

PROCEDIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA INTERFACE LÍQUIDO-VAPOR EM ESCOAMENTOS SEGUNDO O PADRÃO ESTRATIFICADO ONDULADO

Ana Luiza Guerreschi Kohlmann

Tiago Augusto Moreira

Gherhardt Ribatski

Universidade de São Paulo / Escola de Engenharia de São Carlos

luiza.ana.gk@usp.br

Objetivos

Escoamentos bifásicos com e sem mudança de fase apresentam, de acordo com as condições operacionais, geometrias características denominadas de padrões de escoamentos. Entre eles, destaca-se o estratificado ondulado, verificado em tubos horizontais com diâmetro superior a 3mm e condições de operação de sistemas de refrigeração e condicionamento de ar. Este padrão se caracteriza pela segregação das fases devido a efeitos gravitacionais, com o líquido escoando na região inferior e o vapor na região superior do duto, com a interface líquido/vapor apresentando ondulações, cujas características são relevantes para a transferência de calor, perda de pressão e na transição para outros padrões. Desta forma, métodos mecanicistas para prever tais parâmetros, incorporam, geralmente, correlações que caracterizam a estrutura destas ondulações. Neste contexto, o presente trabalho trata da descrição de um procedimento para caracterizar a interface líquido/vapor durante o escoamento estratificado ondulado.

Métodos e Procedimentos

O método de caracterização foi desenvolvido em MATLAB (2015), a partir de imagens do escoamento bifásico levantadas para condições de condensação dos fluidos R134a, R600a, R290 e R1270 durante o doutorado de Moreira (2021) para um duto com diâmetro interno de 9,43 mm e externo de 12,89 mm. As

imagens foram obtidas a partir de uma câmera de alta velocidade (Phantom v2012) com frequência de aquisição de 25000 imagens/s e resolução de 1280x720 pixels. Assim, tem-se conjuntos de imagens sequenciais do escoamento, segregadas de acordo com o fluido e condições de fluxo de calor, título de vapor e velocidade mássica. Os grupos de imagens estão organizados em pastas de arquivos e o acesso até a primeira delas está descrito no código principal. As demais pastas estão dentro dessa e são lidas automaticamente por laços de repetição presentes no programa. Durante o processo de análise, a primeira imagem de cada grupo serve como referência para as demais. Assim, nessa imagem são marcados manualmente os limites radiais externos da tubulação. A medida dessas extremidades é empregada como base para os cortes das imagens e para a conversão de pixel para mm. Como o valor do diâmetro externo é fixo e conhecido, aplica-se uma razão de proporcionalidade linear. As imagens são manipuladas com filtros digitais visando melhorar a nitidez. Elas também são binarizadas com o objetivo de eliminar efeitos associados a diferenças de luminosidade, potencializando as maiores estruturas e ignorando ruídos. Sobre a binarização são implementadas operações morfológicas visando remover imperfeições. O procedimento empregado pelo código para a detecção da interface encontra-se ilustrado no fluxograma da figura 1.

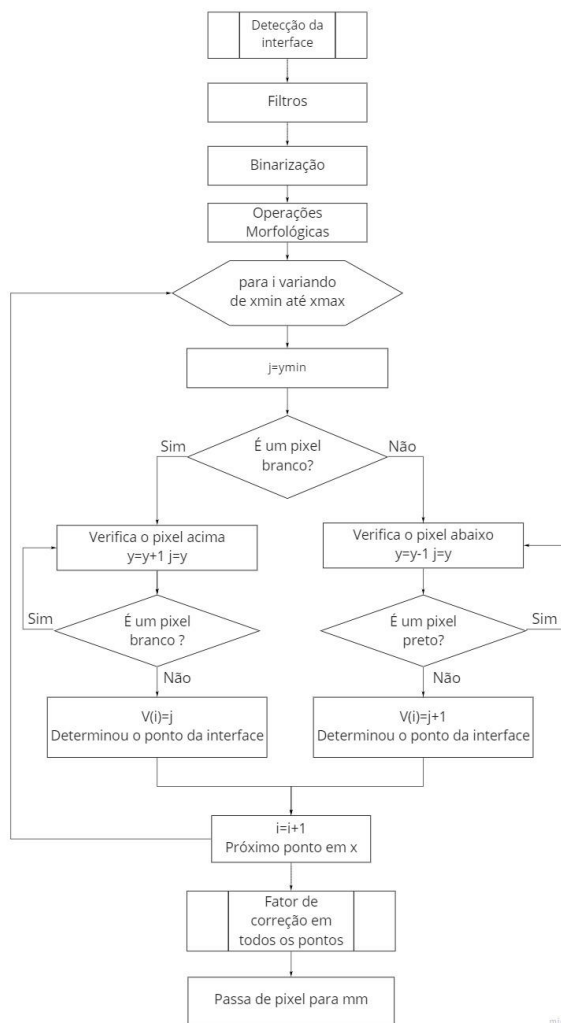


Figura 1: Fluxograma do código de detecção da interface.

O procedimento compõe-se de uma série de laços de repetição responsáveis por percorrer a imagem na região de interesse, que é selecionada manualmente na primeira imagem de cada grupo, servindo para as demais. Sendo x a coordenada horizontal e y a coordenada vertical, a leitura inicia em X_{min} e Y_{min} – extremidade inferior esquerda da região de interesse – e termina em X_{max} . O pixel inicial é branco e a leitura deve ascender em y . O processo continua até que se detecte um pixel preto e, assim, a interface se define como a transição ascendente de pixel branco para preto, como se pode verificar na figura 2. Ao encontrar o pixel da interface armazena-se o resultado e a leitura vai para o próximo pixel em x . Se ele for preto – interface descendo – a

leitura deve descender em y até encontrar um ponto branco. Caso esse próximo pixel seja branco – interface subindo – o processo ascendente ocorre outra vez. Ademais, com o objetivo de reparar efeitos de refração e circularidade do tubo, em cada pixel é aplicado um fator de correção. Esse fator é uma relação que foi determinada a partir de uma imagem da seção de visualização, contendo em seu interior uma escala milimetrada, posicionada no plano central da tubulação. A partir dessa imagem base foram feitas medições e comparações com os valores reais da escala, obtendo, então, a relação entre a medida real e a capturada pela câmera.

Resultados

Um exemplo de resultado da aplicação do método encontra-se ilustrado na figura 2, na qual a interface líquido-vapor identificada pelo programa é ressaltada por uma linha vermelha.

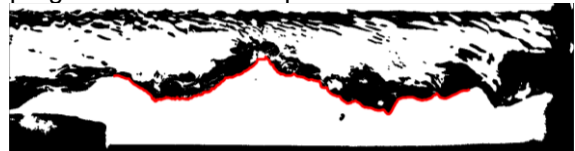


Figura 2: Interface detectada pelo programa.

Conclusões

O método foi desenvolvido, apresentou resultados satisfatórios e será aplicado na análise dos grupos de imagens. A partir da detecção das interfaces serão levantados dados para a amplitude, frequência e velocidade das ondulações.

Referências Bibliográficas

MOREIRA, T. A TWO-PHASE FLOW CONSTRUCTIVE PARAMETERS CHARACTERIZATION, AND HEAT TRANSFER PERFORMANCE OF HYDROCARBONS AND THEIR MIXTURES DURING CONDENSATION. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2021

The Math Works, Inc. MATLAB. Versão 2015.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelas bolsas de estudo sob os números de contrato 2016/16849-3 e 2021/03634-7.