

7. APLICAÇÃO DE MODELOS PARA PREVISÃO DA FORÇA DE CONTATO PIG / TUBO E COMPARAÇÃO COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O objetivo principal deste trabalho era fazer uma comparação entre os valores de forças de contato medidos em laboratório e as previsões apresentadas por modelos desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. O primeiro modelo testado foi o modelo proposto por Azevedo (1997) implementado no Simulador PIGSIM para a previsão da força de contato entre o pig e a parede interna do tubo. A Figura 55 mostra a tela inicial do Simulador PIGSIM utilizado neste trabalho.

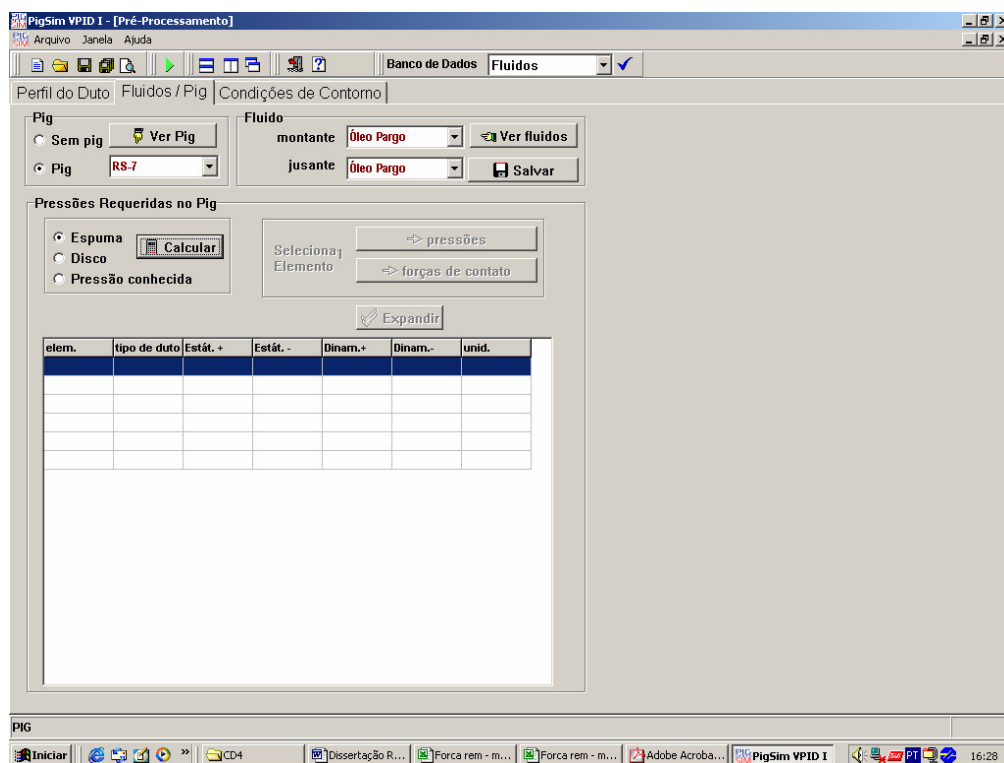


Figura 55 – Tela inicial do Simulador PIGSIM

O presente capítulo apresenta os resultados obtido com o Simulador, considerando as características dos pigs utilizados nos experimentos bem como as características do tubo de 6 polegadas.

7.1. Modelo para força de contato Pig de disco / tubo

Para que o Simulador PIGSIM possa ser aplicado é necessário que sejam respeitadas as seguintes relações:

$$0,05 < h/R < 0,11 \quad \text{e} \quad 0,14 < h/r < 0,22$$

Onde:

h: espessura do disco

R: raio do disco

r: raio do espaçador

Para o pig de disco utilizado tem-se:

h: 8,93 mm

R: 79,1 mm

r: 49,65 mm

Com as medidas acima obtém-se:

$$h/R = 0,11$$

$$h/r = 0,18$$

Para simular a passagem do pig de disco de poliuretano testado no laboratório foram utilizados os seguintes dados de entrada no Simulador PIGSIM:

- massa do pig: 5400 g
- número de discos: 2
- diâmetro do disco: 158,2 mm
- diâmetro do espaçador: 99,3 mm
- espessura do disco: 8,7 mm
- Coeficiente de Poisson: 0,2
- Coeficiente de fricção (estático): 0,4

- Coeficiente de fricção (dinâmico): 0,3
- Módulo de elasticidade: 8×10^6 Pa

Com esses dados de entrada os resultados apresentados pelo Simulador PIGSIM para previsão do diferencial de pressão necessário para a movimentação do pig de disco no tubo de 6 polegadas foram os seguintes:

- ΔP estático: $0,290 \text{ kgf/cm}^2$
- ΔP dinâmico: $0,215 \text{ kgf/cm}^2$

Tomando-se o valor previsto para o diferencial de pressão dinâmico e multiplicando-se esse valor pela área da seção transversal do tubo pode-se estimar a força de contato entre o pig de disco e o tubo.

$$F = \Delta P_{\text{dinâmico}} \times A_{\text{tubo}}$$

$$F_{\text{disco}} = 0,215 \text{ kgf/cm}^2 \times 182,4 \text{ cm}^2$$

Obtem-se então:

$$F_{\text{disco,PIGSIM}} = 39,2 \text{ kgf}$$

É importante ressaltar que, embora a espessura real do disco fosse de 8,93 mm, utilizou-se o valor de 8,7 mm por ser este o valor máximo que o Simulador PIGSIM possui em seu banco de dados. A comparação desta previsão com o resultado experimental de 37 kgf pode ser considerada excelente.

7.2. Modelo para força de contato Pig de espuma / tubo

Um dos dados de entrada no PIGSIM para simular força de contato para pig de espuma é o módulo de elasticidade da espuma. Para a determinação desse parâmetro, foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos da PUC-Rio, um teste de compressão da espuma utilizada na fabricação dos dois pigs de espuma utilizados nos testes, RS-7 (Redskin) e RRR-7 (Redskin com tiras de raspadores de poliuretano). O teste consistiu na compressão de um cilindro de espuma numa máquina de ensaio de compressão, com uma velocidade de 2,0 mm/min. Ao final do ensaio obteve-se o gráfico “Tensão x Deformação” para a espuma, conforme mostrado na Figura 56.

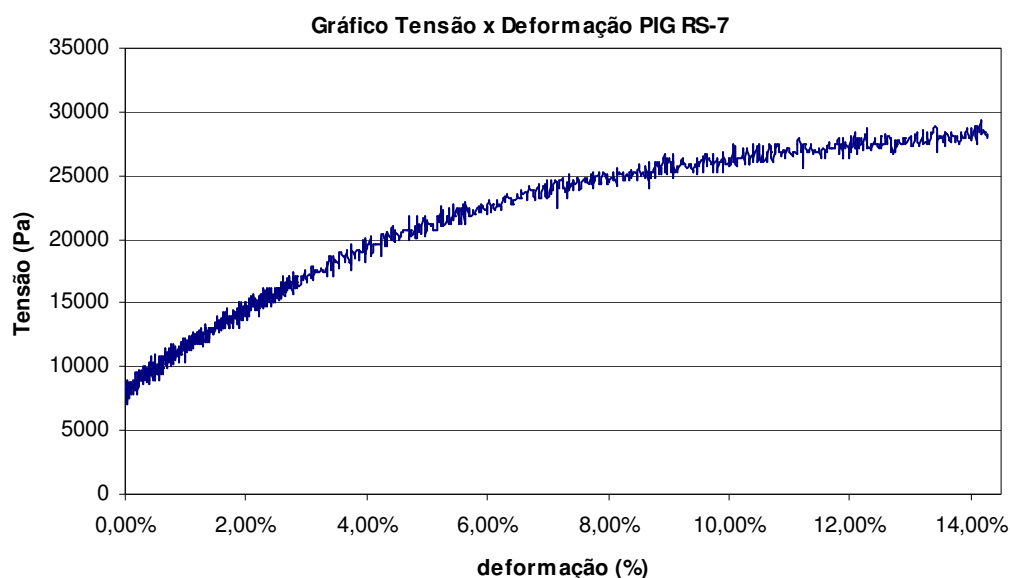


Figura 56 – Gráfico Tensão x Deformação da espuma

Para uma deformação de 10,17 % o ensaio indicou uma tensão aplicada de 26375 Pa, equivalente ao módulo de elasticidade igual a 259231 Pa. Considerando que, durante os testes os pigs eram submetidos a uma deformação de 10,18%, adotou-se o valor de $E = 259000$ Pa.

Para simular a passagem do pig de espuma RS-7 testado no laboratório foram utilizados os seguintes dados de entrada no Simulador PIGSIM:

- massa do pig: 770 g
- diâmetro do pig: 161 mm
- comprimento do pig: 220 mm
- Coeficiente de Poisson: 0,2
- Coeficiente de fricção (estático): 0,4
- Coeficiente de fricção (dinâmico): 0,3
- Módulo de elasticidade: 259000 Pa

Com esses dados de entrada os resultados apresentados pelo Simulador PIGSIM para previsão do diferencial de pressão necessário para a movimentação do pig de espuma RS-7 no tubo de 6 polegadas foram os seguintes:

- ΔP estático: 0,407 kgf/cm²
- ΔP dinâmico: 0,305 kgf/cm²

Tomando-se o valor previsto para o diferencial de pressão dinâmico e multiplicando-se esse valor pela área da seção transversal do tubo pode-se estimar a força de contato entre o pig e o tubo.

$$F = \Delta P_{\text{dinâmico}} \times A_{\text{tubo}}$$

$$F_{\text{RS-7}} = 0,305 \text{ kgf/cm}^2 \times 182,4 \text{ cm}^2$$

Obtem-se então:

$$F_{\text{RS-7,PIGSIM}} = 56 \text{ kgf}$$

O resultado previsto pelo modelo apresentou excelente aproximação em relação ao valor da força medida experimentalmente, que foi de 53 kgf.

7.3. Modelo para força de contato Pig de espuma com raspadores / tubo

Para simular a passagem do pig de espuma com raspadores RRR-7 testado no laboratório foram utilizados os seguintes dados de entrada no Simulador PIGSIM:

- massa do pig: 1100 g
- diâmetro do pig: 161,5 mm
- comprimento do pig: 220 mm
- Coeficiente de Poisson: 0,2
- Coeficiente de fricção (estático): 0,4
- Coeficiente de fricção (dinâmico): 0,3
- Módulo de elasticidade: 259000 Pa

Nota-se que a presença das tiras raspadoras não foi considerada no modelo. Talvez isso pudesse ter sido feito através da adoção de um coeficiente de atrito um pouco maior. No entanto, optou-se por não realizar esse ajuste.

Com os dados de entrada acima os resultados apresentados pelo Simulador PIGSIM para previsão do diferencial de pressão necessário para a movimentação do pig de espuma com raspadores RRR-7 no tubo de 6 polegadas foram os seguintes:

- ΔP estático: 0,430 kgf/cm²
- ΔP dinâmico: 0,322 kgf/cm²

Tomando-se o valor previsto para o diferencial de pressão dinâmico e multiplicando-se esse valor pela área da seção transversal do tubo pode-se estimar a força de contato entre o pig e o tubo.

$$F = \Delta P_{\text{dinâmico}} \times A_{\text{tubo}}$$

$$F_{RRR-7} = 0,322 \text{ kgf/cm}^2 \times 182,4 \text{ cm}^2$$

Obtem-se então:

$$F_{RRR-7,PIGSIM} = 58,7 \text{ kgf}$$

Este valor compara favoravelmente com o valor medido de 62 kgf, indicando que, realmente, um maior coeficiente de atrito deve ser considerado.