas em determinada altura (seção de teste) e em determinada razão de escoamento (combinação de taxa volumétrica de escoamento). O processo é repetido até que a quantidade de imagens tratadas em cada razão de escoamento em ambas as seções de testes esteja de acordo com a quantidade estabelecida para cada amostra de imagens.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os tratamentos das imagens obtidas a partir das seções de testes inferior e superior, pôde-se calcular, a partir de uma média aritmética, o tamanho médio das

bolhas de Taylor. Os resultados numéricos obtidos na seção inferior estão expostos na Tab. 2.

Tabela 2. Tamanhos médios das bolhas na seção de testes inferior

Vazão de gás (m ³ /s)	Vazão de líquido (m ³ /s)	Tamanho médio (cm)	Erro da medição (cm)
3,012*10 ⁻⁵	8,33*10 ⁻⁵	29,6	2,17
3,012*10 ⁻⁵	1,67*10 ⁻⁴	9,14	0,76
3,012*10 ⁻⁵	2,5*10 ⁻⁴	8,91	0,57
4,98*10 ⁻⁵	8,33*10 ⁻⁵	54,4	16,3
4,98*10 ⁻⁵	1,67*10 ⁻⁴	28,6	3,62
4,98*10 ⁻⁵	2,5*10 ⁻⁴	11,2	2,10

Os resultados numéricos obtidos na seção superior estão expostos na Tab. 3.

Tabela 3. Tamanhos médios das bolhas na seção de testes superior

Vazão de gás (m ³ /s)	Vazão de líquido (m ³ /s)	Tamanho médio (cm)	Erro da medição (cm)
3,012*10 ⁻⁵	8,33*10 ⁻⁵	54,8	10,2
3,012*10 ⁻⁵	1,67*10 ⁻⁴	27,6	6,25
3,012*10 ⁻⁵	2,5*10 ⁻⁴	21,3	2,98
4,98*10 ⁻⁵	8,33*10 ⁻⁵	67,6	10,2
4,98*10 ⁻⁵	1,67*10 ⁻⁴	46,3	6,25
4,98*10 ⁻⁵	2,5*10 ⁻⁴	32,6	2,98

A análise dos tamanhos médios das bolhas em razões de escoamentos iguais e seções de testes diferentes, mostra claramente que as bolhas coalescem de acordo com a altura, isto se deve a recirculação do escoamento na traseira de cada bolha de Taylor. Esta região, também chamada de esteira, cria uma região de baixa pressão onde as bolhas subsequentes alcançam as que estão a frente, resultando no coalescimento das mesmas e um inevitável aumento no tamanho da bolha. Tal diferença de tamanho médio de acordo com a seção de teste pode ser verificado no gráfico exibido na Fig. (5), onde verifica-se as variações quando a taxa volumétrica de escoamento de gás equivale a 3,012*10⁻⁵ m³/s.

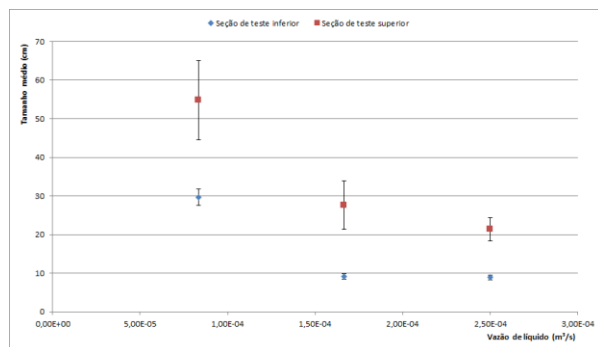


Figura 5. Gráfico contendo as diferenças de tamanhos médios quando a vazão de gás equivale a 3,012*10⁻⁵ m³/s

A diferença de tamanho médio de acordo com a seção de teste também pode ser verificada no gráfico exibido na Fig. (6), onde verifica-se as variações quando a taxa volumétrica de escoamento de gás equivale a 4,98*10⁻⁵ m³/s.

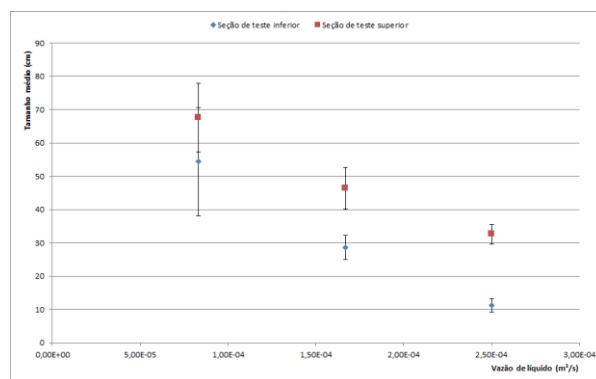


Figura 6. Gráfico contendo as diferenças de tamanhos médios quando a vazão de gás equivale a 4,98*10⁻⁵ m³/s

Tais gráficos exibem claramente a diferença de tamanho médio medida nas diferentes seções de testes.

CONCLUSÃO

A técnica de tratamento de imagens constitui-se de uma técnica fundamentalmente empírica, uma vez que os dados são obtidos unicamente de forma experimental, além do auxílio computacional. Tal técnica reduz consideravelmente a taxa erro nas medições, considerando um escoamento bifásico e com razões de escoamentos relativamente baixas. A partir de tal técnica pode-se observar a repetição de valores para razões de escoamento baixas, fato que justifica a taxa de erro baixa nas medições. Logo, a técnica mostrou ser eficaz para o registro dos valores médios de tamanhos de bolhas de Taylor em escoamentos bifásicos.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento ao Programa de Educação Tutorial (PET) e ao Grupo de Energia, Biomassa e Meio Ambiente (EBMA).

REFERÊNCIAS

- Garcia, V. V. R., 2005, "Escoamento gás-líquido em condutas verticais e inclinadas", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Pessanha, V. G., 2014, "Estudo de Vibração Induzida por Escoamento Interno em um Sistema Pipeline-

Riser”, Projeto de Graduação em Engenharia do
Petróleo; Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Silva, E. S., 2006, “Estudo do Escoamento Bifásico em
Risers em Movimento na Produção Marítima de
Petróleo em Águas Profundas”, Dissertação de
Mestrado em Engenharia de Petróleo; Universidade
Estadual de Campinas.

SOUZA, J. N. M., 2010, "Modelagem e simulação de
escoamento multifásico em dutos de produção de
óleo e gás natural", Tese de Doutorado, Escola de
Química/UFRJ, Rio de Janeiro.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo presente
trabalho.