



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

AVALIAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DAS VARIAÇÕES DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DA POPULAÇÃO DO MODELO DINÂMICO PARA UMA TUBULAÇÃO-SEPARADORA SOB GOLFADAS¹

Maiquel Juliano Rodrigues de Oliveira². Airam Teresa Zago Romcy Sausen²

¹ Projeto de pesquisa no curso de Modelagem Matemática sobre Tubulação-Separador sob Golfadas

² Bolsista PIBIC-CNPQ, aluno do curso de Matemática da Unijuí.

³ Professora orientadora.

Resumo

O fluxo multifásico transportado em tubulações, no fundo do oceano, é formado por uma mistura composta de gás, óleo, água e impurezas podendo assumir diferentes tipos de escoamento, entre eles o regime de fluxo com golfadas, que é considerado uma das instabilidades mais preocupantes na indústria petrolífera. Atualmente, estratégias de controle com realimentação, através da utilização de um modelo matemático do processo, são consideradas uma solução promissora para resolver o problema da golfada. Portanto, neste trabalho é realizada a avaliação da robustez de um modelo matemático que descreve a golfada em sistemas tubulação-separador, através das variações dos principais parâmetros da tubulação, tais como: comprimento da tubulação horizontal, comprimento vertical, diâmetros, entre outros. A partir dos resultados das simulações verifica-se que todos os parâmetros avaliados devem estar devidamente ajustados para somente assim representarem coerentemente o regime de fluxo com golfadas em um sistema tubulação-separador, na indústria petrolífera.

Palavras-chave: Golfada; Modelagem Matemática; Simulações.

Introdução

Na atualidade o petróleo é considerado como ouro líquido. As plataformas petrolíferas em alto mar estão conectadas aos poços através de linhas de fluxo (i.e., tubulações), com diferentes configurações, que apresentam seções horizontais, com pontos de altos e baixos topográficos, e seções verticais, denominadas de tubulação ascendente ou *riser* até a plataforma, que medem vários quilômetros de comprimento e diferentes diâmetros e estas estão sujeitos a taxas de fluxos na sua entrada bastante variadas [1-6]. O fluxo multifásico transportado nestas tubulações é formado por uma mistura de gás, óleo e água e impurezas podendo admitir diferentes tipos de padrão de escoamento dentre eles o regime de fluxo com golfadas.

A golfada é considerada uma das mais preocupantes instabilidades nas indústrias petrolíferas [6]. Este tipo de escoamento caracteriza-se por um fluxo, irregular e repetitivo formado por um bloco de líquido (água e óleo), conduzido na golfada, intercalado com um volume de gás. A propagação da golfada gera diversos problemas indesejados na produção de petróleo, como por exemplo: vibrações nas tubulações, desgaste e corrosão dos equipamentos,



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

parada por nível alto de líquido e inundação nos separadores, entre outros. Todos ou apenas um destes problemas causam, redução na capacidade de produção e perdas econômicas significativas. Portanto, manipular a golfada ou evitá-la na tubulação torna-se uma necessidade na indústria de produção de petróleo.

Um das soluções mais promissoras, para minimizar o problema da golfada, proposta por pesquisadores, tem sido utilizar estratégias de controle com realimentação [2,3,4,6]. Salienta-se que este método é eficiente e econômico, pois há um menor número de equipamentos na plataforma e na tubulação, ocorrendo um aumento na produção de petróleo.

Para testes e aplicações de estratégias de controle com realimentação, em um processo sob golfadas, é necessário possuir um simulador comercial, ou uma planta experimental, ou um modelo matemático que representa adequadamente o processo. Então, Sausen [4,5], propõem um modelo matemático formado por um conjunto de 5 (cinco) Equações Diferenciais Ordinárias (EDO's), acopladas, não-lineares, com 6 (seis) parâmetros de sintonia e mais de 40 (quarenta) equações internas, geométricas e de transporte, a partir daqui denominado modelo de *Sausen*. Através de resultados de simulações e análise da sensibilidade do modelo é mostrado que o mesmo consiste em um ambiente adequado para testes de diferentes estratégias de controle com realimentação que podem ser aplicadas tanto no topo da tubulação ascendente, quanto nas válvulas do separador de produção, ou no sistema de forma integrada.

Este modelo dinâmico para um sistema tubulação-separador sob golfadas foi implementado na ferramenta computacional MATLAB, sendo que para a realização das simulações é considerado apenas um estudo de caso realizado no simulador de fluxo multifásico OLGA do processo sob golfadas, onde por simplificação de modelagem são utilizados diferentes parâmetros para o sistema constantes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar os parâmetros da tubulação do modelo verificando se a variação dos mesmos compromete o desempenho do programa computacional, bem como a descrição do regime de fluxo com golfadas no sistema.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica do problema da golfada na produção de petróleo. Em seguida foi necessário o entendimento do modelo de *Sausen*, composto pelas equações (1)-(3), que descrevem a dinâmica da tubulação, e pelas equações (4)-(5), que descrevem a dinâmica do separador

$$\dot{M}_L(t) = m_{L,m} - m_{L,out}(t) \quad (1)$$

$$\dot{M}_{G1}(t) = m_{G,m} - m_{G1}(t) \quad (2)$$

$$\dot{M}_{G2}(t) = m_{Gint}(t) - m_{G,out}(t) \quad (3)$$

$$\dot{N}(t) = \frac{\sqrt{r_s^2 - (r_s - N(t))^2}}{2H_L \rho_L N(t) [3r_s - 2N(t)]} [m_{L,out}(t) - m_{LS,out}(t)] \quad (4)$$

$$\dot{P}_{G1}(t) = \frac{\rho_L \Phi [m_{G,out}(t) - m_{GS,out}(t)] + P_{G1}(t) [m_{L,out}(t) - m_{LS,out}(t)]}{\rho_L [V_s - V_{Ls}(t)]} \quad (5)$$

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Os detalhes da modelagem matemática do modelo de *Sausen*, a descrição dos seus parâmetros, suas equações internas, de transporte e geométricas podem ser encontradas em [4,5].

Posteriormente, foi estudada a implementação do programa computacional em Matlab do modelo de *Sausen*, e foram identificados os principais parâmetros que fazem parte da tubulação, apresentados na Tabela 2.1

Tabela 2.1: Lista dos Parâmetros Avaliados.

Parâmetro	Descrição	Valor Nominal
L_1	Comprimento horizontal da tubulação	4300 m
A_1	Área do plano horizontal da tubulação	0,4128 m ²
H_1	Nível de líquido crítico	0,1200 m
H_2	Altura da tubulação ascendente	300 m
H_3	Diâmetro da tubulação	0,12 m
θ	Inclinação do encanamento	0.274 rad

Para a alteração de cada parâmetro apresentado adotou-se o seguinte procedimento: inicialmente o parâmetro que se deseja avaliar é identificado no programa computacional, em seguida o mesmo é alterado em 5%, 10%, 15% e 20 % para mais e para menos, a partir do seu valor nominal, e então o programa é executado com o objetivo de verificar que mudanças ocorrem nos resultados das simulações. Por exemplo, o parâmetro L_1 , a partir do seu valor nominal 4300 m foi avaliado em valores superiores iguais a 4515 m , 4730 m , 4945 m , 5160 m , e em valores inferiores iguais a 4085 m , 3870 m , 3655 m , 3440 m .

Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados, por limitação de espaço, apenas os resultados das simulações para os principais parâmetros da tubulação L_1 e H_2 , considerando o maior e o menor valor simulado. Para todos os casos considerou-se a abertura da válvula no topo da tubulação ascendente igual a 20%, ou seja, um caso de golfada moderada, e então são apresentados os resultados das simulações para a variação dos fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação $m_{L,out}(\theta)$ e $m_{G,out}(\theta)$, e do nível de líquido no separador $N(\theta)$ que indicam a ocorrência da golfada no sistema.

Nas Figuras 3.1 e 3.2 são apresentados os resultados das simulações para o parâmetro L_1 considerando seu menor valor simulado 3440 m , e seu maior valor simulado 5160 m , em relação ao seu valor nominal.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

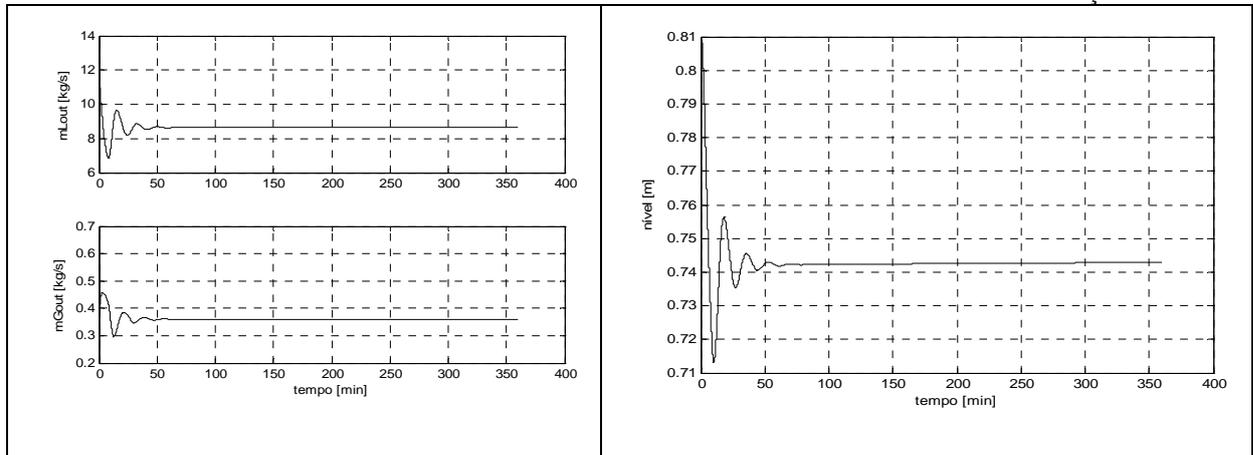


Figura 3.1: Variação dos fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação. Variações do nível de líquido no separador para $L_1 = 3440$ m.

No resultado das simulações em todos os casos simulados para L_1 era esperado observar a ocorrência da golfada no sistema, que caracteriza-se por fluxo periódico e oscilatório, já que a abertura da válvula no topo da tubulação ascendente é de 20 %, mas para a diminuição do parâmetro L_1 isto não aconteceu, por outro lado observou-se um regime de fluxo estável, não havendo a ocorrência da golfada. Por outro lado para o aumento do parâmetro L_1 observou-se a ocorrência da golfada no sistema.

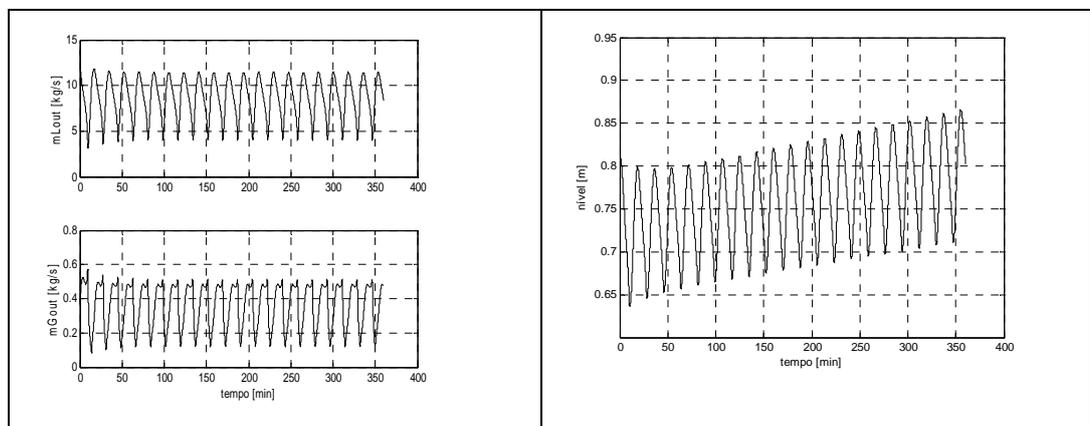


Figura 3.2: Variação dos fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação. Variações do nível de líquido no separador para $L_1 = 5160$ m.

Nas Figuras 3.3 e 3.4, são apresentados os resultados das simulações para o parâmetro H_2 considerando o seu menor valor simulado 285 m e seu maior valor simulado 360 m , em relação ao seu valor nominal.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

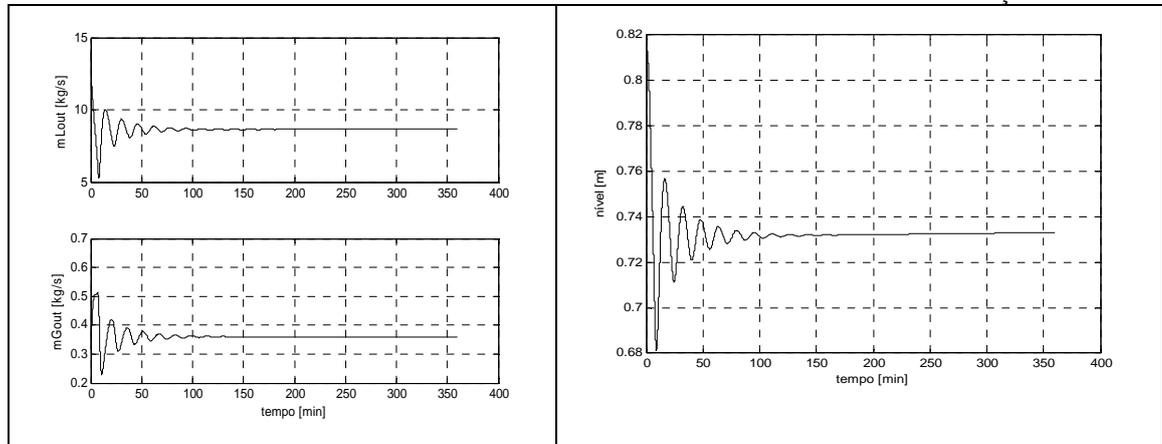


Figura 3.3: Variação dos fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação. Variações do nível de líquido no separador para $H_2 = 285 m$.

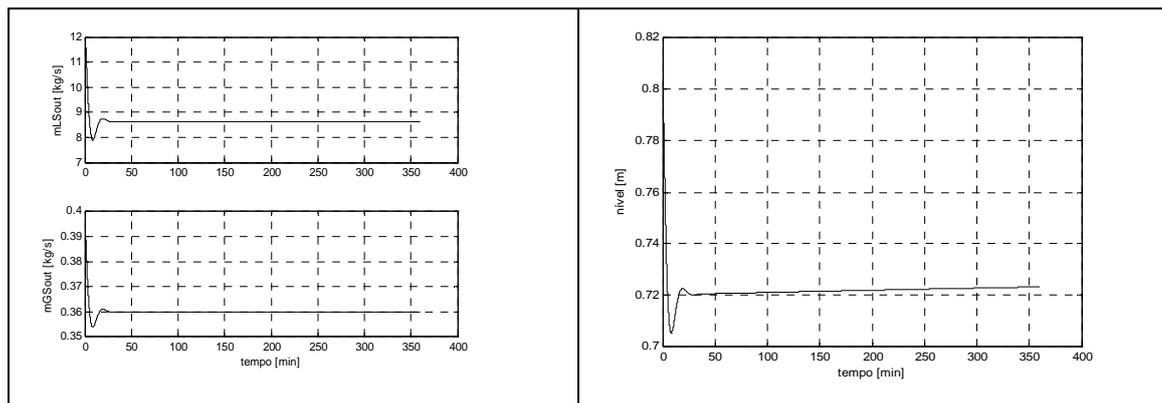


Figura 3.4: Variação dos fluxos mássicos de líquido e gás que saem da tubulação. Variações do nível de líquido no separador para $H_2 = 360 m$.

No resultado das simulações em todos os casos simulados para H_2 era esperado observar a ocorrência da golfada no sistema, que caracteriza-se por fluxo periódico e oscilatório, já que a abertura da válvula no topo da tubulação ascendente é de 20 %, mas para a diminuição e também para o aumento do parâmetro H_2 isto não aconteceu, observou-se um regime de fluxo que estabiliza rapidamente, logo não houve a ocorrência da golfada.

Conclusões

Neste trabalho de pesquisa foi estudado o regime de fluxo com golfadas que ocorre em sistemas tubulação-separador na indústria de petróleo. Inicialmente a golfada foi descrita e caracterizada, em seguida foi estudado o modelo dinâmico para uma tubulação-separador sob regime de fluxo com golfadas que descreve este tipo de fluxo no sistema. Em um segundo momento foram realizadas variações dos principais parâmetros da tubulação do modelo dinâmico, tais como: comprimento da tubulação horizontal, comprimento da tubulação vertical, diâmetros, entre outros, a fim de verificar a robustez do modelo matemático



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

utilizado, ou seja, como estas alterações no parâmetros do modelo acarretam alguma mudança nos resultados das simulações do regime de fluxo com golfadas no sistema. A partir dos resultados obtidos, observa-se que todos os parâmetros da tubulação considerados influenciam diretamente na formação da golfada no sistema, pois observa-se que com as alterações consideradas ocorreram mudanças significativas nos resultados das simulações do modelo. De modo geral, verifica-se que os parâmetros da tubulação devem estar devidamente ajustados para somente assim representarem coerentemente o regime de fluxo com golfadas em um sistema tubulação-separador na indústria petrolífera.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo oferecimento da Bolsa de Iniciação Científica e a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul por ceder sua estrutura laboratorial necessária a execução deste projeto.

Referências

- [1] Haandrikman, G., Seelen, R., Henkes, R., Vreenegoor, R., “Slug control in flowline/riser systems,” in Proceedings 2nd International Conference: Latest Advances in Offshore Processing, Aberdeen, UK, 1999, pp. 31-42.
- [2] Hollenberg, J., Wolf, S., Meiring, W., “A method to suppress severe slugging in flow line riser systems,” in Proceedings 7th Int. Conf. on Multiphase Technology Conference, 1995, pp. 88-103.
- [3] Portella, R., “Modelagem dinâmica de separador bifásico com alimentação por escoamento em regime de golfadas,” Dissertação de Mestrado, 2008, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.
- [4] Sausen, A., “Modelagem matemática de um sistema tubulação – separador sob regime de fluxo com golfadas e controle de nível considerando um algoritmo de erro – quadrático,” Tese de Doutorado, 2009, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil.
- [5] Sausen, A., Barros, P. R., “Modelo dinâmico simplificado para um sistema encanamento-riser-separador considerando um regime de fluxo com golfadas,” Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, 2008, PP. 341-350.
- [6] Storkaas, E., “Stabilizing control and controllability: control solutions to avoid slug flow in pipeline – riser systems,” PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, June 2005