

7 Conclusão

No presente trabalho, o escoamento intermitente foi avaliado sob diversos aspectos, desde seu comportamento estatístico, avaliado com a utilização de interruptores de feixe, até a medição dos campos de velocidade instantânea nas regiões do nariz e esteira da bolha, obtida por meio da utilização da técnica experimental de velocimetria por imagem de partículas (PIV) adaptada a escoamento bifásico.

Os resultados obtidos a partir da análise estatística do escoamento mostraram a ocorrência de uma relação entre a velocidade da bolha de gás com a velocidade de mistura das fases. Além disso, durante o escoamento horizontal esta variável tende a apresentar resultados maiores que o escoamento inclinado. A velocidade da frente da bolha apresentou resultados superiores aos respectivos valores da sua cauda, fato este associado ao posicionamento da saída da tubulação inferior ao comprimento das bolhas. O comprimento das bolhas analisadas apresentou uma tendência de diminuição conforme o aumento da vazão de líquido. O comprimento dos pistões foi medido na faixa de 13D~19D para o caso horizontal e 14D~16D a partir da inclinação do sistema. Os resultados apresentaram-se de acordo com a literatura. Em geral, as variáveis avaliadas estatisticamente mostraram uma menor dispersão ao redor da média durante o escoamento inclinado.

Outra observação feita ao longo deste trabalho mostrou que o comprimento dos pistões de líquido não apresentaram correlação com a velocidade de deslocamento das bolhas.

A frequência de passagem dos *slugs* aumentou conforme o aumento da velocidade da fase líquida. Fixando-se em baixas velocidades de líquido, a frequência dos *slugs* apresentou-se constante, independentemente da variação da velocidade de gás. A partir de uma determinada velocidade da fase líquida, a frequência passa a diminuir à medida que a velocidade do gás aumenta.

A partir da utilização da técnica de PIV, adaptada para escoamento bifásico, foi possível avaliar o comportamento do campo de velocidade na frente da bolha de gás e na sua cauda. Foi constatado que a bolha tende a apresentar seu nariz direcionado para o centro da tubulação conforme o aumento da

velocidade de mistura, enquanto que a cauda vai deixando de apresentar um perfil alongado.

Com a inclinação do sistema foi constatado o aparecimento de bolhas dispersas, sendo mais acentuado a partir do aumento do número de *Froude*. A presença das bolhas leva à formação de pistões de líquido aerados, expondo uma limitação do uso desta técnica para altas vazões.

A adoção de referencial na bolha que se move, foi visto que a velocidade do nariz da bolha é superior à velocidade do pistão de líquido na região do nariz. Para a região da cauda, o líquido na porção superior da tubulação apresentou velocidade superior à velocidade da bolha, enquanto que na porção inferior este comportamento esteve invertido. Desta forma, na parte central do tubo é formada uma zona de recirculação do líquido.

A técnica experimental utilizada permitiu também a análise do perfil médio de velocidade para regiões do filme de líquido e do pistão. Foi observado que o filme de líquido apresenta maiores velocidades com o aumento da velocidade de mistura, sendo estes valores maiores para escoamento horizontal, quando comparado ao inclinado. À medida que se caminha no filme em direção à cauda da bolha de gás, o líquido tende a sofrer uma desaceleração.

O perfil médio de velocidade da região do pistão de líquido, na maioria dos testes, também apresentou maiores resultados para o escoamento horizontal. Destaca-se o fato da sua velocidade máxima estar deslocada do centro da tubulação, estando direcionada para a porção inferior da mesma.

A velocidade na direção transversal também foi avaliada pelo método PIV, apresentando maiores valores na região do filme de líquido, próximo à interface, devido ao deslocamento causado pela bolha. Este comportamento foi mais acentuado no escoamento inclinado.

Por último, o presente trabalho fez uma breve discussão sobre o comportamento de variáveis relacionadas à turbulência, mostrando mais uma aplicabilidade associada ao método de PIV para o escoamento estudado. Foi observada uma maior intensidade turbulenta na região junto às paredes da tubulação e na região próxima à frente da bolha, onde o comportamento foi atenuado com o aumento da velocidade de mistura de líquido.

Trabalhos futuros utilizando esta metodologia podem fazer uso de lasers de altas taxas de repetição de pulsos e câmeras de alta velocidade para produzir campos de velocidade com elevadas frequência de aquisição, possibilitando uma medição da evolução temporal do escoamento na vizinhança da bolha. Outra informação importante que pode ser adquirida com o uso do PIV em sua versão

estereoscópica é a estrutura tri-dimensional da bolha e do escoamento em sua vizinhança.