

1

Introdução

Escoamentos bifásicos de líquido e gás através de tubulações são frequentemente encontrados na indústria. Este tipo de escoamento ocorre, por exemplo, nas áreas de processamento químico, de geração de energia, de produção de petróleo e de refrigeração. O conhecimento das propriedades relacionadas aos escoamentos bifásicos é fundamental para o projeto e correta operação das tubulações e equipamentos envolvidos na movimentação dos fluidos.

Os arranjos geométricos das interfaces entre os fluidos no escoamento gás-líquido apresentam diferentes configurações quando as duas fases escoam juntas dentro de uma mesma tubulação. Estas configurações dependem das condições de operação (vazão, pressão, temperatura), da geometria da tubulação (dimensão, inclinação) e das propriedades dos fluidos (densidade, viscosidade e tensão interfacial). A combinação destas características determina o regime de escoamento.

Os padrões de escoamento bifásico em dutos horizontais tendem a ser ainda mais complexos devido à assimetria causada pela ação da gravidade. Os padrões de escoamento bifásico observados em tubulações horizontais (Taitel & Dukler, 1976) são apresentados na Figura 1.1 e descritos brevemente a seguir.

- Padrão de Bolhas:

Para vazões muito altas de líquido, a fase gasosa é distribuída na forma de bolhas discretas no interior de uma fase líquida contínua, com a tendência de aglomerarem-se na parte superior da tubulação devido aos efeitos gravitacionais. As fases movem-se com a mesma velocidade e o escoamento é considerado homogêneo sem escorregamento.

- Padrão Estratificado:

Este padrão de escoamento acontece para velocidades superficiais de gás e líquido relativamente baixas. As duas fases são separadas devido à ação da gravidade, com o líquido escoando na parte inferior enquanto o gás ocupa a parte superior do tubo.

- Padrão Ondulado:
Com o aumento da velocidade superficial da fase gasosa no escoamento estratificado, ondas são formadas na interface de separação líquido-gás, gerando o regime ondulado.
- Padrão de Golfadas:
Este padrão é caracterizado pelo escoamento alternado de líquido e gás. Pistões de líquido, que ocupam todo o diâmetro do tubo são separados por bolhas de gás, que se movem sobre um filme de líquido presente na parte inferior do tubo. Para altas vazões de gás, o pistão de líquido se apresenta aerado por pequenas bolhas, as quais se concentram na frente do pistão e na parte superior da tubulação.
- Padrão de bolhas alongadas:
Com o aumento da velocidade da fase gasosa no escoamento no padrão de bolhas há coalescência das bolhas. Estas ficam alongadas em forma de balas, que tendem a escoar no topo da tubulação devido ao efeito da gravidade.
- Padrão anular:
Este padrão de escoamento ocorre para velocidades superficiais de gás elevadas. A fase gasosa concentra-se na parte central enquanto a fase líquida escoar em forma de um filme na parede do duto. A interface entre o filme líquido e o núcleo de gás é dinâmica, apresentando um perfil ondulatório. Altas vazões de gás podem acarretar o arrancamento de pequenas gotículas de líquido do filme, as quais entranham-se na fase gasosa e são carregadas no núcleo de gás. Devido ao efeito da gravidade, a espessura do filme na parte inferior é maior que no topo, dependendo das vazões relativas de gás e de líquido. Para baixas razões de vazão gás e líquido, a maior parte do líquido concentra-se na parte inferior do duto, enquanto ondas estáveis de líquido cobrem a superfície restante, eventualmente molhando a parte superior do tubo.

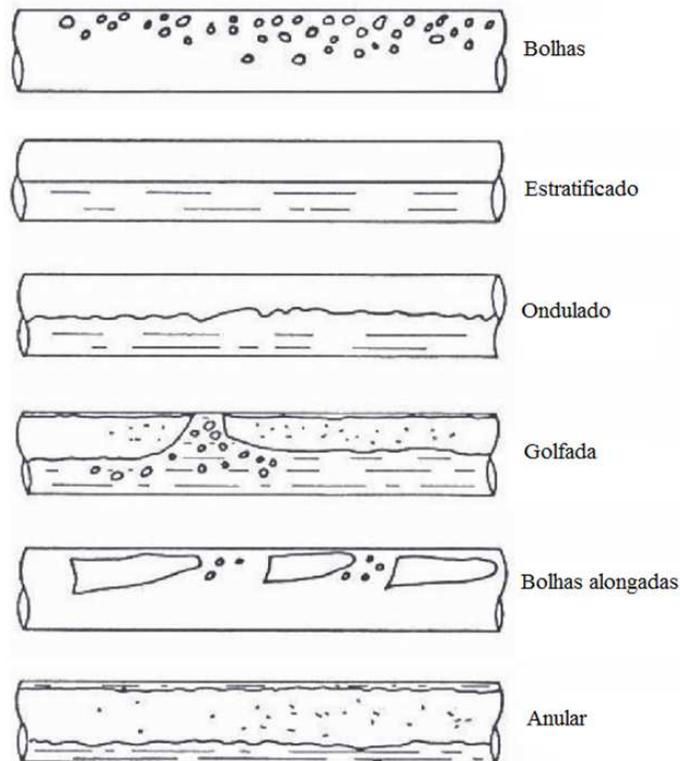


Figura 1.1 - Escoamento bifásico em dutos horizontais (Tong & Tang, 1997).

Existem diversos trabalhos na literatura, realizados ao longo dos anos, dedicados à proposição de mapas de padrões de escoamento onde procura-se associar os regimes de escoamentos bifásico a parâmetros globais do escoamento, como vazões das fases ou outros parâmetros que incluem a vazão das fases. As transições de fases entre os diferentes regimes são reconhecidamente um problema complexo governado por diversas grandezas que controlam o escoamento e a interação entre as fases. A tentativa de caracterizar as regiões de ocorrência de determinados padrões de escoamento e suas transições com um par de parâmetros, resulta em mapas de validade restrita às condições experimentais para as quais os dados foram gerados. De qualquer modo, mapas de padrão de escoamento são úteis e largamente empregados na caracterização de escoamentos bifásicos.

A Figura 1.2 e a Figura 1.3 apresentam exemplos de dois mapas de padrões para escoamentos bifásicos de ar e água em tubos horizontais e verticais, respectivamente.

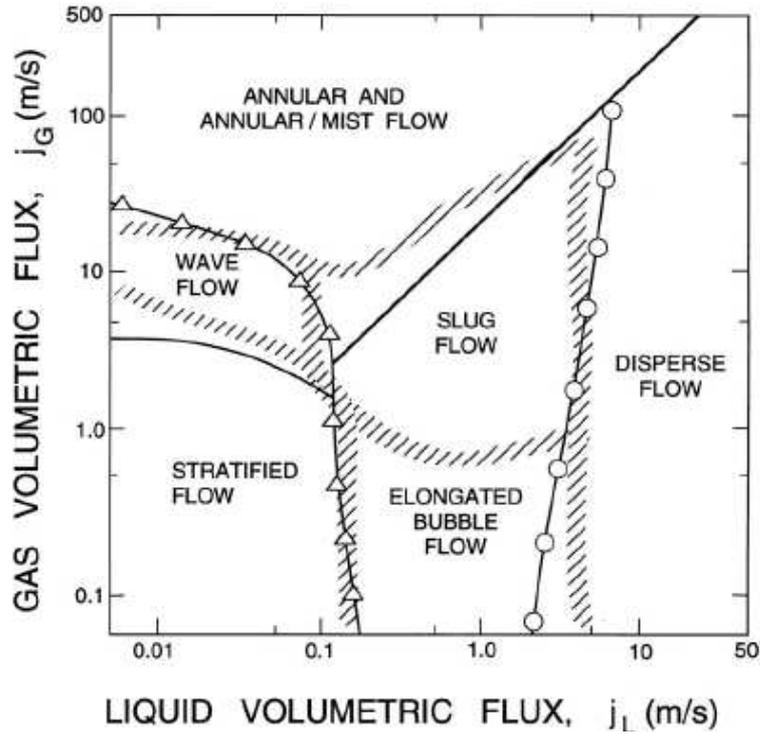


Figura 1.2 - Mapa de padrão de escoamento horizontal ar-água para tubulação com 25 mm de diâmetro interno a 25°C e 1 bar (Mandhane et al., 1974). A linha contínua delimita as transições a partir de observações experimentais e as regiões hachuradas representam previsões teóricas.

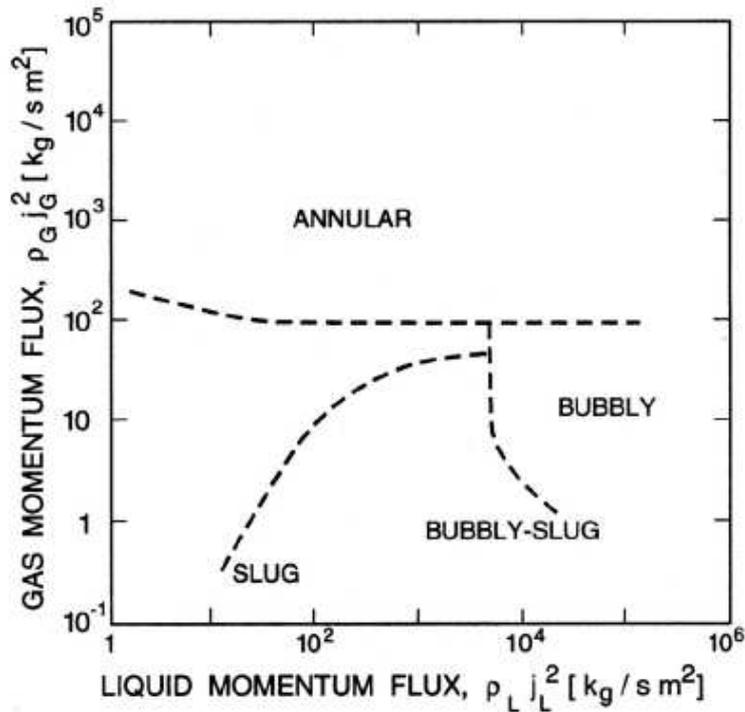


Figura 1.3 - Mapa de padrão de escoamento vertical ar-água para tubulação com 32 mm de diâmetro interno (Hewitt & Roberts, 1969).

Dentre os diversos padrões observados nas figuras anteriores, o padrão de escoamento anular apresenta uma complexidade intrigante em sua modelagem – o entendimento dos mecanismos responsáveis pela distribuição do filme de líquido ao longo da circunferência do tubo. Trata-se de uma questão ainda aberta na literatura, como será comentado no próximo capítulo, e de grande relevância para a correta modelagem deste escoamento.

Além do interesse básico que despertam os escoamentos bifásicos horizontais de líquido e gás no regime anular, eles são encontrados em diversas aplicações práticas relevantes, como em evaporadores de sistemas de refrigeração, linhas de produção de petróleo, linhas de transporte de gás e aplicações em plantas químicas.

O presente trabalho, por exemplo, foi motivado por uma aplicação oriunda de um processo petroquímico onde gás e líquido corrosivos escoam no regime anular por tubos horizontais. Na operação de campo constataram-se taxas de corrosão dos tubos muito acima dos valores esperados, levando à perda acelerada das tubulações. Uma das hipóteses consideradas para explicar o problema está relacionada a alterações impostas no filme de líquido, característico do escoamento anular. Estas alterações seriam causadas por acidentes presentes na tubulação, como curvas ou cordões de solda, que poderiam vir a destruir o filme provocando aumento de temperatura na parede do tubo e conseqüente aumento da taxa de corrosão.

O presente trabalho é parte de um projeto de pesquisa em andamento no Laboratório de Engenharia de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio que tem como principal objetivo contribuir para a melhor compreensão dos mecanismos físicos que controlam o comportamento dinâmico do escoamento bifásico horizontal de ar e água em regime anular. Como será apresentado em detalhes ao longo do texto, o trabalho desenvolveu e utilizou técnicas ópticas para produzir informações qualitativas e quantitativas sobre a estrutura dinâmica do filme de líquido característico do escoamento anular.

1.1. Organização do trabalho

Este trabalho está organizado em dez capítulos. No Capítulo 2 será apresentada uma breve descrição das características do escoamento anular, incluindo uma revisão bibliográfica da literatura sobre trabalhos experimentais realizados sobre este assunto.

O Capítulo 3 dedica-se à descrição das técnicas ópticas utilizadas para captura das imagens. No Capítulo 4, a montagem das duas seções de testes projetadas e os equipamentos utilizados são apresentados.

Nos Capítulos 5 e 6 são apresentados os procedimentos experimentais adotados para calibração, captura e processamento das imagens longitudinais e transversais, respectivamente.

O Capítulo 7 apresenta a descrição do procedimento adotado para extração dos dados quantitativos do filme líquido.

No Capítulo 8 os resultados experimentais obtidos são apresentados e comentados e, no Capítulo 9, são expostas as conclusões do trabalho. O Capítulo 10 reúne as referências bibliográficas utilizadas no estudo.