

Algarismos significativos

O número de dígitos ou algarismos que devem ser apresentados em um dado experimental é determinado pelo erro padrão neste resultado.

Erro padrão

O erro padrão σ em uma grandeza y pode ser interpretado por meio do intervalo de confiança P correspondente, para o valor verdadeiro y_v :

$$y - \sigma < y_v < y + \sigma$$

Esta inequação tem nível de confiança de $P = 68\%$. Ou seja, tem 68% de probabilidade de y_v de estar nesse intervalo.

Conceito de algarismo significativo

Algarismo significativo em um número pode ser entendido como cada algarismo que individualmente tem alguma informação, quando o número é escrito na forma decimal.

Dado um número na forma decimal,

$$0,000XY \dots ZWABC \dots$$

Os zeros à esquerda do primeiro algarismo diferente de zero não são significativos. O único significado do conjunto dos zeros é indicar a posição da vírgula decimal.

Os modos de eliminar esses zeros à esquerda são mudando as unidades da grandeza ou colocando em notação científica.

Exemplo 1: Em uma medida de comprimento obteve-se: $x = 0,0012345$ m. Para eliminar os zeros podemos colocar $x = 1,2345$ mm ou $x = 1,2345 \times 10^{-3}$ m.

Deve ser considerado que existe uma incerteza associada ao número que representa a grandeza experimental. Isto significa que todos os algarismos à direita além de um certo algarismo W são não significativos. Para determinar qual é esse algarismo W deve-se partir do erro padrão.

Se o erro padrão é dado com 2 algarismos, os 2 algarismos correspondentes na grandeza podem ser considerados como os 2 últimos algarismos significativos.

Quando o erro padrão é dado com um único algarismo, o algarismo correspondente na grandeza é o último algarismo significativo.

Uma grandeza experimental deve ser escrita conforme:

- Os algarismos não significativos à direita nunca devem ser escritos no resultado final;
- Zeros à esquerda devem ser evitados por meio de mudança de unidades ou usando notação científica.

Exemplo 2: Em uma medida de comprimento obteve-se: $x = 0,12345$ m com um instrumento que possui um erro padrão de $\sigma_x = 0,0012$ m. Como escrever essa grandeza?

- Os 2 algarismos significativos do erro padrão são 12 e está na casa dos milésimos. Na grandeza os 2 algarismos significativos correspondentes são 34. Assim o algarismo 5 não é significativo. Com isso a grandeza deve ser escrita como:
 $x = 0,1234 \text{ m}$.
- Os zeros à esquerda devem ser evitados por mudança de unidades ou por notação científica. Assim a grandeza deve ser escrita como: $x = 1,234 \text{ dm}$ ou
 $x = 1,234 \times 10^{-1} \text{ m}$.

Número de algarismos significativos no erro padrão

Adotaremos a seguinte regra para determinar o número de algarismos significativos para o erro padrão além de zeros à esquerda:

- O erro padrão deve ser dado com 2 algarismos significativos quando o primeiro algarismo no mesmo for 1 ou 2;
- O erro padrão pode ser dado com 1 algarismo quando o primeiro algarismo no mesmo for 3 ou maior;
- O erro padrão pode ser dado com 2 algarismos em qualquer caso.

Exemplo 3: Após uma propagação de erros, o erro padrão de uma medida de carga elétrica foi determinada como $\sigma_q = 0,00346 \text{ C}$. Como é o erro padrão dessa medida desprezando os algarismos não significativos? Seguindo as regras para o erro padrão, o algarismo 6 não é significativo e o algarismo 4 pode ou não ser significativo. Assim temos $\sigma_q = 0,003 \text{ C}$ ou $\sigma_q = 0,0034 \text{ C}$.

Arredondamento de números

Quando um dos números tem algarismos significativos excedentes, então estes devem ser eliminados com arredondamento do número.

Se em um determinado número:

$$\dots W, YX ABCD \dots$$

$ABCD \dots$ são algarismos que por qualquer motivo devem ser eliminados, o algarismo X deve ser arredondado aumentando de uma unidade ou não.

A parte $ABCD \dots$ também pode ser entendida como uma fração de X de 0,000... a 0,999...

O arredondamento de número deve ser feito conforme as regras:

- Frações de 0,000... a 0,499... são simplesmente eliminadas (arredondamento para baixo);
- Frações de 0,500... a 0,999... são eliminadas, mas o algarismo X a ser arredondado aumenta 1 (arredondamento para cima)
- Se a fração a ser eliminada é exatamente 0,500..., então o arredondamento deve ser tal que o algarismo X depois do arredondamento deve ser par.

Exemplos:

$$\begin{array}{ll} 2,43 \Rightarrow 2,4 & 3,688 \Rightarrow 3,69 \\ 5,6499 \Rightarrow 5,6 & 5,6501 \Rightarrow 5,7 \\ 5,6500 \Rightarrow 5,6 & 5,7500 \Rightarrow 5,8 \\ 9,475 \Rightarrow 9,48 & 3,325 \Rightarrow 3,32 \end{array}$$

Formas de indicar a grandeza e o erro padrão

Uma grandeza experimental deve ser sempre dada com a respectiva incerteza.

Exemplos:

Constante universal de gravitação

$$G = (6,6726 \pm 0,0008) \times (10^{-11} m^3 s^{-2} kg^{-1})$$
$$G = 6,6726(8) \times (10^{-11} m^3 s^{-2} kg^{-1})$$

Carga do elétron

$$e = (1,6021773 \pm 0,0000005) \times 10^{-19} C$$
$$e = 1,6021773(5) \times 10^{-19} C$$

Exemplo de uma medida

Em um experimento para determinar a aceleração da gravidade, foi obtido

$g = 0,0098136 km/s^2$ e o erro padrão foi de $\sigma_g = 0,000054 km/s^2$. Indique a grandeza experimental desconsiderando os algarismos não significativos.

Para essa indicação, vamos fazer em três partes:

- 1) Tirar os zeros à esquerda da grandeza $g = 0,0098136 km/s^2 \Rightarrow g = 9,8136 m/s^2$ e usar essas mudanças no erro padrão $\sigma_g = 0,000054 km/s^2 \Rightarrow \sigma_g = 0,0054 m/s^2$
- 2) Tirar os algarismos não significativos à direita do erro padrão $\sigma_g = 0,0054 m/s^2 \Rightarrow \sigma_g = 0,005 m/s^2$
- 3) Tirar os algarismos não significativos à direita da grandeza tomando como referência o erro padrão $g = 9,8136 m/s^2 \Rightarrow g = 9,814 m/s^2$

Assim, a aceleração da gravidade é dada por:

$$g = (9,814 \pm 0,005) m/s^2$$

ou

$$g = 9,814(5) m/s^2.$$

Exercícios

Indique as grandezas experimentais e seus respectivos erros padrões desconsiderando os algarismos não significativos dos seguintes valores experimentais:

- A. $T = 0,005673 K$ e $\sigma_T = 0,000123 K$
- B. $V = 12.045,6 V$ e $\sigma_V = 32,5V$
- C. $P = 0,00450 bar$ e $\sigma_P = 0,00025 bar$

Referência

Introdução à Teoria de Erros - Apostila de Laboratório de Física 1 e 2, J. H. Vuolo, Universidade de São Paulo, 1992.