

## DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA A DETERMINAÇÃO DO PADRÃO DE ESCOAMENTO MULTIFÁSICO EMPREGANDO O MODELO DE BEGGS AND BRILL

EDISSON CASTRO DE SOUZA JÚNIOR<sup>1</sup>;  
FORLAN LA ROSA ALMEIDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – edissoncastrojr@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – forlan.almeida@ufpel.edu.br*

### 1. INTRODUÇÃO

O escoamento multifásico Líquido-Gás, está presente em diversas indústrias, em especial, na indústria do petróleo, objetivo do presente trabalho, onde pode-se ocorrer o escoamento concomitante de óleo, gás e água, (BRENNEM, 2005). Na maioria dos casos, porém, o escoamento é tomado como bifásico (duas fases), composto por óleo e gás (LÔBO; SIMONELLI, 2016). Escoamentos do tipo Líquido-Gás demonstram maior complexidade, devido à possibilidade de formação de diferentes padrões de escoamento (SOUZA, 2011). A determinação desse padrão é de grande importância para os cálculos das perdas de carga que ocorrerão, e as medidas para otimização do processo.

Por conta da complexidade de determinação de diversos aspectos, são feitas simplificações. O modelo de escoamento Homogêneo, supõe que o líquido e o gás, têm mesma velocidade de escoamento, a fim de simplificar os cálculos. Havendo a mesma velocidade, não haveria escorregamento entre as fases. Porém, sabe-se que isso não está de acordo com a realidade, já que, por conta da diferença de pressão, o gás pode se expandir e ocupar uma fração volumétrica maior, gerando diferença de velocidade, escorregamento entre fases, e o *HoldUp* (proporção do volume de óleo em relação ao volume total), não será constante, (OLIVEIRA, 2020).

A fim de prever as perdas de carga, de forma precisa, para um escoamento bifásico de Líquido-Gás nas tubulações, Beggs e Brill (1973), desenvolveram um estudo, com base em experimentos e determinações numéricas, para definir o padrão do escoamento bifásico. Para que se possa obter o padrão de escoamento, os autores desenvolveram equações que mostram como é o comportamento das curvas do *HoldUp No-Slip* ( $\lambda$ ) – supondo não haver escorregamento – e o quadrado do número adimensional de Froude ( $Fr_m$ ). Porém, é de complexa determinação, não só pela quantidade de equações, mas por conta dos testes condicionais que precisam ser feitos.

Desta maneira, o presente trabalho busca apresentar uma ferramenta computacional, para a determinação do padrão de escoamento, seguindo o modelo proposto por Beggs e Brill (1973). Sendo um dos quatro padrões de escoamento: Segregado, de Transição, Intermitente ou Distribuído. Com base nas informações de Vazão, tanto do óleo, quanto do gás, e o diâmetro da tubulação na qual escoam.

### 2. METODOLOGIA

A ferramenta elaborada, foi um código no programa Octave (<https://github.com/EdissonCastroJr/beggs-and-brill-PE.git>), que foi feito, primeiramente, gerando um gráfico, a partir das equações determinadas experimentalmente por Beggs and Brill (1973), da relação entre o *HoldUp No-Slip*,

e o quadrado do número de Froude. O gráfico gerado é semelhante ao da Figura 1:

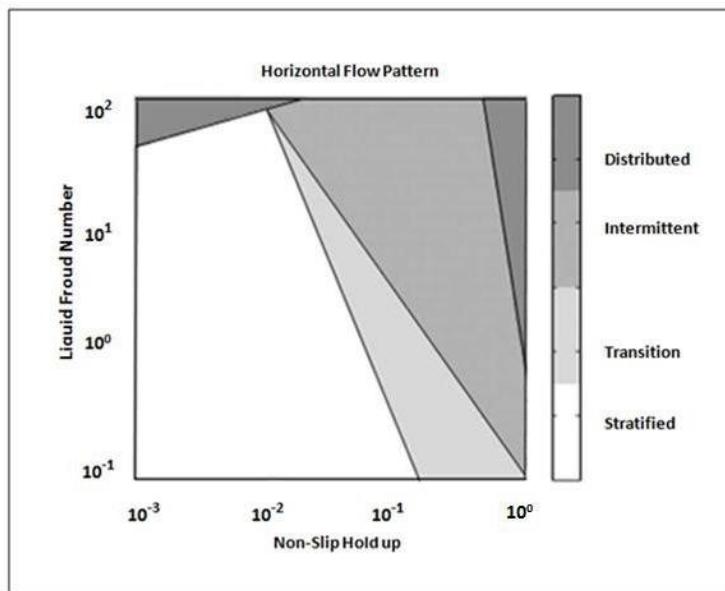


Figura 1 – gráfico do padrão de escoamento, com base em  $\lambda$  e  $Fr_m^2$   
Fonte: DABIRIAN, 2012.

Após isso, a ferramenta foi programada pra receber informações por parte do usuário, sendo, Vazão ( $q$ ), (tanto do óleo, quanto do gás) e o diâmetro da tubulação. Tendo recebido esses dados, a interação com o usuário termina, e o programa calcula as velocidades superficiais do óleo ( $v_o$ ), do gás ( $v_g$ ) e da mistura ( $v_m$ ).

Para a aplicação das condições do Modelo de Beggs and Brill (1973), o programa calcula o *HoldUp No-Slip* ( $\lambda$ ), por meio da Equação 1:

$$\lambda = \frac{v_o}{v_o + v_g}. \quad (1)$$

E o Número de Froude, usando a Equação 2:

$$Fr_m = \frac{v_m^2}{gD}. \quad (2)$$

Após esse passo, o par ordenado obtido será apresentado no gráfico em forma de um ponto, que permitirá a identificação, visual, do padrão de escoamento. Visto que a identificação visual pode ser falha, a ferramenta foi programada para aplicar condições lógicas complexas, e determinar qual é o padrão de escoamento. E o resultado é mostrado ao usuário.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados, a seguir, quatro resultados, de quatro diferentes valores das propriedades de óleo e gás, bem como, diferentes diâmetros da tubulação. Os valores são os que o código recebe do usuário (Vazões e Diâmetros).

Tabela 1 – Valores que foram aplicados como teste no código

Aplicação	$q_o(m^3/s)$	$q_g(m^3/s)$	D(m)
1	0,002	0,07	0,2032
2	0,001	0,009	0,1
3	0,002	0,01	0,1016
4	0,007	0,02	0,09

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses valores foram aplicados, no intuito de demonstrar o funcionamento do programa, com os resultados esperados das aplicações 1, 2, 3 e 4 sendo: Segregado, Transição, Intermitente e Distribuído (respectivamente). A Figura 2 apresenta os resultados, sendo que as aplicações têm sua respectiva imagem, conforme a ordem alfabética.

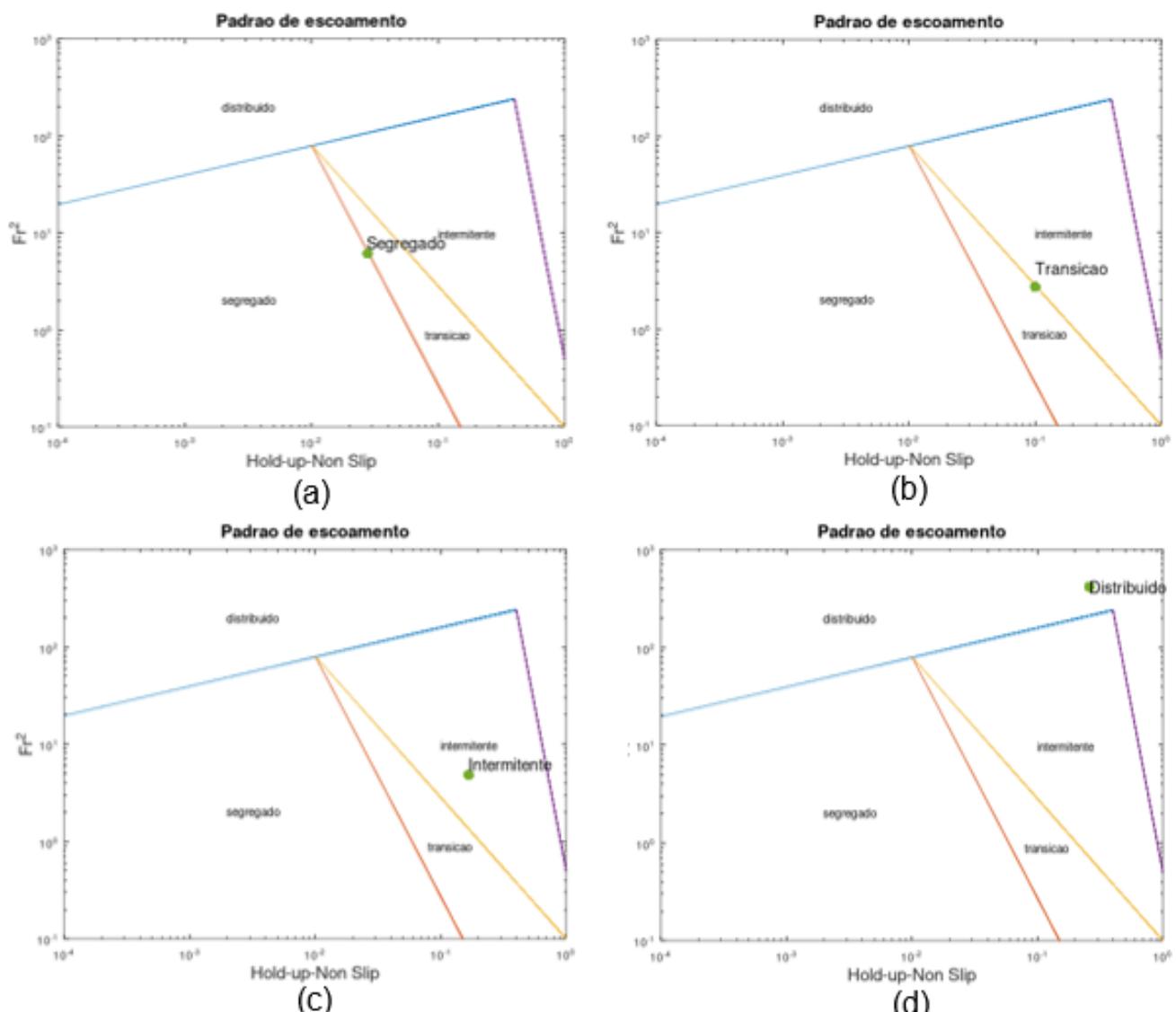


Figura 2 – Resultados das 4 aplicações  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram apresentados os testes para cada padrão de escoamento. Como é possível observar, além do resultado gráfico, também é mostrado um resultado interpretado pelo código, isso foi feito para casos como os da Figura 2a e 2b, nos quais, o resultado gráfico mostra-se dúbio, o que pode acarretar em interpretação equivocada, gerando resultados imprecisos. Em casos nos quais o padrão de escoamento não é levado em conta, ou, até mesmo, é interpretado de forma equivocada, os resultados podem levar ao prejuízo. Porém, os resultados de suas interpretações só podem ter confiabilidade, ao se trabalhar no intervalo do gráfico que foi determinado no Modelo de Beggs and Brill (1973).

#### **4. CONCLUSÕES**

Pela complexidade do Modelo de Beggs and Brill (1973), se faz necessária uma ferramenta computacional para interpretação. A ferramenta apresentada se mostra eficaz na determinação do padrão de escoamento, por meio da apresentação gráfica. Também efetua a própria interpretação, para evitar equívocos. Tudo isso, desde que se trabalhe no intervalo determinado pelo modelo.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BEGGS, Dale H.; BRILL, James P. Um estudo de escoamento bifásico em tubos inclinados. **Journal of Petroleum technology**, v. 05, pág. 607-617, 1973.

BRENNEN, C.E. **Fundamentos do escoamento multifásico**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

DABIRIAN, R. et al. Predição de divisão de fluxo bifásico em linhas em loop com base na minimização de energia. In: **Conferência e Exposição Técnica Anual da SPE**. OnePetro, 2013.

LÔBO, Jéssica; SIMONELLI, George. MÉTODO DE BEGGS E BRILL PARA FLUXO MULTIFÁSICO. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, v. 13, n. 24, 2016.

OLIVEIRA, Kilmer Ferreira de. **Previsão do gradiente de pressão em escoamento bifásico horizontal ar-água**. 2020. 69 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SOUZA, Anderson Dantas de et al. **Estudo da perda de carga em escoamento multifásico utilizando técnicas de inteligência artificial com ênfase no escoamento de petróleo**. 2011. Dissertação - Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe.