

# CARACTERIZAÇÃO DO FILME LÍQUIDO EM ESCOAMENTO ANULAR HORIZONTAL BIFÁSICO AR-ÁGUA EMPREGANDO TÉCNICAS ÓPTICAS

**Aluno: Bruno Dreux**

**Orientador: Luiz Fernando Alzuguir Azevedo**

## Introdução

Nas últimas décadas, foram realizados diversos estudos sobre escoamento bifásico líquido-gás em regime anular, o que é indicativo da relevância e complexidade deste padrão de escoamento. Este tipo de escoamento está presente em diversas atividades industriais, como por exemplo, em reatores nucleares, evaporadores, condensadores e em dutos de processos químicos. Uma das principais questões ainda não resolvidas sobre escoamento bifásico horizontal em regime anular está relacionada ao mecanismo físico responsável pela formação da fina camada de líquido na parte superior interna do tubo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma técnica de visualização longitudinal para caracterização do escoamento bifásico horizontal ar-água em regime anular que fornecesse também informações quantitativas sobre o filme de líquido na parte inferior do tubo.

## Metodologia

A técnica PLIF – *Planar Laser Induced Fluorescence* – foi selecionada para a visualização. Trata-se de uma técnica que utiliza a iluminação do escoamento por um plano de laser monocromático, e baseia-se no princípio de fluorescência [4]. É utilizada uma substância, Rhodamina B, que ao ser iluminada pela luz verde do laser, fluoresce emitindo luz em um comprimento de onda superior. Para evitar a presença de luz verde refletida na interface água-ar, que gera problemas de visualização, é necessária a utilização de um filtro óptico passa alta. Foi usada uma câmera digital de alta velocidade posicionada perpendicularmente à seção de testes. O arranjo óptico montado é ilustrado na Fig. 1.

Para cada par de vazões ar-água, foram capturadas 13100 imagens com resolução de 512x512 pixels, com frequências de aquisição de 250 Hz e 3000 Hz. Para reduzir distorções ópticas geradas por diferentes índices de refração, foi usado um tubo de FEP (*Fluorinated Ethylene Propylene*), um material com um índice de refração muito próximo ao da água [1]. O escoamento se desenvolveu ao longo de um tubo de 4 m de comprimento e 15,8 mm de diâmetro.

Para calcular corretamente a espessura de filme, foi realizada uma calibração, introduzindo um calibrador de geometria conhecida no tubo. As imagens capturadas foram processadas automaticamente usando algoritmos desenvolvidos em MATLAB®. A cada imagem foi aplicada uma equalização de histograma, com o objetivo de aumentar o contraste, seguida por uma binarização. Após esses procedimentos, a espessura de filme foi extraída, em duas posições axiais pré-determinadas.

Na Fig. 2, há um exemplo de uma imagem original, seguida por suas correspondentes imagens, equalizada e binarizada, além da posição da interface ar-água, calculada pelo programa, em toda a imagem, superposta à imagem original.

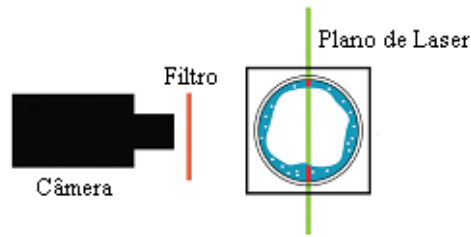


Figura 1: Visão esquemática do arranjo óptico montado

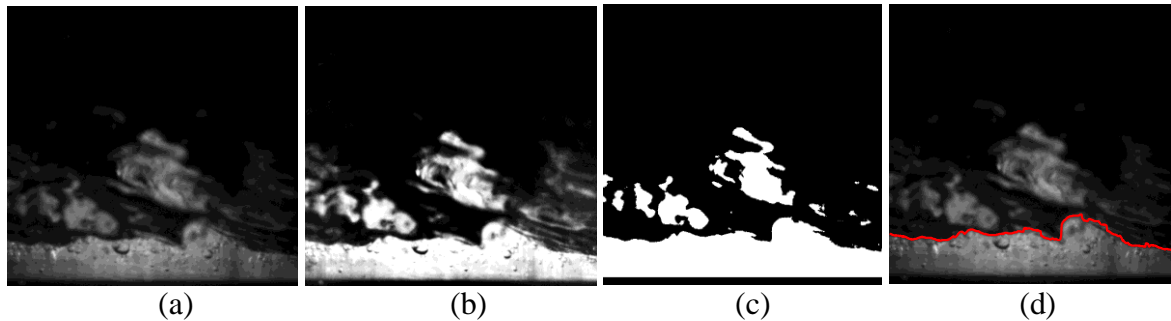


Figura 2: (a) Imagem original. (b) Imagem equalizada. (c) Imagem binarizada. (d) Interface ar-água calculada superposta à imagem original

## Resultados

Resultados do filme líquido inferior foram coletados para diferentes vazões de líquido e gás, todas dentro do padrão de escoamento anular. O espectro de energia das ondas foi obtido através da análise individual do sinal da espessura do filme, utilizando a Transformada de Fourier. A velocidade de onda foi calculada a partir da correlação cruzada entre os sinais de espessura de filme extraído das duas sondas axiais. Foi observada uma tendência de redução da espessura de filme líquido com o aumento da velocidade superficial de gás e uma dependência fraca da velocidade superficial de líquido. Esta tendência nos resultados foi observada por outros autores [2,3].

## Conclusões

Os resultados obtidos permitiram a correlação entre a frequência e velocidade das ondas com parâmetros globais do escoamento. Além disso, estes são coerentes com outros resultados presentes na literatura, validando a técnica desenvolvida.

## Referências

- 1 - Hewitt, G. F., Jayanti, S. & Hope, C. B. Structure of thin Liquid films in Gas-Liquid Horizontal Flow. **Int.J.Multiphase Flow**, Vol. 16, 1990.
- 2 - Jayanti, S., Hewitt, G. F. & White, S. P. Time-Dependent Behaviour of The Liquid Film in Horizontal Annular Flow. **Int. J. Multiphase Flow**, Vol. 16, 1990.
- 3 - Paras, S. V. & Karabelas, A. J. Properties of the liquid layer in horizontal annular flow. **Int. J. Multiphase Flow**, Vol. 17, 1991.
- 4 - Rodríguez, D. J. & Shedd, T. A. Cross-sectional imaging of the film in horizontal two-phase annular flow. **ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference**, Charlotte, North Carolina, USA. July, 2004.