

6 Comentários Finais

No presente trabalho simulou-se numericamente o escoamento bifásico no regime de golfadas, utilizando o Modelo de Dois Fluidos em sua forma unidimensional e transiente, com a metodologia descrita por Issa e Kempf (2003). A metodologia, implementada no código numérico utilizado na presente dissertação, foi desenvolvida pelo grupo de Dinâmica dos Fluidos Computacional do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC–Rio (Ortega, 2004 e Carneiro, 2006).

O presente trabalho apresenta como objetivo analisar estatisticamente as principais variáveis das golfadas como: comprimento, velocidade da frente e cauda assim como a frequência. Essas grandezas foram comparadas com dados experimentais de dois trabalhos disponíveis na literatura (Ujang et al., 2006 e Fonseca, 2009). Os casos testes foram selecionados por encontrarem-se na região de escoamento em golfada. Verificou-se ainda, que todos os casos selecionados correspondem à situação de equações bem postas, o que viabiliza a solução numérica com a presente metodologia.

Os resultados de interesse foram avaliados após a obtenção do regime estatisticamente permanente. Observou-se que a metodologia foi capaz de reproduzir o caráter estocástico o escoamento.

A principal contribuição deste trabalho consiste na validação da metodologia através de comparações com dados experimentais, mostrando a versatilidade do método empregado.

Determinou-se a distribuição espacial dos comprimentos das golfadas e da velocidade da cauda e frente da mesma. Observou-se que a velocidade da frente da golfada é maior do que a da cauda, o que induz a um crescimento do comprimento. Os valores obtidos para o comprimento da golfadas líquidas apresentaram boa concordância com a faixa de $12 - 25D$, registrada por diversos autores na literatura. Excelente concordância também foi obtida com relação à

correlação de Bendiksen (1984) para a velocidade da golfada, para todos os casos analisados.

A comparação das estatísticas das golfadas com os dados de Ujang et al., (2006) foi muito boa. Por outro lado, somente metade dos casos de Fonseca (2009) foi bem reproduzida pela presente metodologia. Observou-se que para baixas velocidades superficiais do gás, grandes discrepâncias foram obtidas com relação a distribuição de comprimentos de golfadas, apesar da boa concordância com relação a predição da velocidade da golfada e queda de pressão.

A distribuição dos comprimentos das golfadas foi analisada através de histogramas e da função densidade de probabilidade PDF. A distribuição de comprimentos pode ser igualmente avaliada considerando-se uma distribuição *normal* ou *log-normal*. A grande vantagem de utilização de uma curva de probabilidade seja *normal* ou *log-normal* consiste no fato de que a única informação necessária é a média e o desvio padrão da mesma. Tendo como critério o menor erro-padrão, a distribuição *log-normal* pode ser indicada para representar o espectro de comprimentos das golfadas, pois na maioria dos casos, foi a distribuição que melhor representou os resultados obtidos.

Observou-se que a frequência das golfadas apresenta uma dependência direta com a velocidade de mistura, crescendo com o aumento da mesma.

Para todos os casos analisados, as golfadas começam a se formar a uma determinada distância da entrada, a qual depende do valor da fração volumétrica de gás imposta na entrada da tubulação. Uma investigação detalhada da influência da condição de entrada de fração volumétrica ainda precisa ser realizada. Os valores obtidos para a queda de pressão na região do regime de golfadas plenamente desenvolvido concordou muito bem com a correlação de Lockhart-Martinelli.

A comparação realizada entre os resultados numéricos obtidos no presente trabalho e dados experimentais disponíveis na literatura mostrou-se muito boa. Porém, a metodologia empregada apresentou picos irrealistas de velocidade do gás, que ainda precisam ser eliminados. Estes picos surgem quando uma golfada é formada, pois a equação de quantidade movimento torna-se singular. Para eliminação destes picos, novos tratamentos para a velocidade do gás no momento da formação da golfada precisam ser investigados. Uma possibilidade consiste em utilizar um modelo de deslizamento, de forma a representar as gotículas de gás

dispersas na golfada líquida, evitando a especificação de velocidade nula para o gás.

Apesar de uni-dimensional, o programa desenvolvido demora um tempo extremamente elevado para obter o regime estatisticamente estável. Visando melhorar o acoplamento entre as equações e reduzir o tempo de processamento, implementou-se um algoritmo TDMA por blocos. No entanto, esta metodologia não apresentou grandes vantagens em relação ao procedimento seqüencial, por duas razões. A primeira, que pode ser facilmente melhorada, consiste no baixo acoplamento entre as variáveis na equação de pressão, que trata as velocidades de forma explícita. Para aumentar o acoplamento entre as equações, as velocidades de ambas as fases podem ser tratadas implicitamente na equação da pressão. A segunda razão está associada ao valor de Courant necessário para obter soluções estáveis. Como o passo de tempo é inversamente proporcional à velocidade máxima, os altos picos de velocidade de gás, forçam a utilização de pequenos passos de tempo. Com a eliminação dos picos de velocidade, o passo de tempo poderá ser incrementado, diminuindo o tempo de processamento. Outra melhoria a ser desenvolvida no algoritmo implementado, consiste em aumentar a ordem da discretização temporal.

Algumas sugestões de trabalhos futuros já foram mencionadas acima, com relação a aspectos da modelagem numérica. Do ponto de vista físico, outras sugestões importantes que podem ser mencionadas são: análise de outros padrões de escoamento como anular e bolhas dispersas onde para isso é preciso verificar se as correlações empíricas para o fator de atrito devem ser modificadas de acordo a cada tipo de padrão. Outra sugestão consiste na análise de escoamentos com diferentes topografias.

Finalmente, pode-se recomendar o estudo de escoamentos onde a transferência de massa entre as fases não pode ser desprezada.