

1 Introdução

O escoamento multifásico é aquele onde escoam simultaneamente duas ou mais fases (sólido, líquido ou gás) da mesma substância ou não.

Os escoamentos multifásicos acontecem em toda parte e a todo instante no ambiente natural como chuvas, ciclones, tufões, poluição atmosférica. Muitos deles são partes importantes de processos industriais e biológicos como plantas de geração de energia nuclear, motores de combustão interna, ebulição, condensação e evaporação de líquidos, transporte e produção de óleo e gás.

A previsão de escoamentos multifásicos em tubulações de petróleo, desde seu processamento, passando por produção e transporte é importante devido ao constante incremento na demanda por hidrocarbonetos fósseis. A tarefa de simular escoamentos multifásicos é extremamente complexa devido à interação das diversas fases escoando e à ausência de um modelo que represente com precisão os diversos possíveis regimes de escoamento e o enorme esforço computacional requerido para resolver os complexos modelos matemáticos que governam estes fenômenos.

Durante o deslocamento do fluido, o escoamento pode se arranjar em diferentes padrões dependendo das vazões das fases e da posição relativa da tubulação, i.e., horizontal, vertical, inclinada, etc. A Figura 1.1 ilustra os padrões que são encontrados em tubulações horizontais e verticais: bolhas de gás dispersas no líquido (“*dispersed bubble flow*” ou “*bubbly flow*”), bolhas alongadas (“*elongated bubble flow*”), estratificado e estratificado ondulado (“*stratified flow*” e “*wavy-stratified flow*”), golfadas (“*slug flow*”), caótico (“*churn flow*”) e anular (“*annular flow*”). Os padrões de escoamento estratificado e estratificado ondulado só acontecem em tubulações horizontais.

A predição do padrão de escoamento é fundamental para a determinação dos parâmetros fundamentais para elaboração de projetos eficientes, como perda de carga de cada fase, velocidade relativa entre as mesmas, parâmetros de intermitência, etc. O conhecimento do padrão de escoamento também auxilia no

desenvolvimento e/ou seleção do modelo mais adequado a cada situação. Por estas razões, existem muitos trabalhos cujo foco é determinação dos padrões de escoamento, assim como os critérios associados às transições de um padrão a outro.

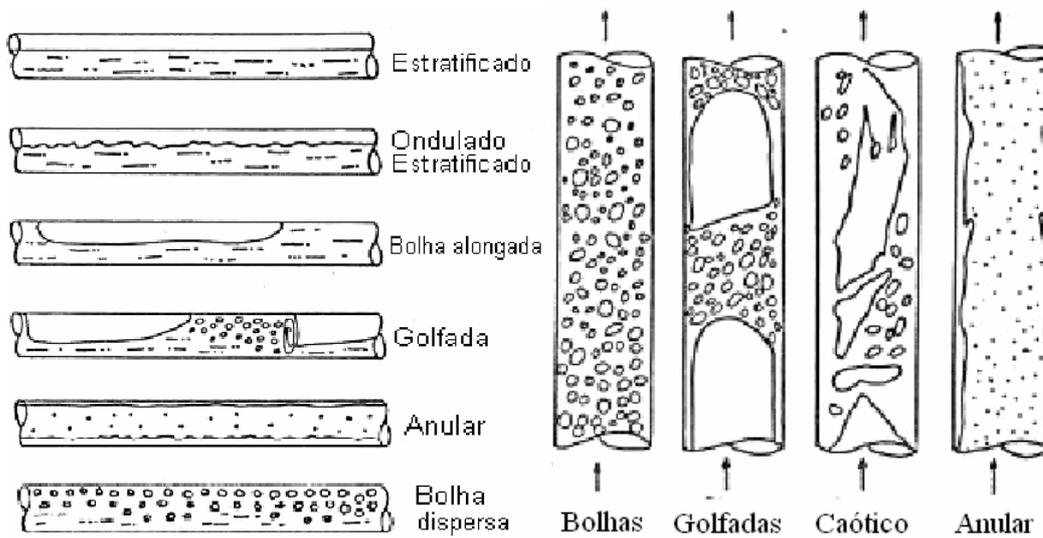


Figura 1.1- Diagramas esquemáticos dos padrões de escoamento.

Dentre os diversos padrões de escoamento destaca-se o regime em golfadas por ser encontrado em diversas aplicações dentro da indústria do petróleo, sistemas de refrigeração de usinas nucleares, usinas de geração de energia, etc. O escoamento no padrão de golfada, em tubulações horizontais, pode ocorrer a partir do regime de escoamento estratificado, devido ao surgimento de instabilidades hidrodinâmicas manifestadas por pequenas ondulações na superfície do líquido. Estas ondas podem crescer e evoluir em ondas maiores até fechar completamente a tubulação, gerando assim uma golfada, como ilustrado na Fig. 1.2. O padrão de escoamento em golfadas também pode surgir devido ao acúmulo de líquido em vales de terrenos irregulares, gerando o padrão chamado de “golfadas severas”.

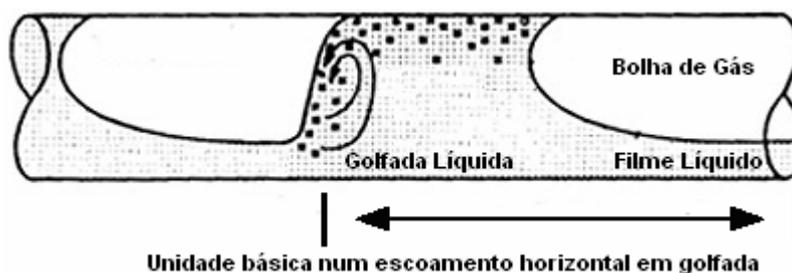


Figura 1.2- Esquema de uma unidade básica de escoamento em golfada.

O regime de golfadas é caracterizado por uma sucessão de bolhas de gás seguidas de golfadas líquidas entre elas, que podem ou não ter pequenas bolhas em dispersão, transferidas da cauda da bolha que viaja sobre um filme líquido (Fig. 1.3(a)). Em geral a frente da bolha apresenta um formato mais definido, arredondado (Fig. 1.3(b)). As bolhas que viajam entre as golfadas de líquido podem ter velocidades diferentes. Quando a bolha atrás da golfada possui velocidade maior que aquela que viaja a frente, pode-se produzir coalescência, alterando os comprimentos das bolhas e dos pistões. Desta forma, as bolhas podem apresentar comprimentos totalmente distintos umas das outras, e igual comportamento se espera nas golfadas líquidas. Este e outros fenômenos fazem com que o padrão de golfadas seja irregular no tempo e no espaço.

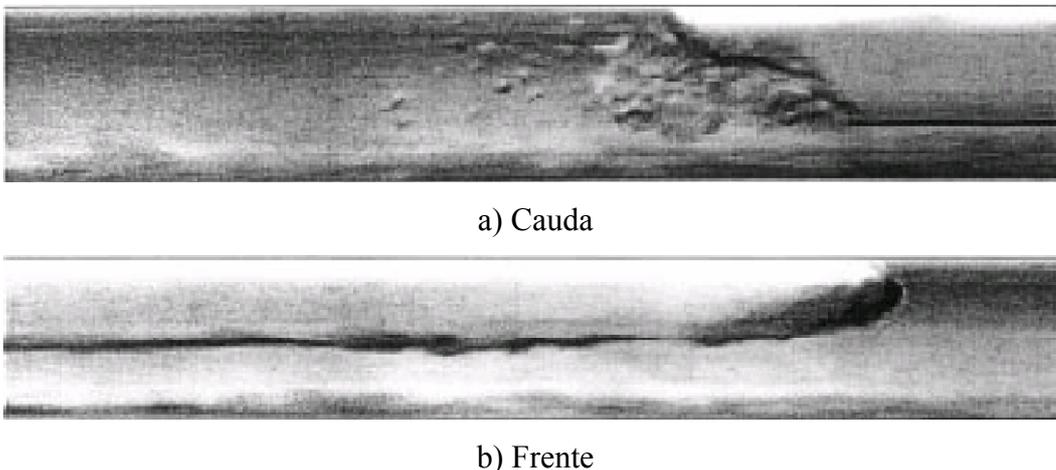


Figura 1.3- Cauda e frente da bolha no padrão de golfada. Fagundes Netto et al., (1999a)

Por ser uma sucessão de bolhas e golfadas líquidas, o escoamento em golfadas pode ser um problema devido sua intermitência, um fator indesejável na produção. Além disso, o padrão das golfadas produz fortes gradientes de pressão e é necessária a instalação de equipamentos chamados de “*slug catchers*” (separadores) para seu processamento. Conhecer os parâmetros que governam este escoamento é de vital importância para dimensionar estes equipamentos.

Nos últimos anos e com as últimas descobertas de reservatórios de petróleo no Brasil, se tornou ainda mais necessário o desenvolvimento de técnicas que permitam prever os fenômenos que acontecem no seu transporte desde os reservatórios até seu consumo, de forma a otimizar os processos, além de aumentar a segurança dos mesmos.

Devido à complexidade do fenômeno existem diversos enfoques para analisá-lo. Desde o desenvolvimento de correlações empíricas para determinar o comprimento, velocidade e frequência de deslocamento das golfadas no regime estatisticamente permanente, como análises tridimensionais transientes que visam captar todos os detalhes do escoamento.

Na indústria do petróleo, os comprimentos das tubulações são muitos elevados e a sua modelagem computacional é muito cara na medida em que procuramos refinar a malha no domínio computacional para obter uma exatidão razoável. Daí o surgimento de modelos unidimensionais que consideram que a tubulação é longa o suficiente para só trabalhar com médias na seção transversal. Estes modelos unidimensionais precisam de relações empíricas de fechamento, os quais, muitas vezes são muito gerais e outras podem levar a resultados que não refletem o fenômeno real. Nesse entender, o conhecimento dos detalhes 3D do padrão da golfada também é importante para fornecer subsídios para melhorar os modelos unidimensionais.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho consiste prever e analisar numericamente, utilizando o pacote comercial FLUENT™, o escoamento bifásico água-ar no regime de golfada.

Visando compreender os detalhes deste tipo de escoamento, uma unidade básica de golfada tridimensional é investigada. O tamanho do domínio computacional é definido de forma a conter uma unidade básica de golfada (golfada líquida, filme líquido e bolha gasosa, Fig. 1.2), e utiliza-se um referencial sobre a golfada, i.e., deslocando-se com a mesma. O problema é analisado utilizando o modelo “*Volume of Fluid*”, VOF, para capturar a interface.

Os resultados das simulações são comparados com dados experimentais disponíveis na literatura e dados detalhados obtidos no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC/Rio.

1.2 Organização do Trabalho

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura disponível relativa ao escoamento multifásico, estudos teóricos e experimentais para conhecer os padrões de escoamento, sua formação e transições. Também estarão presentes os estudos experimentais e numéricos do padrão de golfada.

A descrição do modelo matemático utilizado para a simulação da golfada é apresentada no Capítulo 3. Enquanto que no Capítulo 4, são apresentadas as técnicas numéricas aplicadas na discretização das equações, assim como detalhes do domínio computacional utilizado e o procedimento de solução.

O Capítulo 5 é dedicado à apresentação dos resultados obtidos, sua análise e comparação com os dados experimentais da literatura. Finalmente o Capítulo 6 tem como conteúdo as conclusões e recomendações sobre o tema.