



## Processamento de imagem para cálculo da fração de líquido do padrão de escoamento ST&MI

### Image processing to calculate the liquid fraction of the ST&MI flow pattern

Tamiris Duque Silva<sup>1</sup>, Fábio Kenji Suguimoto<sup>2</sup>

#### RESUMO

O estudo do escoamento bifásico líquido-líquido em configurações horizontais possui menor abordagem de análise quando comparado com o escoamento vertical, assim, investiga-se os padrões de escoamentos e seus arranjos geométricos para o mesmo. Esse escoamento ocorre quando duas fases fluem simultaneamente em um plano horizontal, podendo ser diferentes ou iguais em composição, a interação entre as fases, influenciada por densidade, temperatura e entre outros, gera os padrões de escoamento na tubulação. Dessa forma, a análise de imagens digitais do escoamento de água-querosene foi comparada com resultados experimentais anteriores por meio de um algoritmo desenvolvido em Matlab, apresentando bons resultados, com registro de erro abaixo de 10% na determinação do padrão Estratificado com mistura de interface, o qual foi atribuído à falta de uniformidade do líquido na tubulação. Assim, pode-se verificar a contribuição do estudo para o desenvolvimento do processamento de imagem para contribuir com o entendimento do comportamento em configurações horizontais, auxiliando na otimização industrial.

**PALAVRAS-CHAVE:** escoamento; imagem; processamento.

#### ABSTRACT

The study of liquid-liquid two-phase flow in horizontal configurations has received less analytical attention compared to vertical flow. Consequently, the focus lies in scrutinizing flow patterns and their geometrical arrangements within this context. This type of flow arises when two phases concurrently move in a horizontal plane, potentially with disparate compositional properties. The interaction between these phases, influenced by factors such as density, and temperature, among others, gives rise to distinctive flow patterns within the conduit. To this end, digital imagery of water-kerosene flow was juxtaposed against prior experimental outcomes utilizing a Matlab-developed algorithm, yielding commendable results. Notably, the error margin in identifying the Stratified flow pattern with interfacial mixing remained below 10%, a discrepancy attributed to non-uniformity in the liquid distribution within the conduit. Consequently, this investigation underscores its contribution to image processing advancement, thereby enhancing comprehension of behaviors within horizontal configurations and consequentially aiding industrial optimization efforts.

**KEYWORDS:** flow; image; processing.

## INTRODUÇÃO

A análise do escoamento bifásico líquido-líquido em configurações horizontais trata-se do movimento simultâneo de duas fases em um plano horizontal, com interações naturais ou induzidas pelas propriedades das fases e condições da tubulação, fatores como atrito, deslizamento, inclinação, molhabilidade e diâmetro da tubulação influenciam o comportamento do escoamento.

Dentro do contexto do escoamento bifásico horizontal líquido-líquido, padrões distintos têm sido observados em estudos conduzidos por Suguimoto (2016). Entre esses padrões estão dispersão de óleo em água (Do/w&w), estratificado com mistura na interface

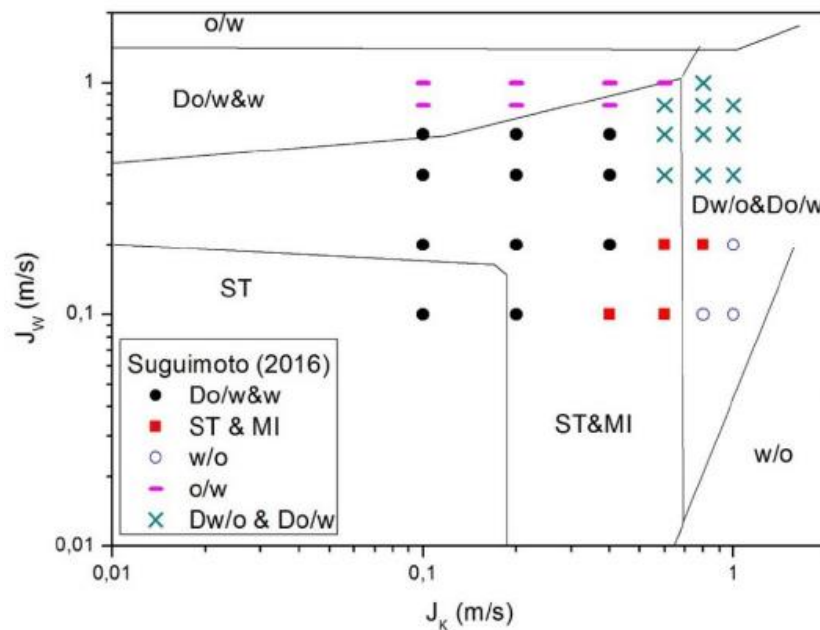
<sup>1</sup> Bolsista do Programa de Iniciação Científica (PIBIC). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: tamirisduque@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 8248138183182351.

<sup>2</sup> Docente no Departamento de Engenharia mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: fksuguimoto@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8270074009363056.



(ST&MI), emulsão de água em óleo (w/o), emulsão de óleo em água (o/w), dispersão de água em óleo e dispersão de óleo em água (Dw/o&Do/w). Cada um reflete a distribuição das fases ao longo da tubulação horizontal, oferecendo informações sobre o comportamento do escoamento e as características das fases envolvidas. A Figura 1, apresenta os dados obtidos por Suguimoto (2016).

Figura 1 – Padrões de escoamento água querosene em uma tubulação de 1 pol. Horizontal segundo Suguimoto (2016) e Trallero (1997)



Fonte: SUGUIMOTO, Fabio. Análise experimental do escoamento líquido-líquido. 2016. Dissertação de doutorado (Doutorado em engenharia mecânica no campo de termodinâmica e fluidos) Universidade Estadual de Campinas, [S. l.], 2016

Conhecendo o padrão de escoamento de um sistema pode – se obter informações sobre parâmetros como a sua transferência de calor, perda de carga, velocidade, deslizamento entre as fases, gradiente de pressão do escoamento e por consequência, sobre sua estabilidade, parâmetros esses atrelados ao valor da fração de volume dos fluidos na tubulação..

Considerando que, em fluxos de duas fases contidas em espaços delimitados, como tubulações, cada porção do espaço é preenchida pelas diferentes fases do fluxo, e essa porção volumétrica de cada constituinte representa uma fração percentual do total do tubo, a qual pode variar de 0 a 1. Portanto, a equação para calcular a fração média de volume ( $\alpha$ ) numa determinada seção da tubulação é a seguinte:

$$\alpha_n = \frac{V_n}{AL} \quad (1)$$

Onde  $V_n$  é o volume do fluido/fase  $n$ ,  $A$  é área de seção de escoamento,  $L$  é o comprimento total da tubulação e o subscrito  $n$  é a identificação da fase ou fluido. No entanto, medições precisas do volume da tubulação podem ser difíceis devido ao



comprimento total e à falta de uniformidade do fluxo. Por isso, é comum escolher um comprimento  $\delta L$  da tubulação, onde o volume é analisado durante um intervalo de tempo  $t$ .

Emescoamento horizontal bifásico, categorias podem ser abordadas: gás-líquido e líquido-líquido. Assim, para tal categoria, tem-se estudos como em Amaral *et al.* (2013) com a importância do estudo de escoamentos bifásicos em tubos horizontais, uma vez que a maioria dos estudos foca em análises verticais. Amaral *et al.* (2013) desenvolveu um método para detectar bolhas de Taylor usando análise de vídeo de alta velocidade e processamento de imagens. Dinaryanto *et al.* (2015) investigaram o padrão de escoamento "slug" e sua influência em aplicações industriais, usando técnicas como sensores *wire mesh* e câmeras de alta velocidade.

Shi (2013) capturou escoamentos gás-líquido em tubos horizontais transparentes e usou processamento de imagem para comparar padrões conhecidos na literatura. Suguimoto (2016) estudou o escoamento líquido-líquido vertical, horizontal e em curva, com foco em querosene-água, determinando padrões de comportamento e correlacionando parâmetros com teorias já existentes para cada tipo de escoamento.

Parte dos estudos na área se concentram em escoamentos gás-líquido verticais, devido maior simetria na tubulação. Nesse cenário, este trabalho apresenta um algoritmo usando processamento de imagens digitais no MATLAB para calcular a fração de líquido de querosene na tubulação horizontal.

## METODOLOGIA

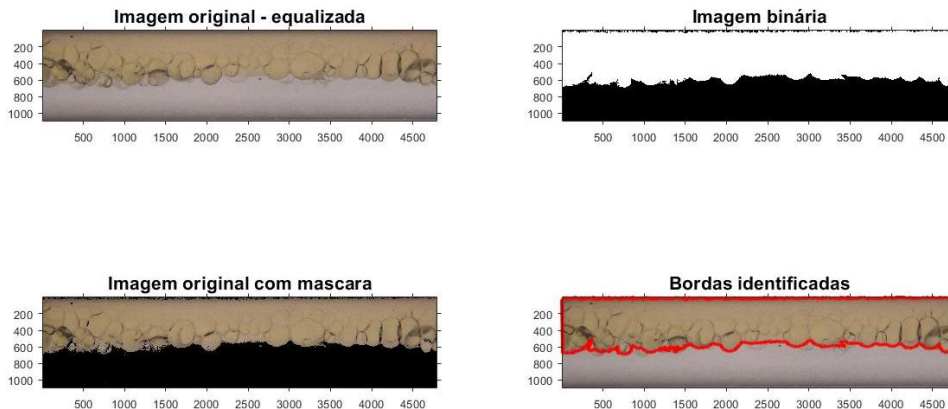
Para calcular a fração de vazio a partir de uma imagem, utilizou-se software "Matlab" para processamento e tratamento de imagem. As imagens utilizadas foram provenientes de Suguimoto (2016), capturou-se imagens de um cilindro horizontal, com 0,026 m de diâmetro com água e querosene em diferentes vazões. Para analisar o escoamento horizontal, foram tiradas fotografias com câmeras de alta velocidade e câmeras digitais.

O algoritmo desenvolvido inicialmente lê a imagem como uma matriz 2d, linhas, colunas e cores, aplicando em seguida uma máscara desenvolvida com o auxílio da função "ColorThrehold", com a correção do histograma da imagem, permitindo por fim, a binarização da mesma.

A partir desse resultado a imagem é copiada a quantidade de vezes referente ao diâmetro da tubulação, formando assim uma matriz 3d em formato de paralelepípedo, a qual a partir de uma máscara circular é retirada de cada camada da matriz, um círculo de diâmetro correspondente ao do tubo utilizado, resultando em uma matriz 3D em formato de paralelepípedo com bordas pretas nas regiões fora da região de escoamento.

Logo, são somados os pixels, correspondentes a cada camada, obtendo – se os valores de pixels brancos (1) e pretos (0), entretanto, devido a máscara circular há bordas pretas excedentes da seção transversal em análise, dessa forma, para o cálculo real dos pixels pretos, faz – se uma correção, subtraindo o valor de pixels pretos encontrados no exterior do círculo na máscara circular, a Figura 2 apresenta o tratamento de imagem realizado para binarização do escoamento.

**Figura 2 – Imagem original cortada, imagem com aplicação da máscara desenvolvida com o aplicativo ColorThrehold, binarização da imagem com preenchimento das discontinuidades e destaque das bordas finais identificadas**



Fonte: Autoria própria, (2022).

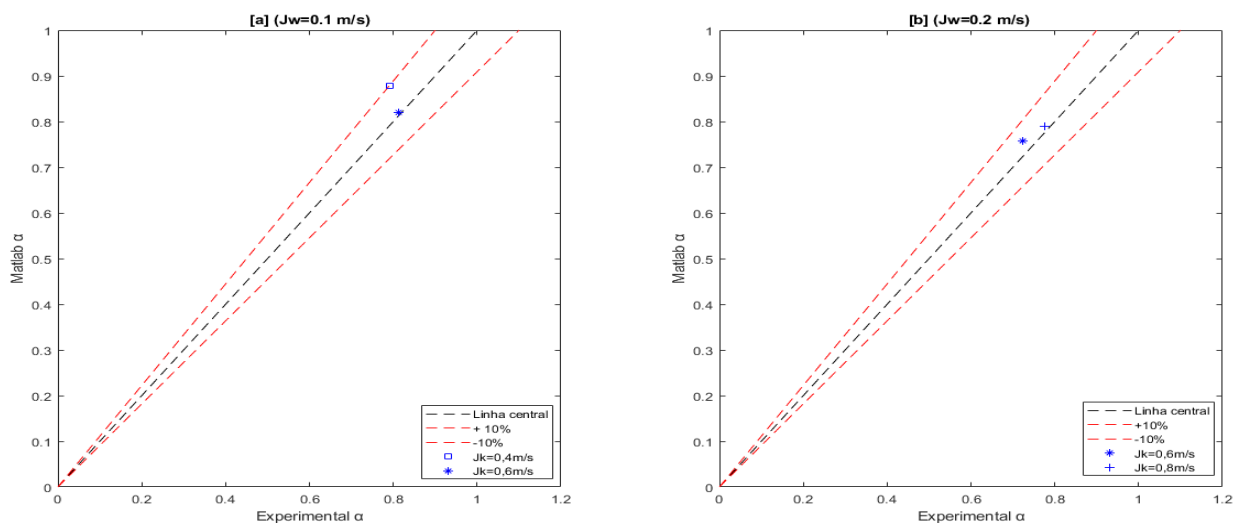
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Contando com imagens digitais do escoamento água – querosene a diferentes vazões, pode – se realizar um comparativo com os resultados experimentais obtidos por Suguimoto (2016), para o padrão ST&MI.

Foram analisados 4 casos para variadas combinações de velocidade de água e querosene:  $J_w = 0,1$  m/s e  $J_k = 0,4$  m/s;  $J_w = 0,1$  m/s e  $J_k = 0,6$  m/s;  $J_w = 0,2$  m/s e  $J_k = 0,6$  m/s;  $J_w = 0,2$  m/s e  $J_k = 0,8$  m/s.

A Figura 3 mostra a comparação das frações de querosene obtidas pelo processamento de imagem e as obtidas no trabalho experimental de Suguimoto (2016) para os casos mencionados acima. Observa-se na Figura 3 a proximidade dos valores de fração de querosene, onde o erro estão todos dentro da faixa de 10%. O maior erro para o padrão de escoamento ocorreu com 9,99% de diferença para o caso de  $J_w = 0,1$  m/s e  $J_k = 0,4$  m/s.

Figura 3 - Comparativo entre as frações de líquido para diferentes velocidades de escoamento de água e querosene.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Figura 4 – Imagem para as velocidades  $J_w=0,1\text{m/s}$  e  $J_k=0,4\text{m/s}$  e sua respectiva binarização.



Fonte: Autoria própria, (2023).

Analisando-se a imagem binarizada do caso de maior erro (Figura 4), verifica-se que o perfil de escoamento foi bem identificado pelo algoritmo, assim, o erro pode ser atribuído à quantidade de água que está entranhada no querosene ou ao próprio erro dos resultados experimentais obtidos por Suguimoto (2016).

## CONCLUSÕES

Desse modo, é possível concluir que o algoritmo desenvolvido apresenta boa similaridade com os resultados experimentais encontrados, com exceção para casos que o escoamento no interior do tubo não apresenta similaridade com a distribuição atribuída pela fotografia do mesmo, a fim de obter melhorias de resultado, pode-se buscar atrelar e relacionar resultados de fotografias do mesmo escoamento de outros ângulos, como por exemplo, frontal a seção transversal da tubulação, ou utilizar ferramentas experimentais para obter dados adicionais.

## Agradecimentos

Agradeço ao Professor Fábio Suguimoto pela orientação e pelo apoio da UTFPR-CP por disponibilizar os recursos para a pesquisa.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Carlos EF et al. Image processing techniques for high-speed videometry in horizontal two-phase slug flow. **Flow Measurement and Instrumentation**, v. 33, p. 257-264, 2013.

DINARYANTO, Okto et al. Image processing analysis on the air-water slug two-phase flow in a horizontal pipe. **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing, 2016.

SHI, Lilian. IDENTIFICATION OF GAS- LIQUID TWO-PHASE FLOW REGIMES USING VAGUE SETS AND IMAGE PROCESSING. **Journal of Flow Visualization and Image Processing**, v. 20, n. 3, 2013.

**XIII Seminário de Extensão e Inovação**  
**XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão  
20 a 23 de novembro de 2023 - *Campus Ponta Grossa, PR*



**SEI-SICITE**  
*2023*



SUGUIMOTO, Fabio. Análise experimental do escoamento líquido-líquido. 2016. Dissertação de doutorado (Doutorado em engenharia mecânica no campo de termodinâmica e fluidos) **Universidade Estadual de Campinas**, [S. l.], 2016.