

Pense e Responda!*

Fábio Luís Alves Pena
Instituto Federal da Bahia – IFBA
Campus Simões Filho
Simões Filho – BA

Para o elemento medidor de pressão do tipo tubo de Bourdon, a lei de Hooke é válida?⁺

Segundo Reif-Acherman e Machuca-Martinez (2010), muito provavelmente não existe outro instrumento mais amplamente usado em laboratórios e indústrias de processo para medição de pressão de toda classe de fluidos, em intervalos que alcançam praticamente 6800 atm, que o manômetro de Bourdon¹. Este instrumento também pode ser encontrado em postos de combustíveis (no calibrador de pneus e no sistema de abastecimento de gás natural), em borracharias (nos compressores de ar), postos de saúde (no esfigmomanômetro e nos cilindros de oxigênio), em extintores de incêndio, em botijões de gás de cozinha, etc.

As figuras abaixo ilustram o que chamamos de manômetro de Bourdon. Seu elemento medidor de pressão consiste em um tubo metálico oco, no formato de um arco de círculo, fechado em uma das extremidades e com a outra extremidade livre para ser conectada a tubulação cuja pressão exercida por um fluido se deseja medir.

Conforme ilustrado nas Fig. 1 e 2, o manômetro de Bourdon é, basicamente, constituído por três elementos:

* *Recebido: outubro de 2013.*
Aceito: dezembro de 2013.

⁺ For measuring the pressure element Bourbon tube type, is Hooke's Law valid?

¹ O inventor francês Eugène Bourdon (1808-1884) foi quem, em 1849, obteve a patente do medidor de pressão do tipo tubo metálico, por isso, o manômetro metálico que possui este elemento de medição foi batizado com o sobrenome de seu inventor (REIF-ACHERMAN; MACHUCA-MARTINEZ, 2010).

- **Elemento medidor de pressão elástico** do tipo tubo metálico (tubo de Bourdon): Este elemento converte a pressão P em um deslocamento S , isto é, produz um sinal relativo à pressão interna.

- **Mecanismo** (sistema de alavanca e engrenagem): Este elemento, por meio de um sistema de alavanca e engrenagem, amplifica e converte o deslocamento da extremidade do tubo de Bourdon em um ângulo de rotação para mover o ponteiro indicador da medida de pressão, uma vez que o deslocamento da extremidade do tubo é relativamente pequeno.

- **Mostrador** (ponteiro e escala graduada): Este elemento possibilita que o sinal seja lido por meio de uma escala graduada para conversão da posição do ponteiro em uma medida de pressão.

Para proteção do manômetro contra condições ambientais adversas, o tubo de Bourdon, o mecanismo e o mostrador ainda são instalados numa caixa (Fig. 3)².

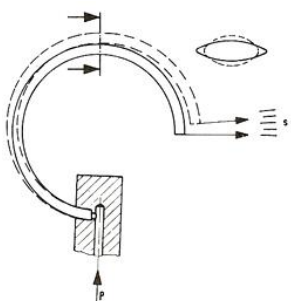


Fig. 1 - Elemento medidor de pressão elástico do tipo tubo metálico de Bourdon (KLINGENBERG, 1991).

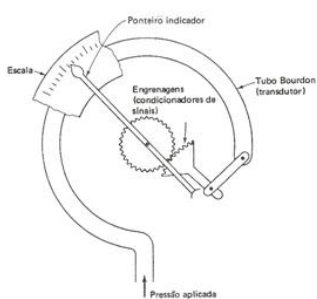


Fig. 2 - Elemento de medição elástico tubular com mecanismo e mostrador (BOLTON, 2005).



Fig. 3 – Manômetro.

O funcionamento do manômetro de Bourdon consiste na variação do raio de curvatura do elemento medidor de pressão elástico (tubo de Bourdon) com a pressão interna.

Quando a pressão no interior do tubo aumenta, seu raio de curvatura também aumenta, isso faz o ponteiro girar no sentido horário (Fig. 2), tendo como limite o valor máximo da escala graduada. Em outras palavras, à medida que a pressão exercida por um fluido (líquido ou gás) no interior do tubo de Bourdon

² Disponível em: <<http://www.recordsa.com.br>>. Acesso em: 06 dez. 2013.

aumenta, a deformação elástica sofrida pelo tubo também aumenta, respeitando seu limite elástico, pois, caso contrário, sofrerá deformações permanentes.

Quando a pressão interna diminui, seu raio de curvatura também diminui e o ponteiro gira no sentido anti-horário (Fig. 2), tendo como limite o valor mínimo da escala graduada. O manômetro indicará zero toda vez que a pressão interna for igual à pressão externa (pressão atmosférica local).

Quando a pressão interna for menor que a pressão atmosférica local, o uso do manômetro ilustrado na Fig. 3, por exemplo, não é aconselhado, pois o mesmo não realiza medidas de pressões negativas. Neste caso, o instrumento indicado é o manovacuômetro (Fig. 4) ³.

Dito isso, a força que faz o tubo de Bourdon voltar a assumir o formato circular obedece à lei de Hooke?



Fig. 4 – Manovacuumetro.

Conforme a lei de Hooke ($F = -KX$), a força restauradora F (força que faz um sistema voltar à situação de equilíbrio) é proporcional ao deslocamento X do sistema da sua posição de equilíbrio. A constante de proporcionalidade K é característica do sistema (constante elástica do sistema). A origem do sinal negativo está no fato de que F tende a se opor ao deslocamento X do sistema, trazendo-o de volta à situação de equilíbrio (NUSSENZVEIG, 2002).

Segundo Nussenzveig (2002), verifica-se experimentalmente que a lei de Hooke vale para o módulo de X suficientemente pequeno, ou que a lei de Hooke deixa de valer se o módulo de X for excessivamente grande.

No caso do tubo de Bourdon (desde que dentro do seu limite elástico), a força que faz o tubo voltar à sua posição de equilíbrio obedece, aproximadamente, a lei de Hooke na região experimental que apresenta menor flutuação da constante elástica (LABURÚ; ALMEIDA, 1998). Contudo, na região onde o tubo de Bourdon apresenta maior flutuação da constante elástica, e na região fora do limite elástico do tubo (comportamento plástico), a lei de Hooke não é válida.

Nas medidas de pressões negativas, a deformação sofrida pelo tubo de Bourdon (desde que dentro do seu limite elástico) também remete à lei de Hooke

³ Disponível em: <<http://www.mgiinstrumentacao.com.br/pdf/184.pdf>> Acesso em: 27 de out. 2013.

em uma dada região experimental, porém não com distensão do tubo, mas sim com retração.

Portanto, parafraseando Laburu e Almeida (1998), para sistemas reais, a exemplo do tubo de Bourdon, a lei de Hooke somente é válida, ou pode ser aproximada, para certas regiões experimentais.

Referências

BOLTON, N. **Instrumentação e Controle**. Curitiba: Hermus, 2005.

KLINGENBERG, H. J. **Wika**: Manual de instrumentos medidores de pressão com elementos elásticos. 1. ed. São Paulo, 1991.

LABURÚ, C. E.; ALMEIDA, C. J. Lei de Hooke: uma comparação entre sistemas lineares. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 1, p. 71-81, abr. 1998.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

REIF-ACHERMAN, S.; MACHUCA-MARTINEZ, F. Eugène Bourdon y la evolución del manómetro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 1601, mar. 2010.