Expressão da melhor estimativa de uma medida: $Q = (q \pm \Delta q)\text{u. m.}$

q: estimativa (mesmo número de casas decimais que Δq)	Δq: incerteza (1 ou 2 algarismos significativos)	u.m.: unidade de medida (comum para q e Δq)

Estatística

- Conjunto com n medidas $\{x_i\}$ obtido com mensurando(s) no mesmo estado e com único instrumento de medida com resolução Δx_r. A melhor estimativa, $x = (\bar{x} \pm \Delta\bar{x})$u.m., é dada por

Estimativa	Incerteza Quadrática	Observação
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{n}$	$(\Delta\bar{x})^2 = \frac{s^2(\bar{x})}{n}, \quad s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$\Delta\bar{x} \geq \Delta x_r$. Se $\Delta\bar{x} < \Delta x_r$, então $\Delta\bar{x} = \Delta x_r$

- Via Calculadora

Entrada
[MODE][2]
x_1 [DT]
x_2 [DT]
...
x_n [DT]

Cálculo	Obs.
[SHIFT][2][1][=]	Média aritmética, $\bar{x}$
[SHIFT][2][3][=]	Desvio padrão amostragem, $s(\bar{x})$

Reinício	Obs.
[SHIFT][CLR][3][=][=]	Padrão fabricante

Aritmética

- Dadas duas medidas, $A = (a \pm \Delta a)\text{u. m.}$, $B = (b \pm \Delta b)\text{u. m.}$, a melhor estimativa, $Q = (q \pm \Delta q)\text{u. m.}$, é dada por meio de fórmulas matemática e pela propagação da incerteza

	Estimativa	Incerteza Quadrática
Adição	$q = a + b$ $q = a - b$	$(\Delta q)^2 = (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2$
Multiplicação	$q = a^p \cdot b^q$	$\left(\frac{\Delta q}{q}\right)^2 = \left(p\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(q\frac{\Delta b}{b}\right)^2$

- Funções especiais

Estimativa	Incerteza	Observação
$q = a^p$	$\Delta q = \lvert p \cdot a^{p-1} \cdot \Delta a \rvert$	p é adimensional
$q = \log_{10}(k \cdot a)$	$\Delta q = \lvert \Delta a/(a \cdot \ln 10) \rvert$	$k{\cdot}a$ é adimensional, positivo; k é constante
$q = e^{k \cdot a}$	$\Delta q = \lvert k \cdot e^{a} \cdot \Delta a \rvert$	$k{\cdot}a$ é adimensional, k é constante
$q = \ln(k \cdot a)$	$\Delta q = \lvert \Delta a/a \rvert$	$k{\cdot}a$ é adimensional, positivo; k é constante
$q = \text{sen}(k \cdot a)$	$\Delta q = \lvert k \cdot \cos(k \cdot a) \cdot \Delta a \rvert$	$k{\cdot}\Delta a$ em radianos, k é constante
$q = \cos(k \cdot a)$	$\Delta q = \lvert k \cdot \text{sen}(k \cdot a) \cdot \Delta a \rvert$	$k{\cdot}\Delta a$ em radianos, k é constante
$q = \tan(k \cdot a)$	$\Delta q = \lvert k \cdot \sec^2(k \cdot a) \cdot \Delta a \rvert$	$k{\cdot}\Delta a$ em radianos, k é constante

Gráfico

Conjunto com n pares de medidas $\{x_i, y_i\}$ obtido com único instrumento para cada propriedade e mensurandos em diferentes estados, no qual está implícita uma relação linear $y = B \cdot x + A$. A melhor estimativa da inclinação, $B = (B_{med} \pm \Delta B_{med})\text{u. m.}$, e a do intercepto, $A = (A_{med} \pm \Delta A_{med})\text{u. m.}$, são determinadas

- Via Calculadora – Método dos Mínimos Quadrados (M.M.Q.)

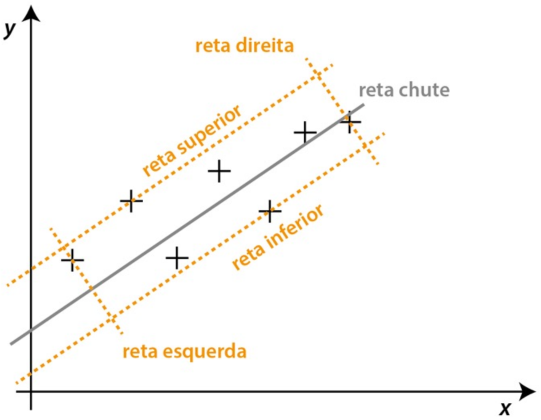
Entrada
[MODE][3][1]
x_1 [,] y_1 [DT]
x_2 [,] y_2 [DT]
...
x_n [,] y_n [DT]

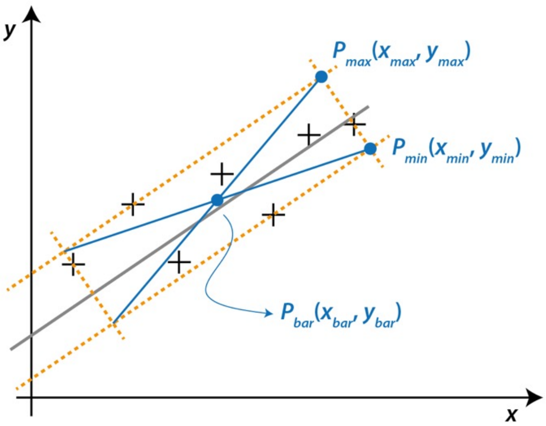
Cálculo	Obs.
[SHIFT][2][→][→][2][=]	Inclinação, B_{med} (estimativa)
[SHIFT][2][→][→][1][=]	Intercepto, A_{med} (estimativa)

Reinício	Obs.
[SHIFT][CLR][3][=][=]	Padrão fabricante

	Inclinação	Intercepto
Incerteza quadrática	$(\Delta B_{med})^2 = \dfrac{\sum y^2 + B^2 \sum x^2 - 2B \sum xy - nA^2}{(n-2)(\sum x^2 - n\bar{x}^2)}$	$(\Delta A_{med})^2 = \dfrac{\sum x^2}{n}(\Delta B)^2$

- Via gráfico em papel milimetrado: marcar os pontos. A partir da reta "chute", desenhar "caixote" (retas acima, abaixo, esquerda, direita e diagonais); identificar os pontos $P_{bar} = (x_{bar}, y_{bar})$, $P_{max} = (x_{max}, y_{max})$ e $P_{min} = (x_{min}, y_{min})$;





Determinar as inclinações máxima, $B_{max} = \frac{y_{max} - y_{bar}}{x_{max} - x_{bar}}$, e mínima, $B_{min} = \frac{y_{min} - y_{bar}}{x_{min} - x_{bar}}$; calcular

		Estimativa	Incerteza
Gráfico Linear $y = B \cdot x + A$	Inclinação: B	$B_{med} = (B_{max} + B_{min})/2$	$\Delta B_{med} = \lvert B_{max} - B_{min} \rvert /2$
	Intercepto: A	$A = y_{bar} - B_{med} \cdot x_{bar}$	$\Delta A_{med} = \lvert \Delta B_{med} \cdot x_{bar} \rvert$

Análise

Obtida a melhor estimativa da medida procurada: $Q_{exp} = \left(q_{exp} \pm \Delta q_{exp}\right)\text{u. m.}$

- **Desvio da Precisão:** $DP = \frac{\Delta q_{exp}}{|q_{exp}|}$

  Indica o quanto repetidas medições fornecerão medidas diferentes umas das outras. (ideal: $DP < 10\%$).
  Nota: Precisão, $P = 1 - DP$

Conhecendo-se uma referência ou valor tabelado: $Q_o = (q_0 \pm \Delta q_0)\text{u. m.}$

- **Desvio da Exatidão:** $DE = \frac{q_{exp} - q_0}{q_0}$

  Indica o desvio a maior ou a menor do valor medido em relação ao valor de referência (ideal: $|DE\%| < 10\%$).
  Nota: Exatidão, $E = 1 - DE$

- **Desvio Global:** $DG = \frac{|q_{exp} - q_0| + \Delta q_{exp}}{\Delta q_0}$

  Porcentagem da melhor estimativa medida em relação à melhor estimativa da referência
  (ideal: $AG < 100\%$).

Obs.: Expressar desvio em porcentagem (se menor 100% com 2 algarismos significativos, do contrário 3 algarismos significativos)