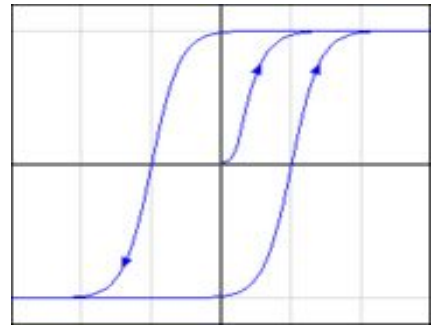


# O que é Histerese?



Por Gilberto Carlos Fidélis

Você já deve ter “sentido” o efeito da histerese quando dirige. Quando estamos em uma certa velocidade e de repente tiramos o pé do acelerador percebemos que o ponteiro do velocímetro indica uma velocidade maior do que ela é na realidade. Isto significa que o ponteiro do velocímetro, ao caminhar no sentido decrescente de velocidade, indica uma velocidade maior do que a real e aí você fica comparando quando você está acelerando ou em regime de velocidade constante: parece que quando aceleramos os “mesmos 80 km/h são maiores”.

Caso muito comum de instrumentos de medição que apresentam o efeito da histerese é o dos manômetros que operam com tubos do tipo Bourdon. Estes são circulares, com uma seção de forma não-circular. Quando uma pressão é aplicada ao interior do tubo, a seção achatada assume uma forma mais circular, conforme apresentado na figura 1. Este efeito corresponde ao mesmo obtido no conhecido brinquedo “língua de sogra”, raro atualmente de se encontrar, mesmo em aniversários de crianças.

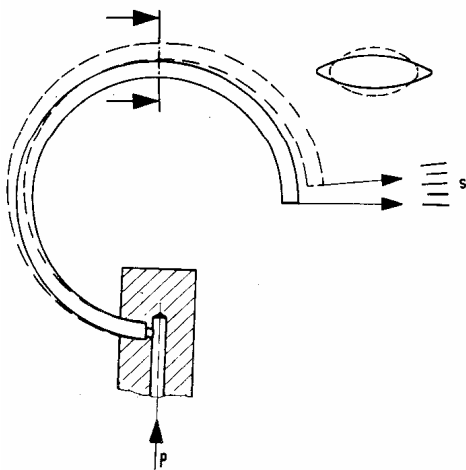


Figura 1. A deformação do elemento elástico de um tubo tipo Bourdon.

Quando um material é esforçado por tensões crescentes, o que corresponde a um alongamento do material, ele retomará ao seu valor inicial segundo uma curva localizada acima da curva "ascendente". A diferença entre as curvas ascendente e descendente é chamada de histerese, e é mostrada na figura 2. Ou seja, a histerese surge pela diferente resposta que o instrumento de medição apresenta quando este é estimulado no sentido de pressão crescente ou decrescente. No que tange ao instrumento medidor da pressão, isso significa que o ponteiro retorna à sua posição zero inicial. A magnitude da histerese é uma função dos diversos efeitos entre os quais se encontram a amplitude da pressão, a qualidade das superfícies dos tubos e a estrutura do material.

A histerese difere da deformação permanente de um elemento medidor, após uma carga excessiva. As deformações permanentes resultam em que o ponteiro não retorne à sua posição zero, após a eliminação da carga. Isso é causado, em certos casos, por cargas de choque excessivas ou até pela aplicação de uma pressão muito além daquela possível de ser medida pelo instrumento de medição, gerando deformações permanentes no elemento elástico. Os instrumentos medidores têm que ser protegidos contra essas sobrecargas.

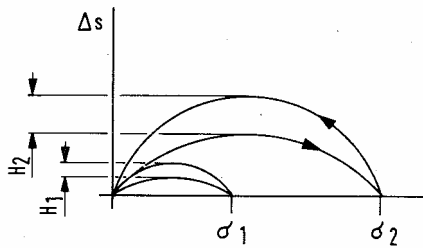


Figura 2. O efeito da Histerese sobre o material de que é feito o elemento elástico de um tubo tipo Bourdon.

A histerese em um instrumento de medição ocorre quando há diferença entre a indicação para um dado valor do mensurando quando este foi atingido por valores crescentes e a indicação quando o mensurando é atingido por valores decrescentes. Isto significa dizer que somente devemos nos preocupar com a histerese nos instrumentos que são efetivamente utilizados para medir o valor de uma grandeza, ora no sentido crescente ora no sentido decrescente.

É comum em instrumento medidor de deslocamento, como “relógios comparadores” ou em medidores de pressão. Instrumentos como micrômetros e paquímetros, por exemplo, não se aplica o conceito de histerese, pois são tipicamente instrumentos de medição que medem em apenas um sentido. Quando a histerese é importante as normas técnicas de calibração do instrumento exigirão que ela seja quantificada.

O valor da histerese poderá ser diferente se o ciclo de carregamento e descarregamento for completo ou parcial. A histerese é um fenômeno bastante típico nos instrumentos mecânicos, tendo como fonte de erro, principalmente, folgas e deformações associadas ao atrito.

Um instrumento de medição é isento de histerese quando produz a mesma indicação quando se está medindo ora em sentido crescente ou decrescente. Na prática significa dizer que o erro do instrumento é o mesmo para os dois sentidos de medição. A histerese (H) é calculada pela expressão

$$H = |\text{indicação no sentido decrescente} - \text{indicação no sentido crescente}| \text{ ou}$$

$$H = \frac{|\text{erro de indicação médio no sentido decrescente} - \text{erro de indicação médio no sentido crescente}|}{\text{ou}}$$

$$H = |\text{tendência no sentido decrescente} - \text{tendência no sentido crescente}|$$

para o mesmo valor da grandeza medida.

Lembramos que a tendência é o erro de indicação médio do instrumento de medição, para o mesmo valor da grandeza. O exemplo que segue ajuda no entendimento dos conceitos.

### **Exemplo de Determinação de Histerese**

Um manômetro tipo Bourdon foi calibrado contra um outro manômetro, também tipo Bourdon. A figura 3 ilustra a forma de execução da calibração pelo método indireto ou de comparação.



Figura 3. Calibração de um manômetro pelo método indireto ou da comparação.

A grande vantagem deste método é que o executante da calibração pode, quase que estaticamente, gerar incrementos de pressão muitos pequenos e com certa facilidade. Além disso, pode o executor gerar pressões nos sentidos crescentes e decrescentes a fim de avaliar a histerese do manômetro a calibrar. Foram realizados três ciclos de calibração e os valores, ainda na forma de dados brutos, em MPa, estão apresentados na tabela da figura 4. Um ciclo de calibração corresponde a submeter os manômetros a valores de pressão desde zero até o valor máximo, valor final de escala (=10 MPa), com conseqüente descarregamento até zero.

Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3	
Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão	Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão	Valor Indicado pelo Instrumento	Valor Indicado pelo Padrão
1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,0
2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	1,8
3,0	3,2	3,0	3,2	3,0	3,2
4,0	4,1	4,0	4,2	4,0	4,0
5,0	5,3	5,0	5,5	5,0	5,4
6,0	6,4	6,0	6,4	6,0	6,4
7,0	7,3	7,0	7,1	7,0	7,2
8,0	8,1	8,0	8,0	8,0	7,9
9,0	8,9	9,0	8,8	9,0	9,0
10,0	9,7	10,0	9,7	10,0	9,7
10,0	9,6	10,0	9,5	10,0	9,4
9,0	8,6	9,0	8,7	9,0	8,8
8,0	7,7	8,0	7,8	8,0	7,6
7,0	7,0	7,0	6,8	7,0	6,9
6,0	6,2	6,0	6,1	6,0	6,3
5,0	5,3	5,0	5,3	5,0	5,3
4,0	3,9	4,0	3,7	4,0	3,8
3,0	3,0	3,0	3,2	3,0	3,1
2,0	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9
1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,1

Figura 4. Tabela de dados brutos da calibração de um manômetro, em MPa.

Observe que os dez primeiros valores de cada ciclo significam calibração no sentido de pressão crescente e os demais dez, calibração no sentido decrescente.

Os valores processados estão na tabela da figura 5. Escolhemos o valor de 10 MPa, marcado pela seta na tabela da figura 4, no sentido de pressão decrescente, para exemplificar como chegamos no valor médio indicado pelo instrumento, valor médio indicado pelo padrão, erro de indicação médio ou tendência e, finalmente da histerese.

O valor médio indicado pelo instrumento foi obtido pela média dos valores da coluna “valor indicado pelo instrumento” para os ciclos 1, 2 e 3. Como os três valores são iguais a 10,0 MPa, este também será o valor da média. Os três valores indicados pelo instrumento, em cada ciclo de pressão crescente, não são considerados no cálculo, pois o sentido da pressão é diferente.

O valor médio indicado pelo padrão, similarmente, foi obtido pela média dos valores da coluna “valor indicado pelo padrão” para os ciclos 1, 2 e 3. Como esses valores foram 9,6 MPa, 9,5 MPa e 9,4 MPa, obtemos como média o valor 9,5 MPa, conforme mostra a tabela da figura 5. Similarmente ao caso do instrumento calibrado, os três valores indicados pelo padrão, em cada ciclo de pressão crescente, não são considerados no cálculo, pois o sentido da pressão é diferente.

O erro de indicação médio ou tendência do instrumento calibrado é a diferença entre o valor médio indicado pelo instrumento e o valor médio indicado pelo padrão. Dessa forma obtemos,

Tendência = valor médio indicado pelo instrumento - valor médio indicado pelo padrão  
ou

$$\text{Tendência} = 10,0 \text{ MPa} - 9,5 \text{ MPa} = 0,5 \text{ MPa}$$

O sinal positivo confirma que o manômetro indica, na média, mais do que o manômetro padrão.

A histerese, para o ponto de calibração em análise, pode ser calculada pelas equações já apresentadas:

$$H = |\text{indicação no sentido decrescente} - \text{indicação no sentido crescente}|, \text{ logo}$$

$$H = |9,5 - 9,7| = 0,2 \text{ MPa} \text{ ou}$$

$$H = |\text{tendência no sentido decrescente} - \text{tendência no sentido crescente}| = \text{logo}$$

$$H = |0,5 - 0,3| = 0,2 \text{ MPa}$$

Valor Médio Indicado pelo Instrumento	Valor Médio Indicado pelo Padrão	Erro de Indicação Médio ou Tendência	Histerese
1,0	1,1	-0,1	
2,0	1,9	0,1	
3,0	3,2	-0,2	
4,0	4,1	-0,1	
5,0	5,4	-0,4	
6,0	6,4	-0,4	
7,0	7,2	-0,2	
8,0	8,0	0,0	
9,0	8,9	0,1	
10,0	9,7	0,3	
10,0	9,5	0,5	0,2
9,0	8,7	0,3	0,2
8,0	7,7	0,3	0,3
7,0	6,9	0,1	0,3
6,0	6,2	-0,2	0,2
5,0	5,3	-0,3	0,1
4,0	3,8	0,2	0,3
3,0	3,1	-0,1	0,1
2,0	1,9	0,1	0,0
1,0	1,0	0,0	0,1

Figura 5. Dados processados da calibração do manômetro.

## A Representação Gráfica da Histerese

Uma forma interessante de se visualizar a histerese é o uso da curva de erros ou de tendência. Neste gráfico os valores do eixo das abscissas, eixo geralmente conhecido como “x”, representa os valores indicados pelo instrumento calibrado e o eixo das ordenadas, eixo geralmente conhecido como “y”, o erro de indicação médio ou tendência para cada valor de indicação. Neste gráfico plotamos a curva de erros para o sentido crescente de pressão, marcada pelos “quadrados escuros” e a curva de erros para o sentido decrescente de pressão, marcados pelo triângulos claros. A diferença entre as duas curvas é a histerese e está representada pela letra H no gráfico. Observe que cada ponto de calibração pode apresentar um valor de histerese diferente. No caso do valor de 10,0 MPa a histerese é de 0,2 MPa, enquanto que para o valor de 2,0 MPa a histerese é zero.

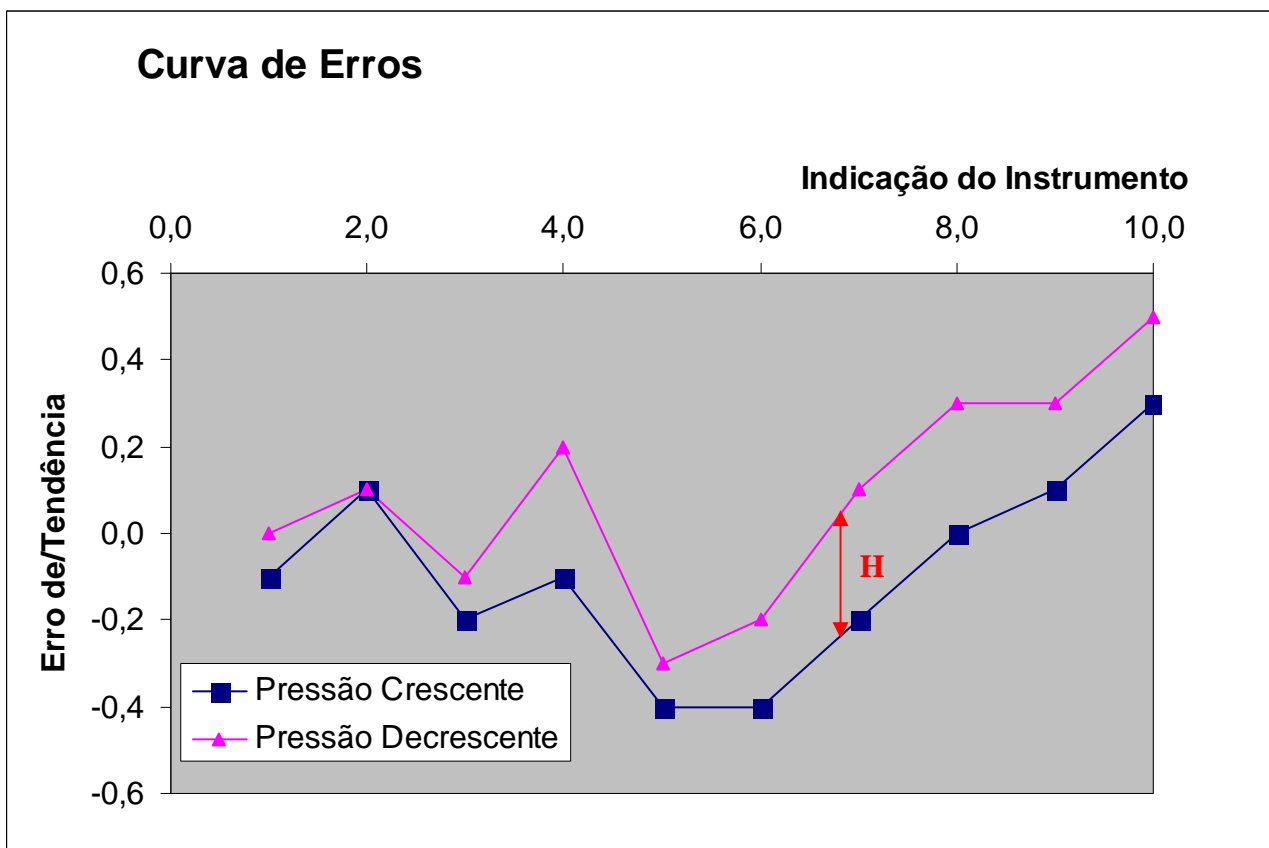


Figura 6. Gráfico da curva de erros do manômetro calibrado.

Não é comum as duas curvas se cruzarem, mas pode acontecer em situações muito raras. O caso mais comum é a curva de erros da volta estar acima da curva da ida pelos motivos já expostos anteriormente. ◀

Gilberto Carlos Fidélis é Gerente de Capacitação do Departamento de Capacitação em Metrologia e Qualidade do Centro de Educação, Consultoria e Treinamento – CECT e é Gerente da Redação da Revista Metrologia e Qualidade (gcfidelis@cect.com.br)