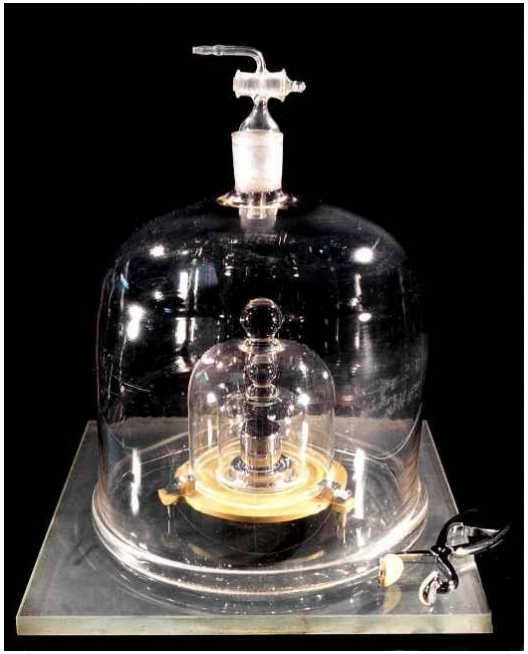
Teórica 1

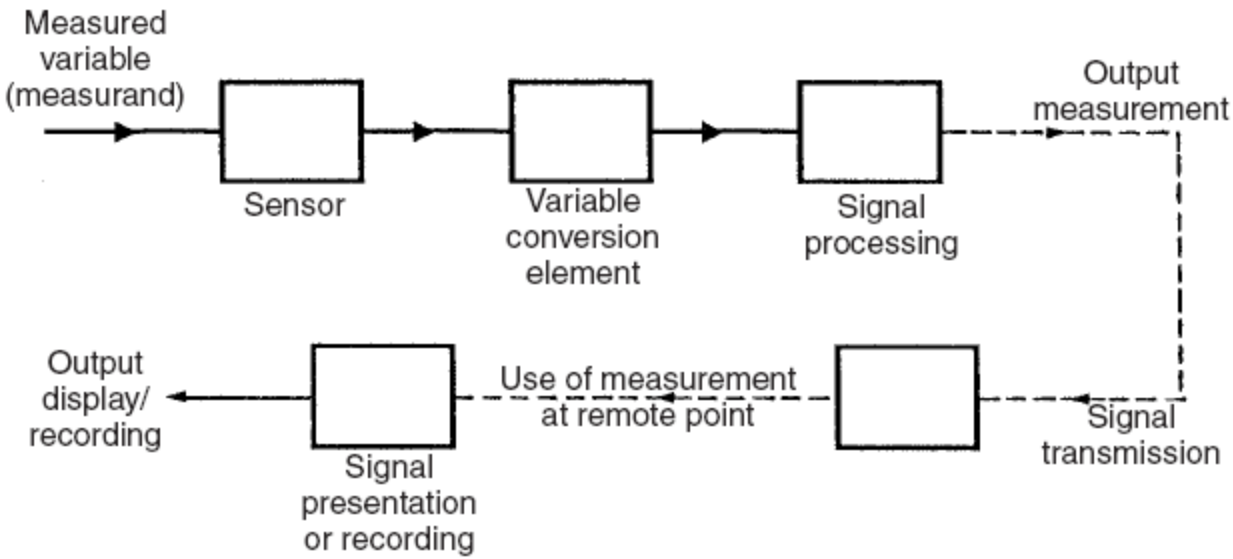
- Medidas
- Unidades
- Normalização
- Instrumentos de medida
- Erros de medição
- Combinação de Incertezas
- Calibração
- Rastreabilidade



Como medir?

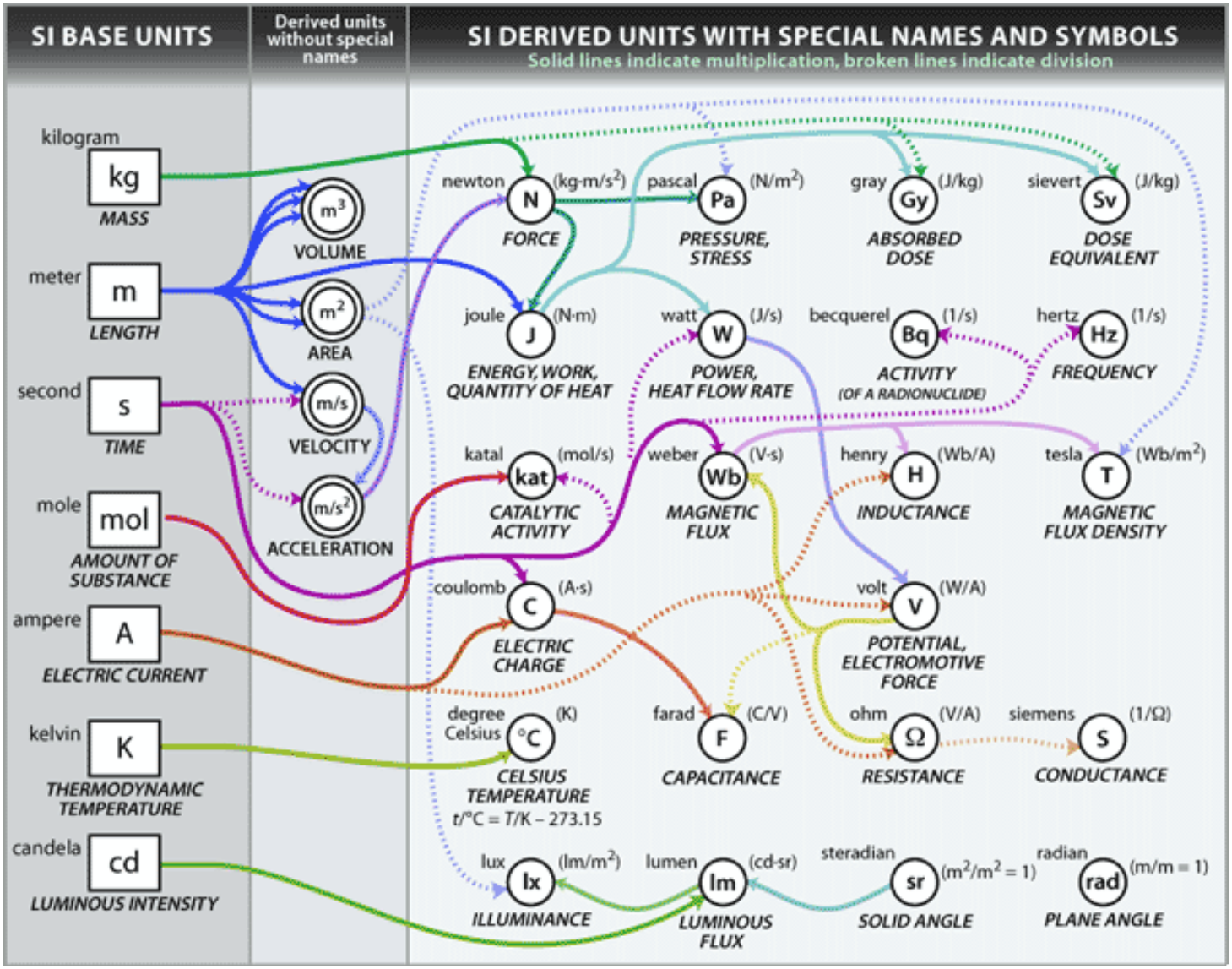
- Avaliar o sistema a ser medido
- Definir um princípio a ser utilizado na medição
- Estabelecer o método de medição
- Utilizar ou estabelecer um procedimento de medição
- Avaliar os resultados coletados

Elementos de um sistema de medida



Unidades de Medida

SI – Sistema Internacional de Unidades



www.nist.gov

Unidades de Medida

Unidades de Base do SI

metro – O metro é o comprimento do caminho percorrido pela luz no vácuo durante o intervalo de 1/299 792 458 de um segundo.

quilograma – O quilograma é a unidade de massa; ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.

segundo – O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133.

ampère – O ampère é a corrente constante que, se mantida em dois condutores paralelos de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e posicionados a 1m de distância no vácuo, produzem entre eles uma força igual a 2×10^{-7} newtons por metro de comprimento.

Kelvin – O Kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273.16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.

mole

1.O mole é a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos em 0.012 quilogramas de carbono 12.

2.Quando o mole é usado as partículas elementares precisam ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons, outras partículas, ou grupos especificados de tais partículas.

candela – O candela é a intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática numa freqüência de 540×10^{12} hertz e tem uma intensidade radiante de 1/683 watt por steradiano nessa direção.

Prefixos

FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO	FATOR	PREFIXO	SÍMBOLO
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	µ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	quilo	k	10^{-18}	atto	a
10^{2}	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^{1}	deca	da	10^{-24}	yocto	y

Outras Unidades

Fora do SI mas em uso

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
minuto	min	1 min = 60 s
hora[a]	h	1 h = 60 min = 3.600 s
dia	d	1 d = 24 h = 86.400 s
grau[b]	°	1° = (π/180) rad
minuto	′	1′ = (1/60)° = (π / 10 800) rad
segundo	″	1″ = (1/60)′ = (π / 648 000) rad
litro[c]	l, L	1l = 1 dm^3 = $10^{-3} m^3$
tonelada[d], [e]	t	1 t = 10^3 kg
neper[f], [h]	Np	1 Np = 1
bel[g], [h]	B	1B = (1/2) ln 10 (Np) [i]

Unidades fora do SI e com uso desaconselhado

NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
curie[a]	Ci	1 Ci = 3,7 x 10^{10} Bq
roentgen[b]	R	1 R = 2,58 x 10^{-4} C/kg
rad[c,f]	rad	1 rad = 1 cGy = 10^{-2} Gy
rem[d,f]	rem	1 rem = 1cSv = 10^{-2} Sv
unidade X[e]		1 unidade X ≈ 1,002 x 10^{-4} nm
gama[f]	γ	1 γ = 1 nT = 10^{-9} T
jansky	Jy	1 Jy = 10^{-26} $W.m^{-2}$ Hz^{-1}
fermi[f]		1 fermi = 1fm = 10^{-15} m
quilate métrico[g]		1 quilate métrico = 200 mg = 2 x 10^{-4} kg
torr	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
atmosfera normal	atm[h]	1 atm = 101 325 Pa
caloria	cal	(i)
micron[f]	μ[j]	1μ = 1μm = 10^{-6} m

Normalização

NORMAS

Uma norma técnica é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto.

Definição de procedimentos mínimos

Níveis de confiabilidade para equipamentos

Ensaios necessários por área de aplicação

Além das normas nacionais, regionais e internacionais, existem ainda outros tipos de normas. Muitas empresas têm o seu sistema interno de normalização e usam-no para estabelecer os requisitos das suas aquisições entre os seus fornecedores.
Algumas entidades associativas ou técnicas também estabelecem normas, seja para uso dos seus associados, seja para uso generalizado. Algumas dessas normas têm uso bastante difundido. Alguns exemplos são as normas da ASTM, API e ANSI.

Normalização Internacional

BIPM – Bureau international des poids et mesures
Scope: Units, standards and methods of measurement of physical quantities.
CIE – International Commission on Illumination
Scope: Metrology in the fields of light, lighting and colour; science, technology and art of light, lighting and colour.
CIMAC – International Council on Combustion engines
Scope: Acceptance tests for combustion engines; noise; pollution
IEC – International Electrotechnical Commission
Scope: Electrical and electronic engineering.
IIR – International Institute of Refrigeration
Scope: Tests of thermal performance of insulated vehicles; tests of insulating materials; refrigerated storage and transport of perishable foodstuffs; food freezing; refrigerating equipment; terminology
ISO – International Organization for Standardization
Scope: All fields except electrical and electronic engineering
OIML – International Organization of Legal Metrology
Scope: Measuring methods and units; measuring devices and instruments; verification and control of measuring devices (from a legal point of view).
WIPO – World Intellectual Property Organisation
Scope: Patents; trademarks; industrial designs; appellations of origin; copyright; neighbouring rights; classifi cation systems

WSSN - World Standards Services Network.

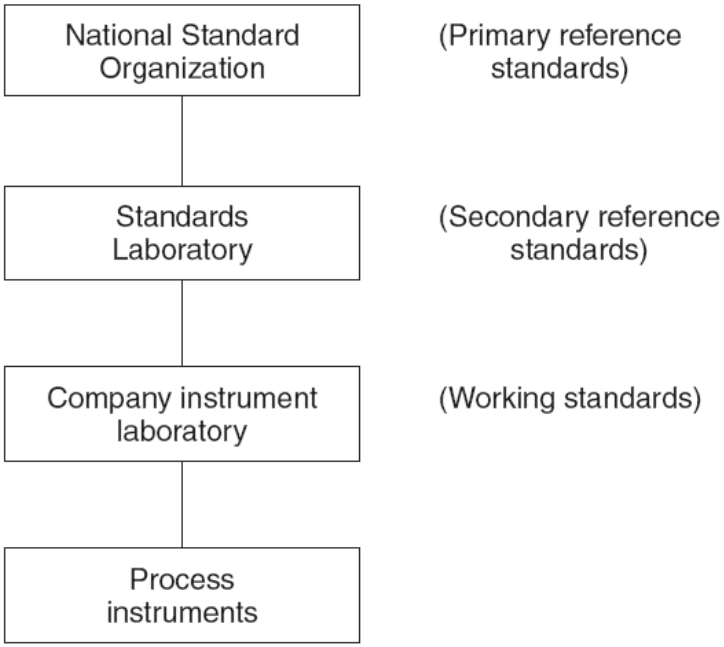
Calibração e Rastreabilidade

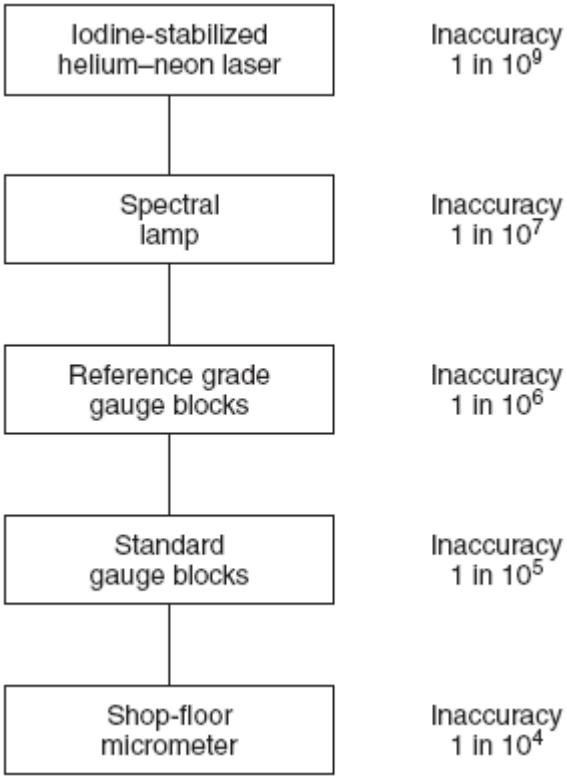
Comparar a medida feita por um instrumento com a de um instrumento padrão quando ambos são submetidos a uma mesma entrada

Intervalos definidos de calibração para equipamentos em uso

Controle do ambiente de calibração

Cadeia de calibração - Rastreabilidade





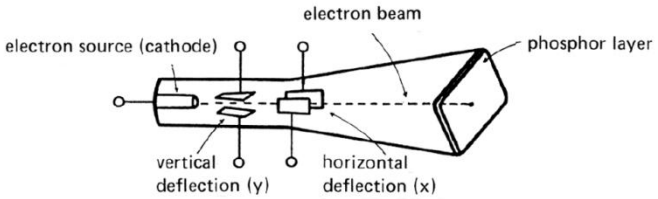
Instrumentos de Medida

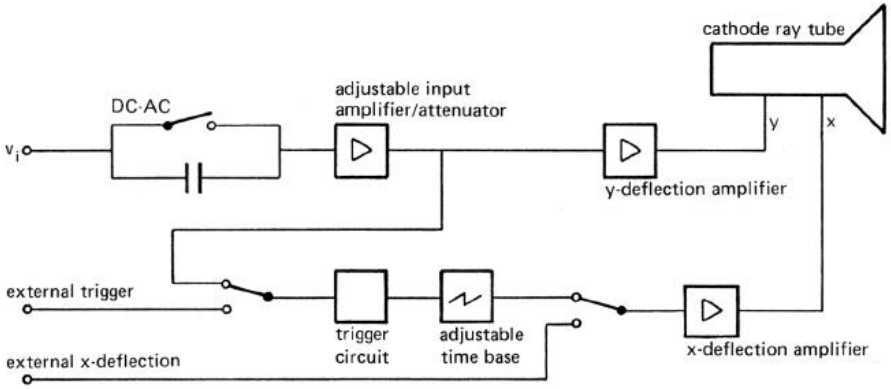
Tipos

Ativo x Passivo
Anulação x Deflexão
Analógico x Digital
Indicadores x Sinal de saída
Autônomos x embarcados

Multímetro

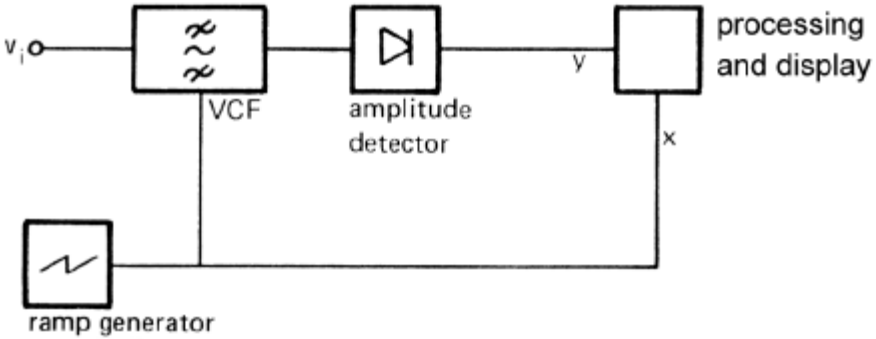
Osciloscópio (analógico)



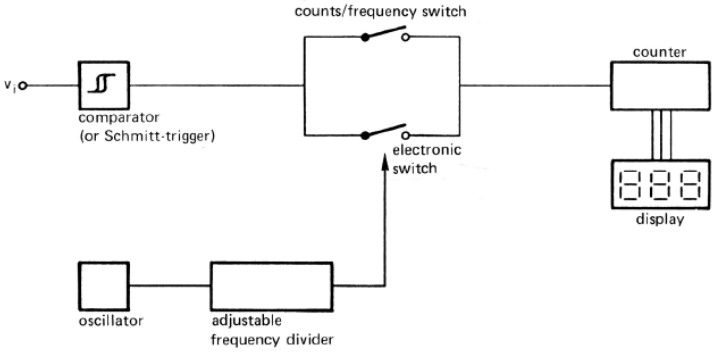


Instrumentos de Medida

Analisador de espectro

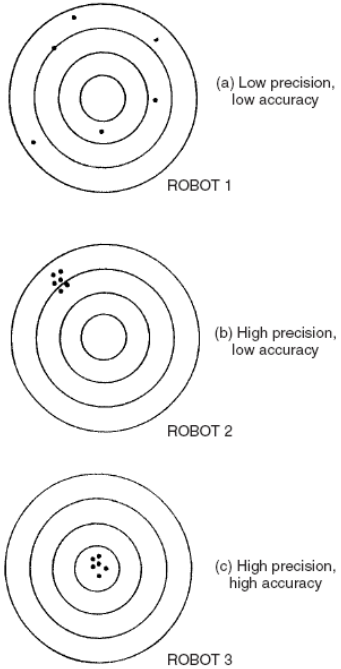


Contador, frequencímetro, cronômetro



Instrumentos de Medida

Características estáticas



Acurácia, exatidão

Caracteriza o quão próximo o valor medido está do valor de referência

Precisão, reprodutibilidade, repetibilidade, estabilidade

Descreve os graus de liberdade de um instrumento de medida com relação a erros aleatórios

Reprodutibilidade x repetibilidade

Tolerância

Máximo erro esperado em um determinado valor

Intervalo

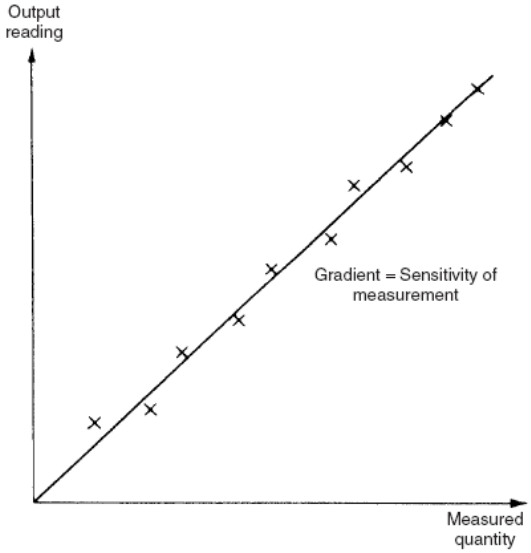
Define os valores máximo e mínimo que um instrumento está habilitado a medir

Linearidade (não linearidade)

Desvio de valores crescentes medidos com relação a uma reta de ajuste entre valor medido x valor de referência

Sensibilidade

Variação da saída do instrumento com relação a uma variação do mensurando



Características estáticas

Limiar

Valor mínimo detectável pelo instrumento

Resolução

Variação mínima detectável pelo instrumento

Sensibilidade a fatores externos

Deriva de zero (bias) – Variação inteira da escala

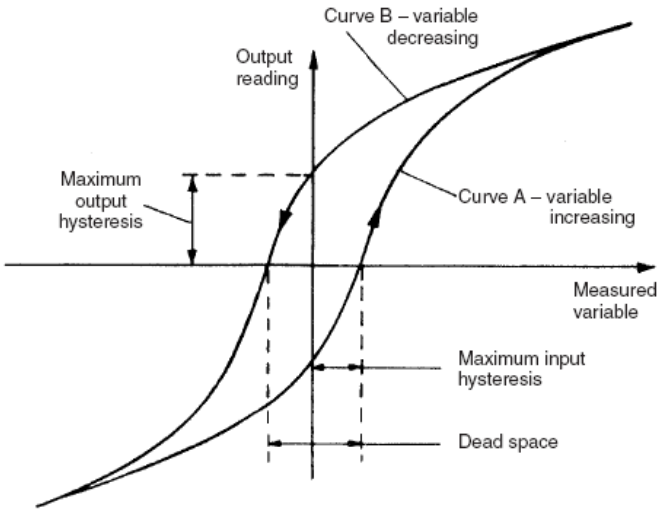
Deriva de sensibilidade – Variação da função de resposta do instrumento

Histerese

Diferença na medida dependendo de valores crescentes ou decrescentes

Espaço morto

Zona de insensibilidade do instrumento



Características dinâmicas

Ordem zero

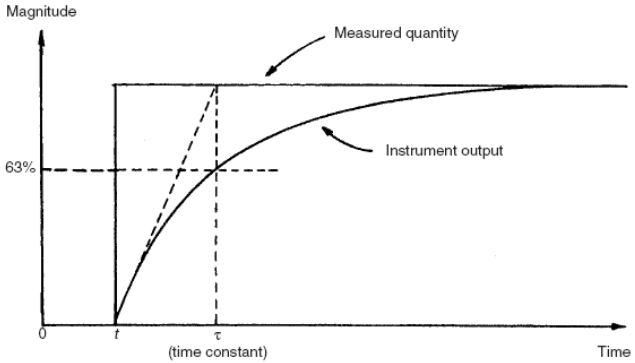
Resposta instantânea

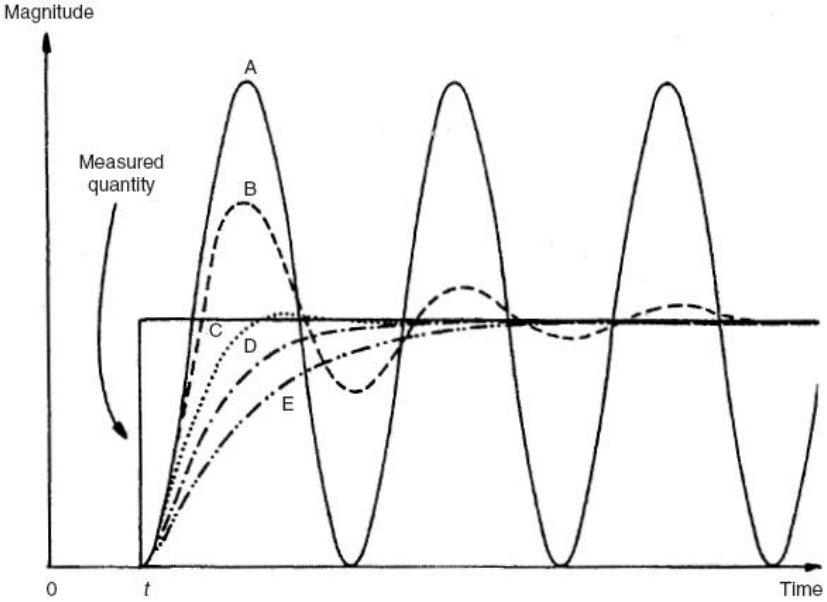
Primeira ordem

Resposta monotônica

Segunda ordem

Relação de amortecimento





Erro x Incerteza

Efeitos Aleatórios

A repetição da medida resulta em valores randômicos.
Mais medidas resultam na convergência de um valor médio.

Efeitos Sistemáticos

O mesmo efeito afeta o valor das medidas.
Determinação por diferentes métodos de medida.

Erros de Medição

Os principais fatores que implicam no aparecimento de incertezas na medição
Fontes de Erros e Incertezas

(a) definição incompleta do mensurando;
(b) realização imperfeita da definição do mensurando;
(c) amostragem não representativa - a amostra medida pode não representar o mensurando definido;
(d) conhecimento inadequado de efeitos das condições ambientais ou medições imperfeitas destas;
(e) tendências pessoais na leitura de instrumentos analógicos;
(f) resolução finita do instrumento ou limiar de mobilidade;
(g) valores inexatos dos padrões de medição e dos materiais de referência;
(h) valores inexatos de constantes e outros parâmetros obtidos de fontes externas e utilizados no algoritmo de redução de dados;
(i) aproximações e suposições incorporadas ao método e ao procedimento de medição;
(j) variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas.

Avaliação de Incertezas

Avaliação do Tipo A – *Estimativa usando estatística (medidas repetidas)*

Avaliação do Tipo B – *Estimativa de incerteza de outras fontes de informação. Conhecimento prévio do sistema, dados de fabricante, certificados de calibração*

1. *Decidir o que é necessário para obter os resultados das medidas. Que medições fazer e que cálculos realizar;*

2. *Fazer as medições necessárias;*

3. *Estimar as incertezas de cada quantidade de entrada. Expressar todas as incertezas em termos similares;*

4. *Verificar se as incertezas de entrada são independentes entre si. Aplicar correlação se for o caso;*

5. *Calcular os resultados das medidas;*

6. *Encontrar e expressar a incerteza padrão combinada;*

7. *Estabelecer os resultados das medidas e suas incertezas, descrevendo os métodos.*

Estatística de Medidas

Média

$$\bar{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} g_i$$

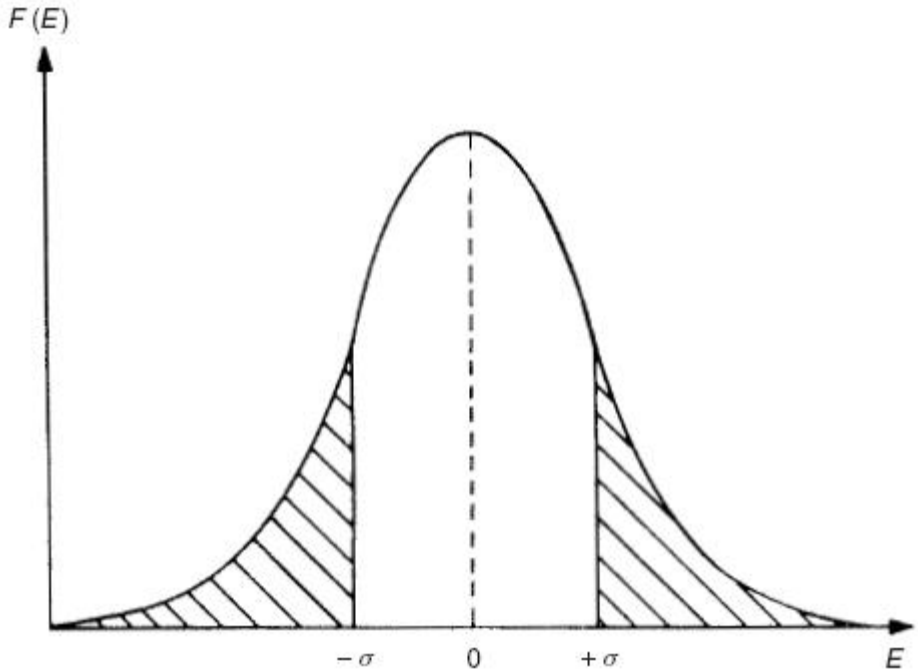
Desvio padrão (Número finito de amostras)

$$s(g_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(g_i - \bar{g})^2}$$

Desvio padrão experimental da Média

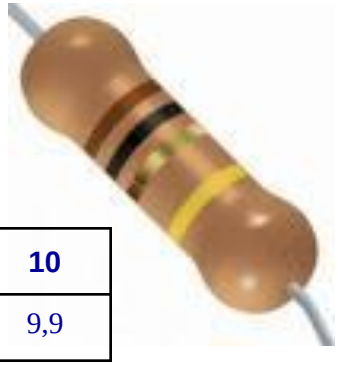
$$s(\bar{g}) = \frac{s(g_k)}{\sqrt{n}}$$

Distribuição Normal



Deviation boundaries	*% of data points within boundary*	*Probability of any particular data point being outside boundary*
$\pm\sigma$	68.0	32.0%
$\pm 2\sigma$	95.4	4.6%
$\pm 3\sigma$	99.7	0.3%

Estatística de Medidas



Exemplo 2.1 - Uma série de medidas da resistência elétrica de um resistor, utilizando um mesmo instrumento, apresentou os valores dados na tabela abaixo. Calcular a média e a dispersão das medidas.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i (Ω)	10,1	9,9	10,2	10,0	10,2	10,3	9,8	10,2	10,1	9,9

Solução:

O valor médio das medidas será:

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{N} = \frac{10,1+9,9+10,2+10,0+10,2+10,3+9,8+10,2+10,1+9,9}{10} = 10,07\Omega$$

Valores dos desvios nas mensurações:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R_i (Ω)	10,1	9,9	10,2	10,0	10,2	10,3	9,8	10,2	10,1	9,9
ΔR_i	0,03	-0,17	0,13	-0,07	0,13	0,23	-0,27	0,13	0,03	-0,17

Estatística de Medidas

O desvio padrão das medidas

$$s(R_k) = \sqrt{\frac{1}{9}\sum_{n=1}^{N}(0{,}03)^2 + (-0{,}17)^2 + (0{,}13)^2 + (-0{,}07)^2 + (0{,}13)^2 + (0{,}23)^2 + (-0{,}27)^2 + (0{,}13)^2 + (0{,}03)^2 + (-0{,}17)^2} = 0{,}164$$

Desvio Padrão Experimental da Média

$$s(\overline{R}) = \frac{s(R_k)}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}164}{\sqrt{10}} = 0{,}05$$

Dessa maneira, a resistência pode ser expressa como: $\overline{R} \pm \Delta\overline{R} = 10{,}07 \pm 0{,}05\,\Omega$

Combinação de Incertezas

Soma e subtração

$$s(\bar{g}) = \sqrt{s(\bar{g}_1)^2 + s(\bar{g}_2)^2 + \ldots + s(\bar{g}_n)^2}$$

Multiplicação e divisão – Trabalhar com valores relativos

$$\frac{s(\bar{G})}{\bar{G}} = \sqrt{\left(\frac{s(\bar{g}_1)}{\bar{g}_1}\right)^2 + \left(\frac{s(\bar{g}_2)}{\bar{g}_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{s(\bar{g}_3)}{\bar{g}_n}\right)^2}$$

Outras operações

$$s_c(\bar{G}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial \bar{G}}{\partial \bar{g}_i}\right)^2 s^2(\bar{g}_i)}$$

Propagação de erros

Propagação de Erros

Exemplo: Para se calcular o volume de um cilindro foram feitas medidas de sua altura L e de seu diâmetro D. Os resultados foram:

L = (5,00 ± 0,02) cm
D = (2,00 ± 0,01) cm

Sabemos que o volume de um cilindro é dado pela expressão: $V = \dfrac{\pi D^2 L}{4}$

$$V = \frac{\pi (2{,}00)^2 (5{,}00)}{4} = 15{,}70796 \cdots cm^3$$

e

$$s(V) = \left|\frac{\partial V}{\partial D}\right| s(D) + \left|\frac{\partial V}{\partial L}\right| s(L) = \left|\frac{\pi D L}{2}\right| s(D) + \left|\frac{\pi D^2}{4}\right| s(L)$$

$$s(V) = \left|\frac{\partial V}{\partial D}\right| s(D) + \left|\frac{\partial V}{\partial L}\right| s(L) = \left|\frac{\pi \times 2{,}00 \times 5{,}00}{2}\right| \times 0{,}01 + \left|\frac{\pi \times 2{,}00^2}{4}\right| \times 0{,}02$$

$$s(V) = 0{,}21991 \cdots cm^3$$

Arredondando o valor de *s(V)* para um único algarismo significativo vemos que a incerteza no valor de V afeta a primeira casa decimal desse valor. Portanto, arredondando o valor de V para apenas uma casa decimal temos o resultado final: *V = (15,7 ± 0,2) cm*^{3}.

Bibliografia

JCGM 100:2008 - GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement - BIPM

Expressão da Incerteza na Medição – INMETRO – Norma No NIT-DICLA-021, maio de 2003

Measurement and Instrumentation Principles – Alan S. Morris; 3ª Ed, 2001; Butterworth-Heinemann