

SENSIBILIDADE DO EQUIPAMENTO \times PRECISÃO DA MEDIDA
 (Sensitivity of Equipment \times Accuracy of Measurement)
 (Comentário sobre o artigo "O que é uma Medida?" [1])
 Comment on the paper "What is a Measurement?"

P. H. DIONISIO

Instituto de Física da UFRGS

Caixa Postal 15051

91500 Porto Alegre, RS

O artigo em epígrafe esclarece de forma oportuna e definitiva um fato que, embora ponto pacífico para especialistas e pesquisadores experimentais, ainda é de difícil aceitação para muitos: em princípio, pode-se obter o valor de uma grandeza com precisão muito melhor do que a menor divisão da escala do equipamento de medida utilizado, desde que nos dediquemos a obter um número suficientemente grande de medidas independentes entre si. Há, no entanto, um aspecto da questão que merece ser comentado: para que isto seja possível, é necessário que os dados obtidos apresentem uma considerável dispersão. Em outras palavras, é necessário que o sistema de coleta de dados possua uma sensibilidade tal que permita que se tornem aparentes as flutuações da grandeza que está sendo medida, flutuações estas sempre presentes no decorrer de qualquer processo de medição [2]. Este assunto encontra-se tratado na referência 3, onde se estabelece um critério para que se possa atribuir algum sentido ao tratamento estatístico dos dados. Limitar-nos-emos aqui a expor este critério, através de um exemplo.

Seja o problema de determinar-se o ângulo de desvio mínimo de um raio luminoso ao passar por um prisma de base triangular. Dispomos, além do prisma, de um disco com a bor-

da graduada de dois em dois graus e de uma casa de lâmpada, como os do conhecimento equipamento Bender, e de um espectrômetro com escala dotada de nônio para leituras de até um décimo de grau, como os usualmente existentes nos laboratórios de Física Geral.

Em primeiro lugar, mencionemos que a situação proposta na referência 1 não é típica dos laboratórios de Física Experimental, já que usualmente o pesquisador não dispõe de dezenas de equipamentos equivalentes nem conta com a colaboração de dezenas de operadores. Para obter medidas o mais independentes possível entre si, recorrerá ele ao procedimento de reajustar inteiramente seu equipamento a cada nova medida. Desta forma, eventuais vícios de montagem (por exemplo, mau direcionamento do feixe luminoso sobre o disco ou posicionamento incorreto do prisma), que poderiam redundar em erros sistemáticos, são convertidos em erros aleatórios, passíveis de tratamento mediante procedimentos estatísticos, no mesmo contexto de outros erros aleatórios provenientes de outras fontes (flutuação de condições externas, variações intrínsecas da grandeza a medir, etc).

Suponhamos, primeiramente, que o operador não seja muito habilidoso e não consiga uma boa colimação do feixe luminoso, de modo que só possa discriminar entre ângulos que diferem de dois graus entre si. Neste caso, a sensibilidade do sistema de coleta de dados será insuficiente até mesmo para evidenciar o efeito dos reajustes sucessivos. A Tabela I.A mostra que, nesta situação, obter-se-ia repetitivamente sempre o mesmo resultado. No entanto, um operador mais habilidoso poderia obter uma melhor colimação do feixe luminoso, permitindo-se fazer leituras interpoladas na escala, obtendo então os dados da Tabela I.B, intervalados de um grau. Já a Tabela I.C mostra como seriam os resultados obtidos com o espectrômetro, um equipamento bem mais sensível.

Expressa-se, geralmente, o resultado de uma série de medidas pela sua média, estimando-se o intervalo de confiança pelo desvio padrão da média (Equação 8 da ref. 1). A apli

cação indiscriminada desta regra nas três situações da Tabela I, levaria ao absurdo de atribuir-se a maior precisão (erro zero) justamente ao valor obtido de forma mais grosseira (Tabela I.A). Deve-se isto ao fato de que, evidentemente, os dados obtidos desta forma não se prestam a interpretação via Teoria de Erros. No caso C, onde o equipamento foi suficientemente sensível para detectar as variações aleatórias da grandeza a medir, o desvio padrão é, sem dúvida, uma boa indicação do intervalo de confiança. Mas no caso B, uma situação intermediária, poder-se-ia atribuir algum significado às grandezas estatísticas? Eis aí justificada a necessidade de um critério, o qual passamos a expor [3].

Inicialmente, vamos definir a imprecisão de leitura IL como sendo a metade da diferença entre dois valores vizinhos capazes de serem discriminados no procedimento de medida. A Tabela I contém os valores de IL correspondentes a cada caso. Se o desvio padrão de uma medida for maior do que IL (caso C), o desvio padrão da média é uma boa estimativa do intervalo de confiança, e pode-se reduzir indefinidamente a margem de incerteza sobre o valor da grandeza medida, desde que se aumente indefinidamente o número de medições realizadas com este instrumento. Caso contrário (desvio padrão das medidas menor do que IL, caso A), deve-se considerar o próprio valor de IL como a incerteza no valor da grandeza medida, e não se pode pretender obter certeza maior do que esta mediante repetição do procedimento de medida. Assim, nos casos A e C da Tabela I, expressaríamos os resultados da seguinte forma:

$$\text{Caso A: } \theta = (42 \pm 1)^{\circ}$$

$$\text{Caso C: } \theta = (41,59 \pm 0,04)^{\circ}$$

No caso B, a dispersão das medidas ainda é pequena, de sorte que o resultado será expresso como $\theta = (41,7 \pm 0,5)^{\circ}$, sendo também improdutivo prosseguir na coleta de dados. Deve-se advertir que, quando o desvio padrão de uma medida for pouco maior do que IL, sendo também ele uma grandeza sujeita

a incerteza, dever-se-á calcular um intervalo de confiança para o desvio padrão, de modo a saber-se o quanto é provável que ele seja mesmo maior do que IL; ou então, prudentemente, abandonar-se-á a avaliação estatística, adotando-se o próprio valor de IL como incerteza nas medidas.

TABELA I - Três conjuntos de medidas do ângulo de desvio mínimo θ de um prisma, obtidos com equipamentos de diferentes sensibilidades, conforme exposto no texto. f representa a frequência com que cada valor foi obtido. Abaixo dos dados, estão listados, pela ordem, a média, o desvio padrão de uma medida, o desvio padrão da média e a imprecisão de leitura, esta última definida no texto (todos os valores expressos em graus).

A		B		C	
θ	f	θ	f	θ	f
42	15	41	5	41.3	1
		42	10	41.4	2
				41.5	3
				41.6	4
				41.7	3
				41.8	1
				41.9	1
$\bar{\theta}$	42	41.67		41.59	
σ_{θ}	0	0.49		0.16	
$\sigma_{\bar{\theta}}$	0	0.13		0.04	
IL	1	0.5		0.05	

REFERÊNCIAS

- 1) O. Helene et al. O que é uma medida? Revista de Ensino de Física, 13(1), 1991.
- 2) N.C. Barford, Experimental measurements: precision, error and truth. Addison-Wesley Publishing Co., Londres, 1967.
- 3) F.L. da Silveira, P.H. Dionísio e B. Buchweitz, Inferência sobre a média de uma grandeza a partir de um conjunto de dados: um aspecto relacionado com a sensibilidade das medidas, Ciência e Cultura, 35(10), 492, 1983.

Original recebido em 17/12/90

Aceito para publicação em 25/03/91