

5 Conclusão

Desenvolveu-se um código numérico para prever a formação do regime de escoamento no padrão *slug* em uma tubulação horizontal, partindo-se do regime estratificado, baseado no modelo de dois fluidos unidimensional.

Diferentes regimes de escoamento bifásico podem ocorrer em uma tubulação horizontal. Estes regimes dependem fortemente das velocidades superficiais do gás e do líquido. Para a formação do escoamento no padrão *slug* em uma tubulação horizontal é preciso que o escoamento seja instável. Adicionalmente, as equações que governam o escoamento precisam ser *bem postas*.

Realizou-se uma análise de estabilidade para definir as condições de entrada adequadas ao padrão *slug*. Adicionalmente, investigou-se se o sistema é *mal ou bem posto*. Vale ressaltar que as análises realizadas são apenas aproximadas, pois são baseadas em diversas aproximações para o escoamento real, como propriedades constantes, escoamento permanente estratificado, etc. Adicionalmente, a análise de estabilidade baseada na equação diferencial pode não se aplicar diretamente ao sistema de equações algébricas resultante da discretização.

Investigou-se a influência na formação de *slugs* das condições iniciais (perfil de pressão ao longo da tubulação) e de contorno (*hold-up* líquido, velocidades superficiais do gás e líquido). Apesar de ter sido possível prever o surgimento do padrão *slug*, não foi possível obter o regime estatisticamente permanente. Diversos aspectos numéricos da formulação foram implementados e testados sem sucesso. Investigou-se diferentes formas de discretização das equações de conservação, e de solução do acoplamento velocidade-pressão (algoritmo PISO e PRIMER). Considerou-se ainda as equações na forma conservativa e não conservativa. A influência de parâmetros empíricos na correlação do fator de atrito também foi investigada.

Devido a todas as dificuldades encontradas, pode-se afirmar que o modelo de dois fluidos como proposto por Issa e Kempf (2003) e aqui utilizado é muito aproximado. O método não é robusto, pois depende demais de pequenos detalhes de implementação numérica.

De acordo com o presente trabalho acredita-se que as deficiências encontradas no modelo de dois fluidos são as seguintes:

- (i) Limitação do modelo em obter sistemas de equações bem estabelecidos só para certas faixas de condições de contorno.
- (ii) A análise de estabilidade para definir as possíveis condições iniciais e de contorno é aproximada, pois depende das correlações empíricas utilizadas, além de ser baseada no padrão estratificado em equilíbrio.
- (iii) Singularidade na equação de momento da fase gasosa quando acontece o *slug*.
- (iv) Uso de correlações empíricas para avaliação dos fatores de atrito, as quais influenciam fortemente a obtenção dos resultados dos cálculos.
- (v) Sensibilidade do modelo aos detalhes da discretização (aproximações *upwind* ou médias aritméticas para a massa específica e fração volumétrica do gás).
- (vi) Forte dependência da forma das equações de conservação, se conservativa ou não, nos resultados.

Com relação a melhorias na modelagem pode-se citar:

- (i) introduzir um salto de pressão na interface, isto é considerar pressões diferentes para cada fase. Neste caso equações adicionais precisam ser introduzidas na modelagem, sendo que uma delas deve ser uma correlação empírica para o salto de pressão.
- (ii) inclusão de arraste devido a velocidade de translação do *slug*
- (iii) inclusão de massa virtual devido a aceleração relativa entre fases
- (iv) otimizar correlações empíricas dos fatores de atrito utilizando dados experimentais
- (v) inclusão de efeitos bi- ou tri-dimensionais na modelagem.

Com relação a modelagem numérica, pode-se citar as seguintes melhorias:

- (i) aumentar o acoplamento das equações, resolvendo diretamente o sistema algébrico e não de forma segregada
- (ii) tratar o problema da singularidade, sem utilizar procedimentos *ad-hoc*.

Uma vez superados os problemas referentes a obtenção do regime estatisticamente permanente, outras configurações geométricas podem ser investigadas (tubulações inclinadas e verticais).

Devido a grande importância prática, recomenda-se ainda o estudo de outras situações que levam a formação de *slugs*, como o *slug* severo, o escoamento trifásico no padrão *slug* e *slug* areado (ingresso de gás ao líquido *slug*).