

1.4.a) Grandezas e Unidades



⌘ Grandeza:

➤ Definição (V.I.M.):

Atributo de um fenômeno, corpo ou substância que pode ser qualitativamente distinguido e quantitativamente determinado.

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Grandeza:

- Define **o que** está se medindo
- Intimamente relacionada com a **variável física**
- Diretamente relacionada com a **unidade**
- Grandezas (e unidades):
 - ☒ De Base
 - ☒ Derivadas

1.4.a) Grandezas e Unidades



⌘ Grandezas de Base:

- Comprimento
- Massa
- Tempo
- Corrente elétrica
- Temperatura Termodinâmica
- Intensidade Luminosa
- Quantidade de matéria

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Grandezas de Base/Unidades SI:

- | | |
|-----------------------------|----------------|
| ➤ Comprimento | metro (m) |
| ➤ Massa | kilograma (kg) |
| ➤ Tempo | segundo (s) |
| ➤ Corrente elétrica | ampere (A) |
| ➤ Temperatura Termodinâmica | kelvin (K) |
| ➤ Intensidade Luminosa | candela (cd) |
| ➤ Quantidade de matéria | mol |

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Grandezas de Base:



1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Algumas Grandezas Derivadas

- Área
- Volume
- Frequência
- Densidade
- Velocidade
- Velocidade angular
- Força

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Unidade:

- Define a **referência** em relação à qual está se medindo uma determinada grandeza
- Intimamente relacionada com a **variável física (grandeza)**
- Inicialmente:
 - ⊗ Unidades referenciadas ao **corpo humano** (pé, mão, etc)
 - ⊗ Tais unidades **variam muito** entre as pessoas
- Com a evolução: Necessidade de **padronização**, com o estabelecimento de unidades baseadas em quantidades **não variáveis**

1.4.a) Grandezas e Unidades



⌘ Unidade:

➤ Definição (V.I.M.):

Grandeza específica, definida e adotada por convenção, com a qual outras grandezas de mesma natureza são comparadas para expressar suas magnitudes em relação àquela grandeza.

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Unidade de comprimento:

- **Primeira unidade** definida mundialmente
- Definição original: 1 metro = 10^{-7} vezes o quadrante polar da Terra
- Realização: Uma **barra de platina** com este comprimento foi estabelecida como unidade no início do século XIX
- Nova realização: Esta barra foi substituída em 1889 por um padrão de qualidade superior produzido a partir de uma **liga de platina-irídio**
- Com o **progresso científico** e tecnológico, foi possível a definição de padrões de maior qualidade.

1.4.a) Grandezas e Unidades

⌘ Unidade de comprimento:

- Em 1960, o metro padrão foi redefinido como $1,65076363 \times 10^6$ comprimentos de onda da radiação emitida pelo criptônio-86 no vácuo.
- Em 1983, o metro padrão foi novamente redefinido como a distância percorrida pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ segundos.
- Da mesma forma, unidades padrão para as demais grandezas físicas foram definidas e aperfeiçoadas ao longo do tempo.

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do metro (m) (antes de 05/2019):

- Comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ de segundo

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do quilograma (kg) (antes de 05/2019):

- O protótipo internacional do quilograma foi sancionado em 1889 com base na massa de um protótipo feito em platina iridiada e que é conservado no Bureau Internacional (Sèvres, França), nas condições que foram fixadas pela convenção de 1889.
- A unidade de massa é o **quilograma**, e não o **grama**!

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do segundo (s) (antes de 05/2019):

- Primitivamente, o segundo, unidade de tempo, era definido como a fração $1/86\,400$ do dia solar médio. Porém trabalhos demonstraram que o dia solar médio não apresentava as garantias de exatidão requeridas, por causa das irregularidades da rotação da Terra.

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do segundo (s) (antes de 05/2019):

- Para conferir maior exatidão à definição da unidade de tempo, em 1967 decidiu-se substituir a definição do segundo pela seguinte:

“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.”

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do ampere (A) (antes de 05/2019):

- Em 1948 foi adotado para o ampère, unidade de corrente elétrica, a seguinte definição:
- *"O Ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} Newton por metro de comprimento."*

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do kelvin (K) (antes de 05/2019):

- Até 2019, o ponto tríplice da água era definido como ponto fixo fundamental, como se segue a definição:
- *"O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água."* (0,01 °C)

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do candela (cd) (antes de 05/2019):

- Intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte luminosa que emite uma radiação monocromática de 540×10^{12} Hz ($\lambda = 555$ nm), cuja intensidade nesta direção é de $1/683$ Watt/sr

1.4.b) Definição das Unidades do SI

⌘ Definição do mol (antes de 05/2019):

- Anteriormente era definida como quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 kg de Carbono 12 (1971).

1.4.a) Grandezas e Unidades



⌘ Novas definições:

- **A partir de maio de 2019**, todas as unidades do sistema internacional de medição foram redefinidas em termos de constantes que descrevem a natureza. O objetivo foi criar referências estáveis.

1.4.b) Redefinição do SI

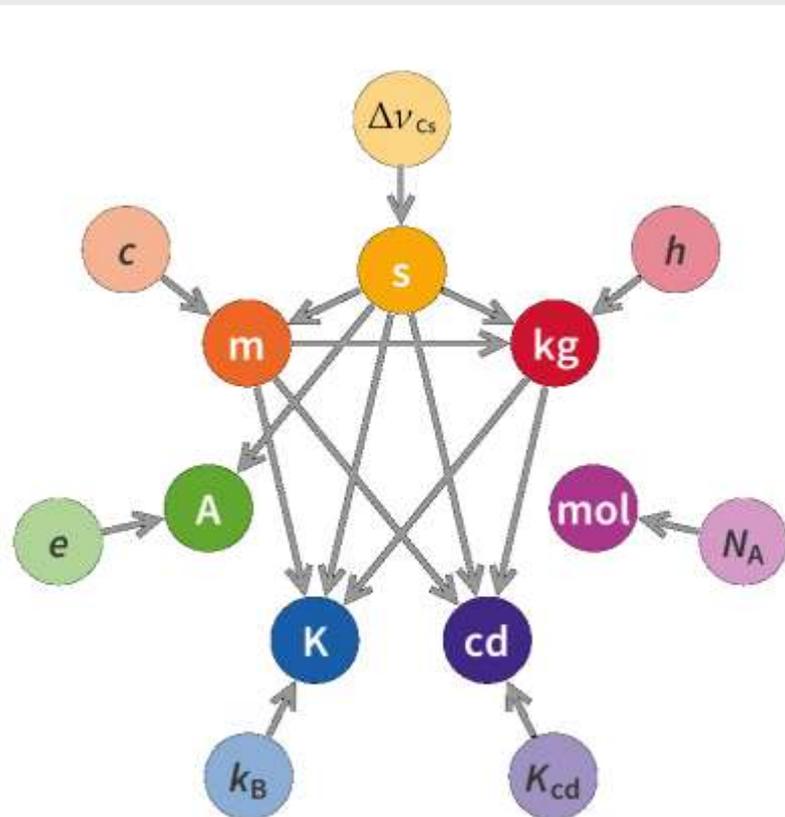
Valores fixados para as constantes universais:

- A frequência hiperfina da transição de um átomo de cesio 133: $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$
- A velocidade da luz no vácuo : $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$
- A constant de Planck : $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ J s}$
- A carga elementar : $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{ C}$
- A constante de Boltzmann : $k = 1,380\,649 \times 10^{-23}\text{ J/K}$
- A constante de Avogadro : $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
- A eficiência luminosa de uma radiação monocromática de frequencia $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$: $K_{\text{cd}} = 683\text{ lm/W}$

1.4.b) Redefinição do SI

⌘ Grandezas de Base:

- 7 constantes e todas as unidades são derivadas dessas constantes.



1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do metro (m):

Com a velocidade da luz fixa em 299 792 458 m.s⁻¹ e a constante $\Delta\nu_{Cs}$, o metro fica definido como:

$$1 \text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{Cs}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{Cs}}.$$

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do segundo (s):

A partir de maio de 2019, a frequência hiperfina de transição de um átomo de césio 133, é definida como uma constante ($\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\,1/\text{s}$). Logo a definição de segundo fica:.

$$1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do kilograma (kg):

A partir de 2019, a constante de Plank ($h=6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J.s ou kg m²/s) fica sendo utilizada para a definição do kilograma.

$$1\text{ kg} = \left(\frac{h}{6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}} \right) \text{m}^{-2}\text{s}$$

O protótipo de massa original é conservado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas.

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do ampere (A):

O conceito anterior era difícil de se reproduzir. Com a constante $e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ A.s, o Ampère fica:

$$1\text{A} = \left(\frac{e}{1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1}$$

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do kelvin (K):

A partir de 2019, a definição fica baseada na constante de Boltzmann $k = 1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1.380\ 649}{k} \right) \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do mol (mol):

A partir de maio de 2019, fica definida com base na constante de Avogrado ($N_A = 6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ mol):

$$1 \text{ mol} = \left(\frac{6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}}{N_A} \right)$$

1.4.b) Redefinição do SI

Nova definição do candela (cd):

Atualmente definiu-se como uma constante $K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$, e com isso a definição de candela fica:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

1.4.c) Padrões



⌘ Padrão:

➤ Definição (V.I.M.):

Realização da definição de uma dada **grandeza**, com um **valor** determinado e uma **incerteza de medição** associada, utilizada como **referência**.

A “realização da definição de uma dada grandeza” pode ser fornecida por um sistema de medição, uma medida materializada ou um material de referência.

<https://www.bipm.org/en/measurement-units/>

1.4.c) Padrões



⌘ Padrão Internacional:

- **V.I.M.:** Padrão reconhecido pelos signatários de um acordo internacional, tendo como propósito a sua utilização mundial.
- São checados periodicamente por medidas realizadas em termos das unidades básicas
- **Experimentos caros, complexos e não são práticos** para utilização cotidiana.

1.4.c) Padrões

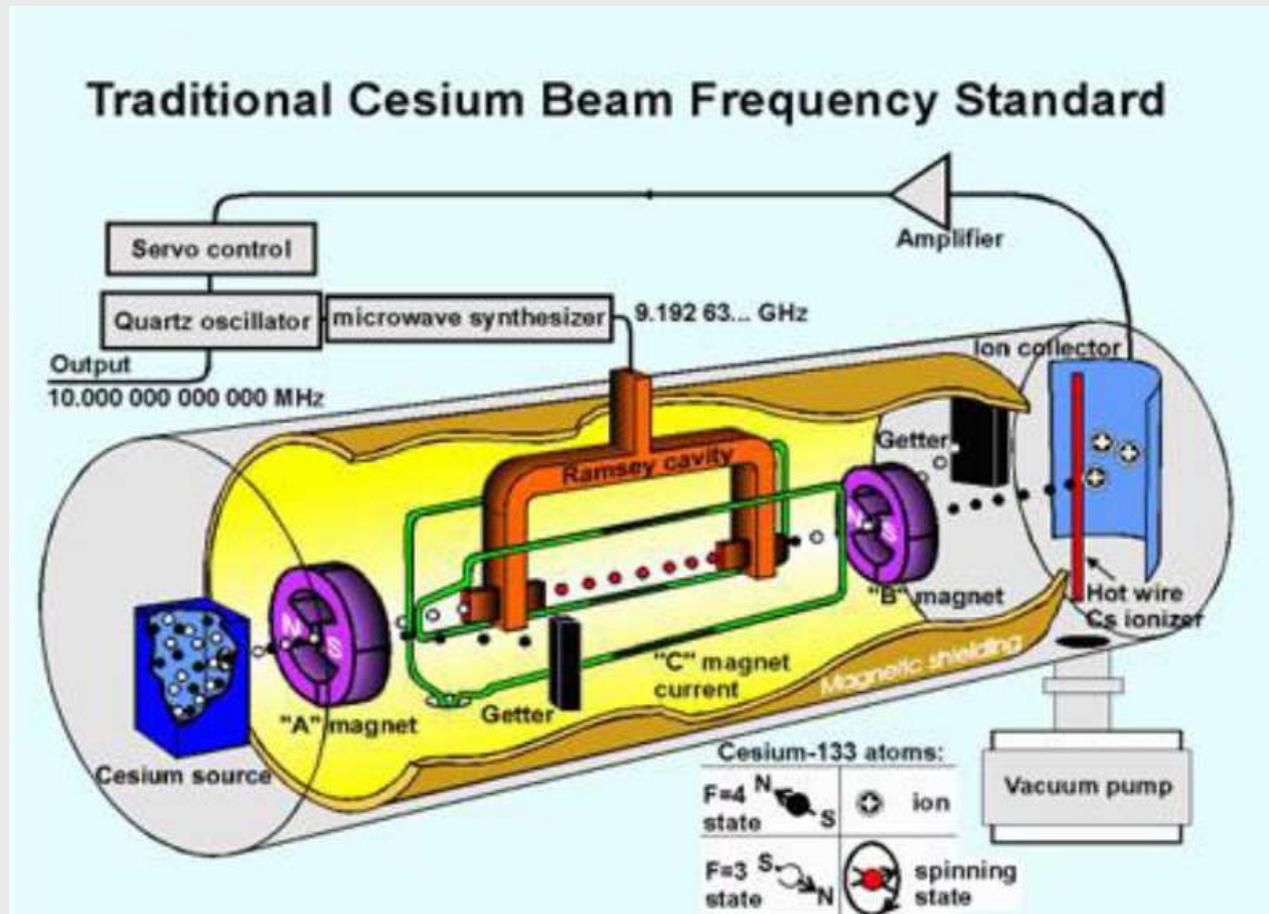


⌘ Padrão Internacional do segundo:

- Realização (uma das possibilidades): baseada em um padrão de frequência, cuja relação com a frequência de transição descrita acima seja conhecida com incerteza muito baixa.
- incerteza de 3×10^{-15} s

1.4.c) Padrões

⌘ Padrão de Frequência:



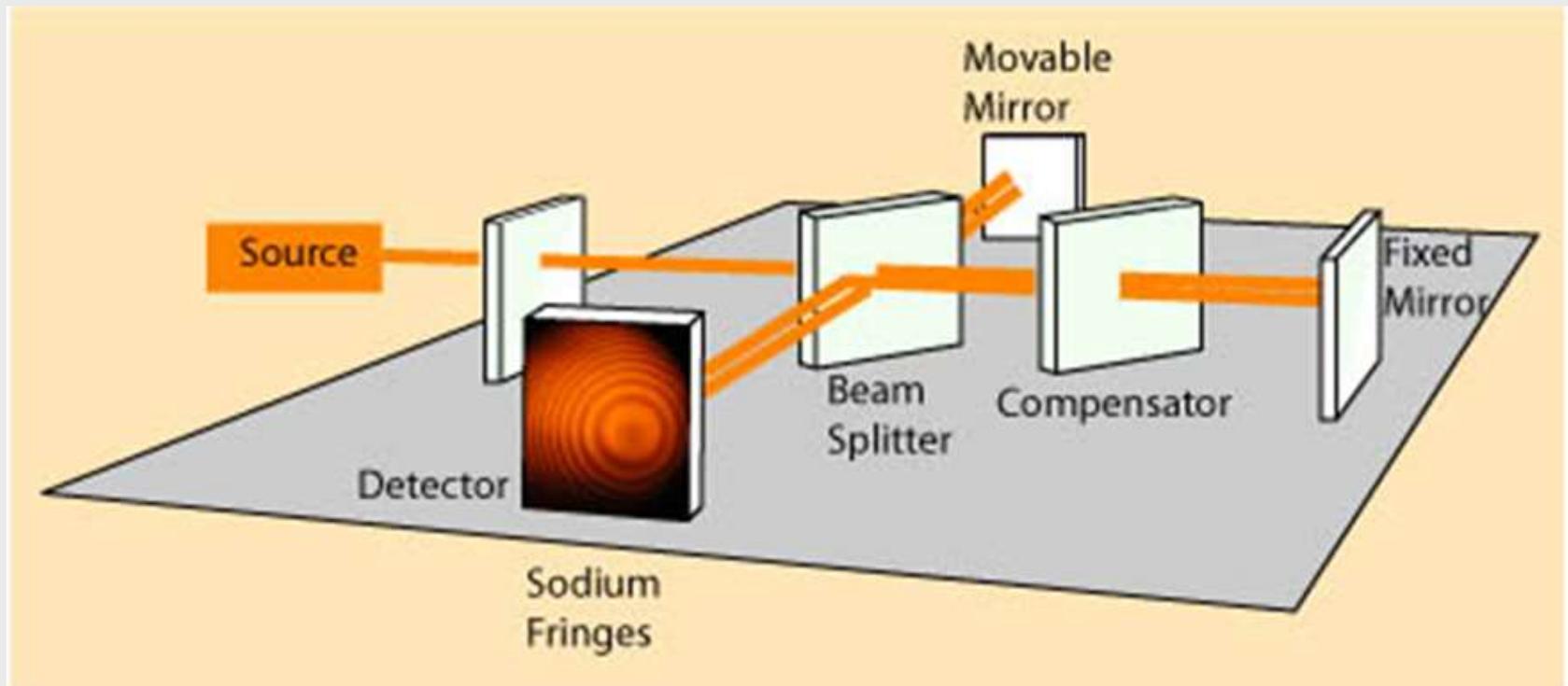
1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do metro:

- Realização (uma das possibilidades): Laser estabilizado + Interferômetro de Michelson (baseado na relação $l = c_0 \times t$, onde $c_0 = 299\,792\,458$ m/s é a velocidade da luz no vácuo).
- incerteza de 1×10^{-12} m

1.4.c) Padrões

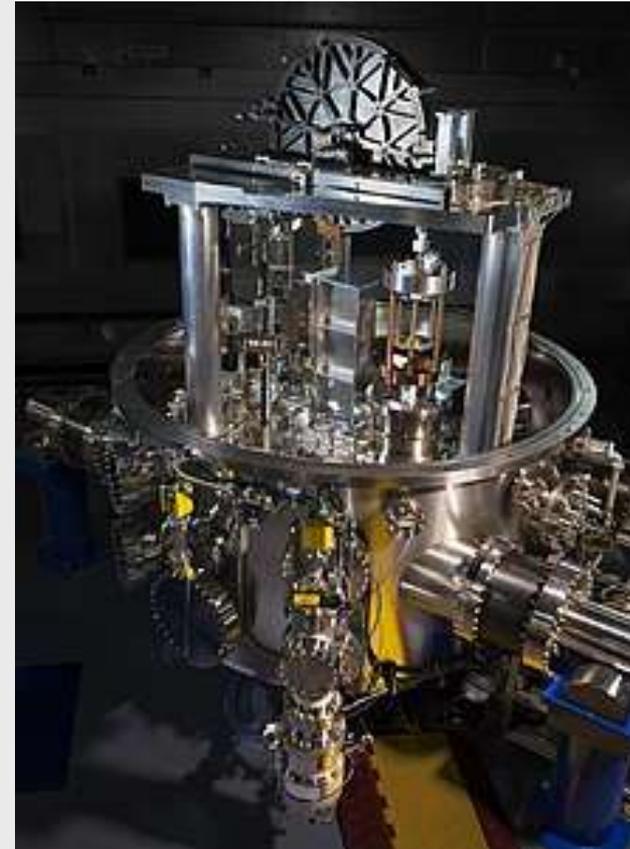
⌘ Interferômetro de Michelson – realização do metro



1.4.c) Padrões

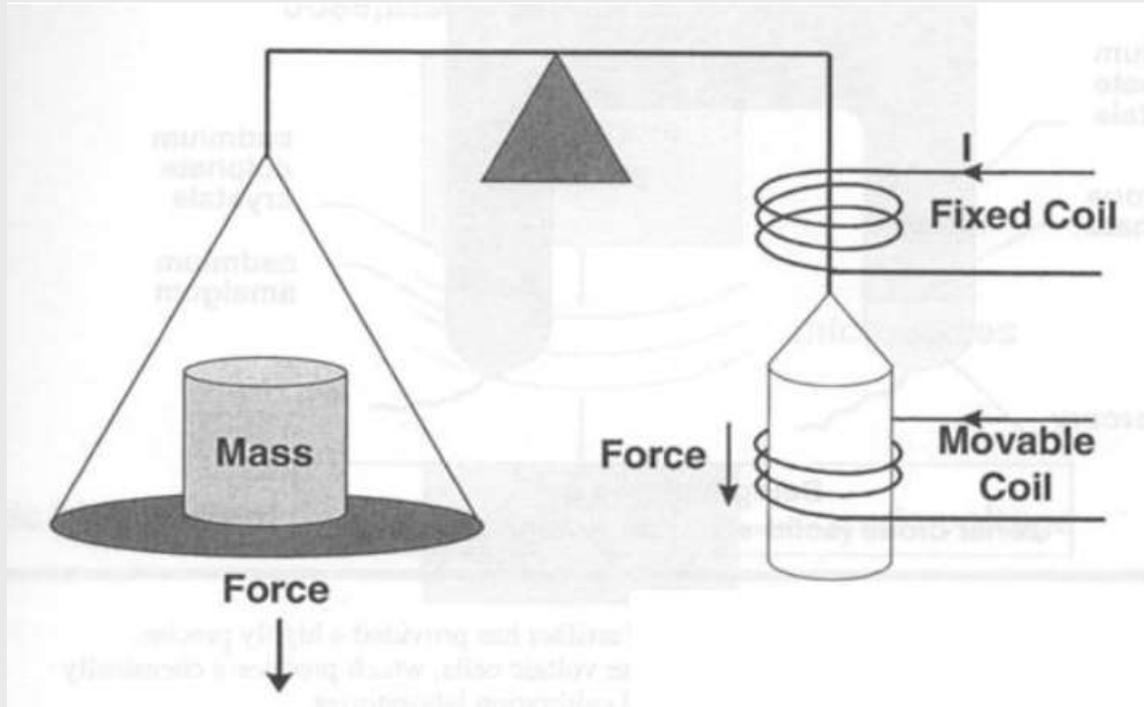
⌘ Padrão Internacional do **kilograma**:

- Realização (uma das possibilidades):
Balança de Kibble (versão mais acurada da balança de ampere).
Relaciona aceleração de uma massa com a força eletromagnética.
- incerteza de 1×10^{-9} kg



1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do **kilograma**:



1.4.c) Padrões



⌘ Padrão Internacional do ampere:

- Realização (uma das possibilidades) : baseada em uma balança de Watt
- incerteza de 4×10^{-8} A

1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do ampere:

Princípio/Dispositivo MUITO complicado, mantido somente em alguns laboratórios nacionais de Metrologia!

Baseado na Lei de Ohm ($I = V/R$) e em padrões do volt (V) e do ohm (Ω)

1.4.c) Padrões

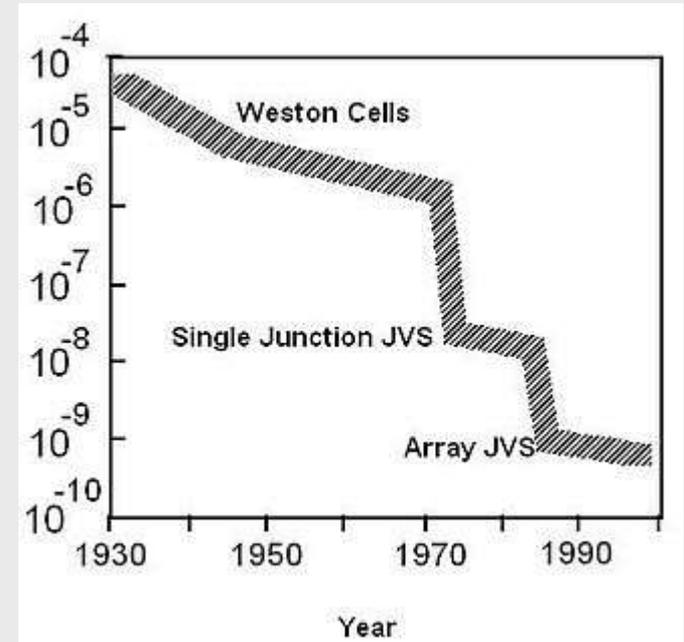
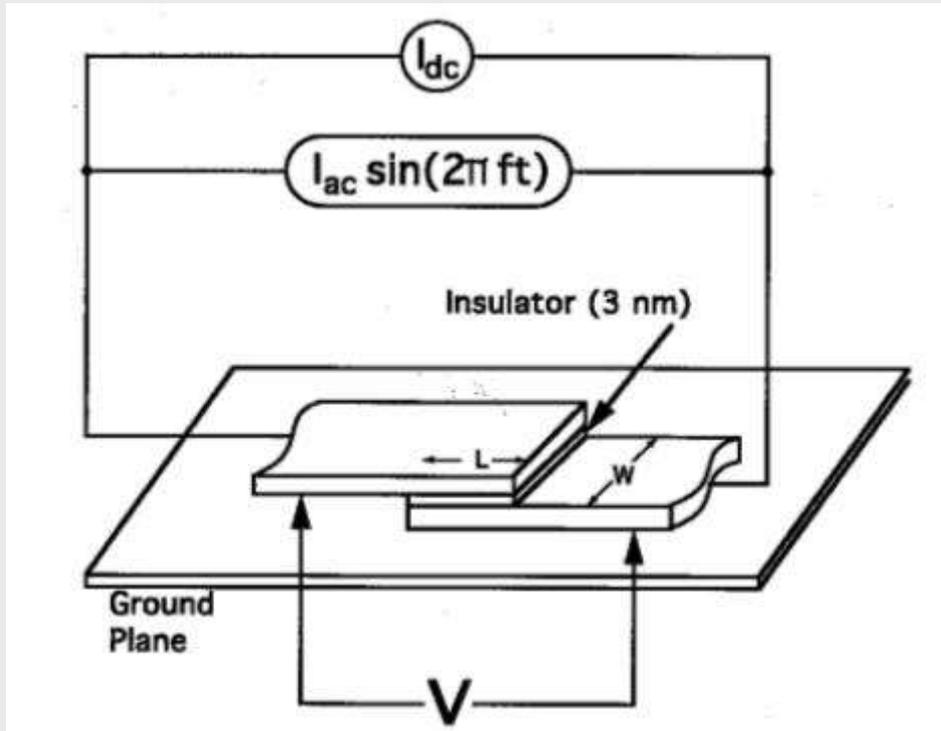


⌘ Padrão Internacional do Volt:

- **Realização:** Padrão de voltage de Joseph. Utiliza um chip de supercondutores operando a temperature constante de 4K para gerar uma voltage estável, que depende somente de uma frequência de excitação e de constantes fundamentais
- incerteza de 1×10^{-9} V

1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do Volt:

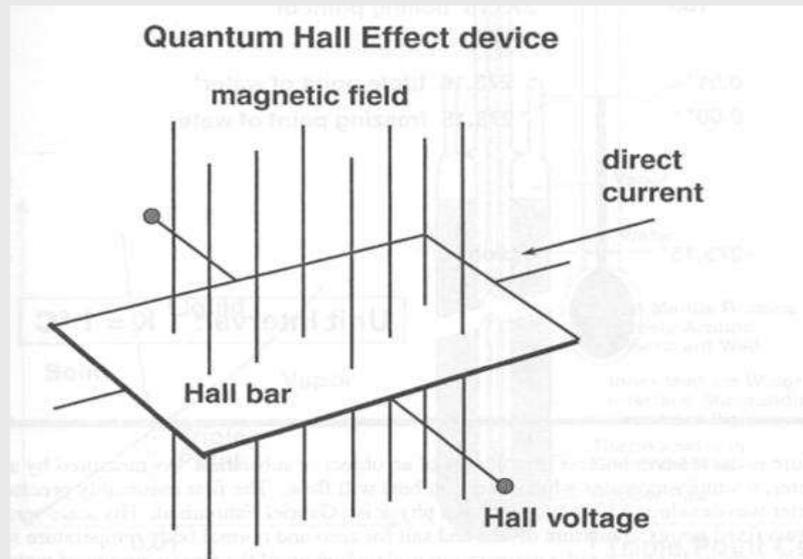


Uncertainty do padrão ao longo dos anos

1.4.c) Padrões

⌘ Padrões para ohm (Ω)

- **Definição:** resistência de 1 coluna de Hg com 106 mm de comprimento e seção reta de 1 mm^2
- **Realização:** Desde 1990, efeito Hall quântico: $\sigma = ve^2/h$
→ unidade de resistência = h/e^2 (incerteza $1 \times 10^{-9} = 1 \text{ ppb}$)

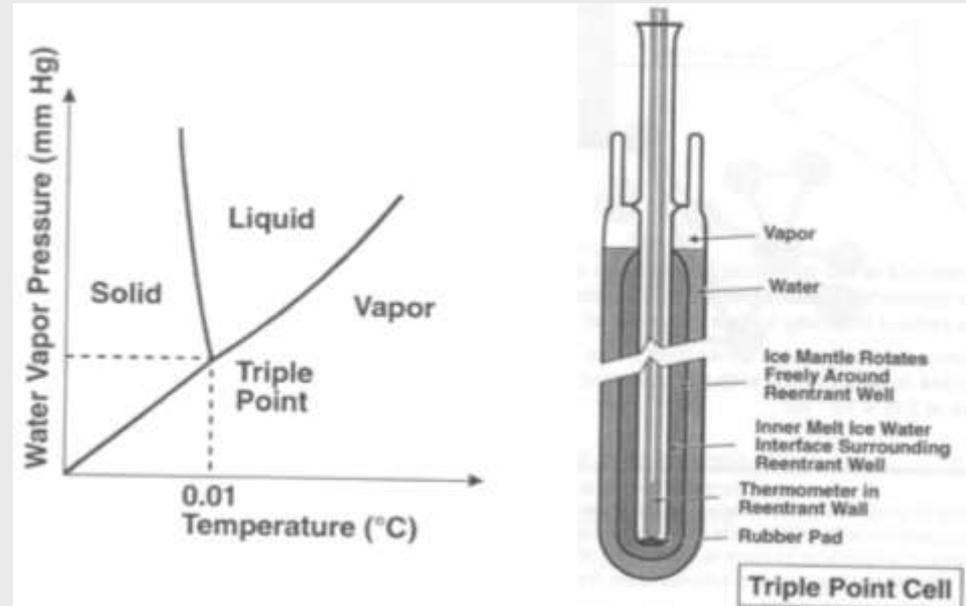


1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do kelvin:

- **Realização:** célula de ponto tríplice. Medição de $1/273,16$ da diferença de temperatura entre o zero absoluto e o ponto tríplice da água ($0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$)

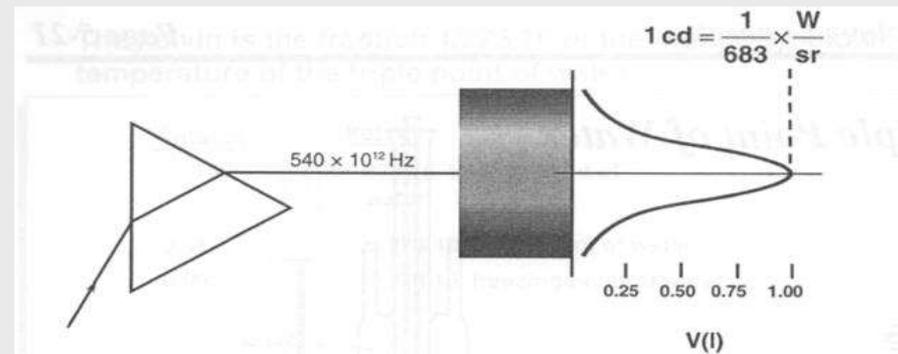
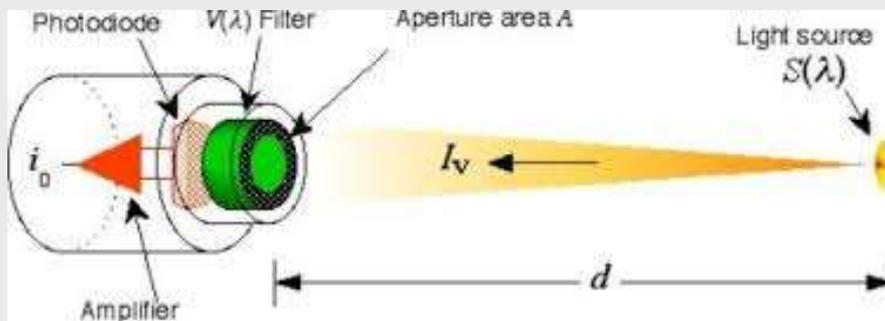
- incerteza de $3 \times 10^{-7}\text{ K}$



1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do candela:

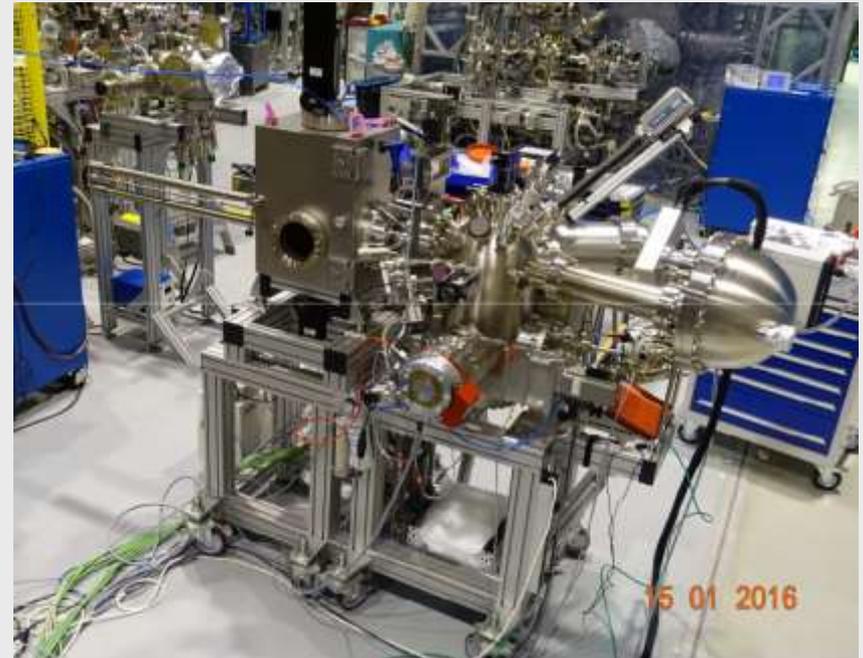
- **Definição:** intensidade luminosa, em uma dada direção, de uma fonte luminosa que emite uma radiação monocromática de 540×10^{12} Hz ($\lambda = 555$ nm), cuja intensidade nesta direção é de $1/683$ watt/sr
- **Realização:** lâmpada padrão
- incerteza de 1×10^{-4} cd



1.4.c) Padrões

⌘ Padrão Internacional do mol:

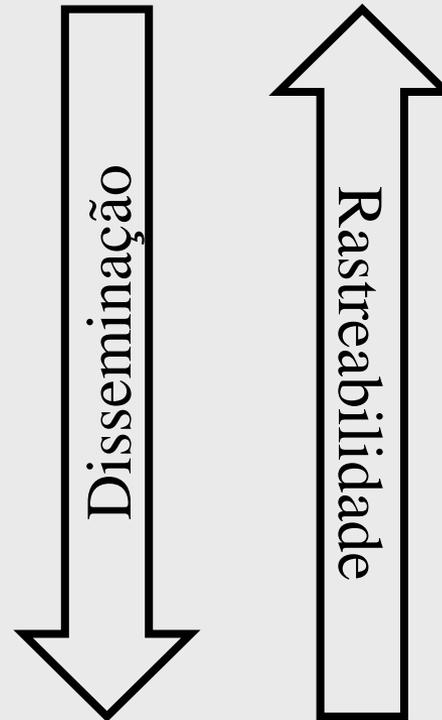
- **Realização:** Experimento para medir o número de Avogrado. Envolve a determinação do número de átomos em um cristal de Si, usando interferometria por raios X.
- incerteza de 2×10^{-8}



1.4.c) Padrões

⌘ Hierarquia de Padrões:

- Padrões Internacionais
- Padrões Nacionais
- Padrões de Referência
- Padrões de Trabalho



1.4.c) Padrões



⌘ Padrão Nacional:

- **V.I.M.:** Padrão reconhecido por uma entidade nacional para servir dentro de um Estado ou economia, como base para atribuir valores a outros padrões de grandezas da mesma natureza.
- São mantidos nos laboratórios nacionais de padrões dos diferentes países do mundo
 - EUA: National Institute of Standards and Technology (NIST)
 - Inglaterra: National Physical Lab (NPL)
 - Alemanha: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
 - Brasil: INMETRO

1.4.c) Padrões



⌘ Padrão de Referência:

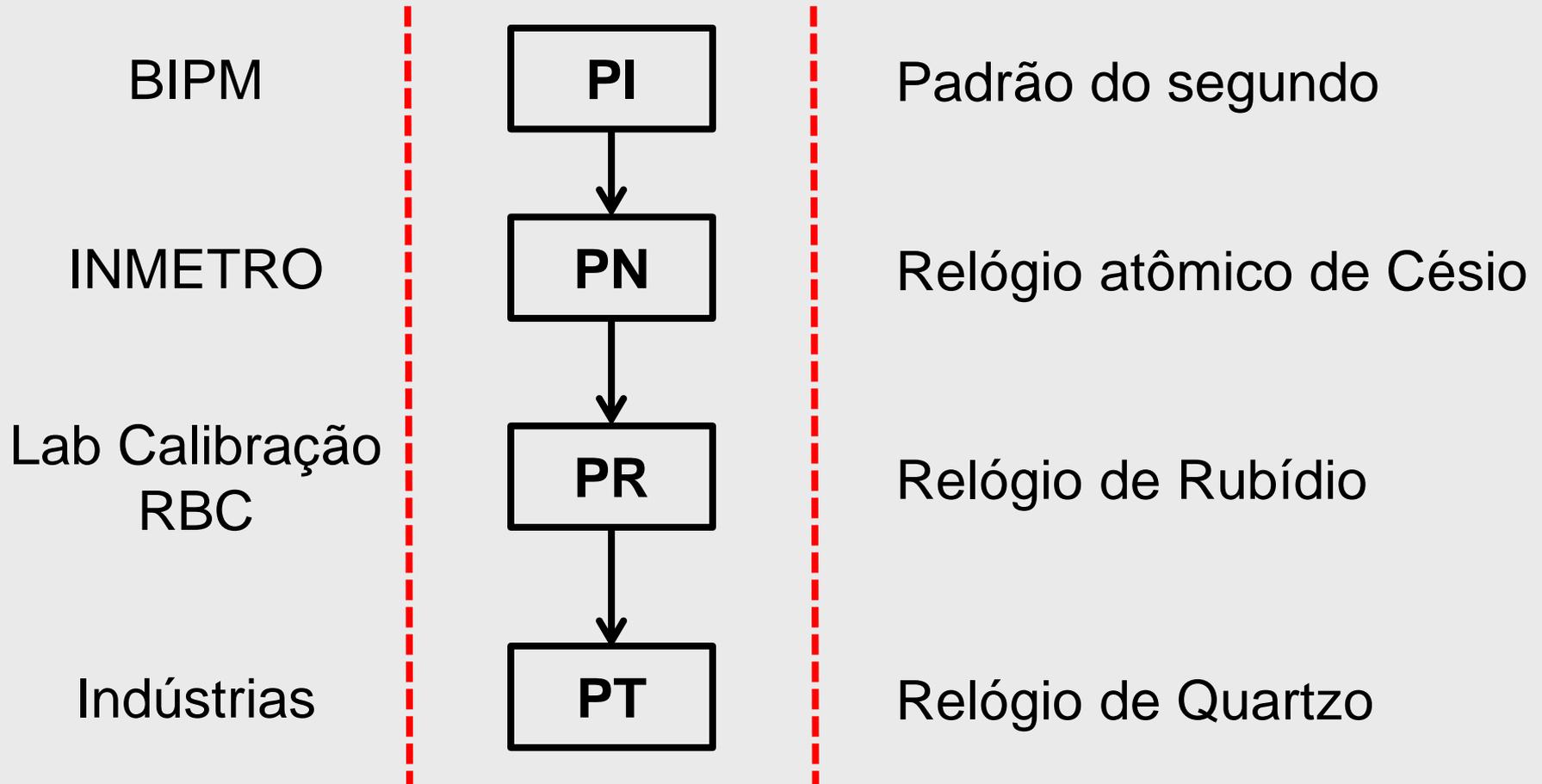
- **V.I.M.:** Padrão estabelecido para a calibração de outros padrões de grandezas da mesma natureza numa dada organização ou num dado local.
 - Disponíveis em Laboratórios de Calibração
 - Rede Brasileira de Calibração (RBC)

1.4.c) Padrões

⌘ Padrão de Trabalho:

- **V.I.M.:** Padrão que é utilizado rotineiramente para calibrar ou controlar instrumentos de medição ou sistemas de medição.
- São padrões **utilizados em indústrias** para calibração de equipamentos e/ou produtos
- São **checados periodicamente** por meio de **comparação** com os padrões secundários e/ou primários
- São normalmente **padrões ativos**

1.4.c) Padrões



1.4.d) Múltiplos e Submúltiplos

Fator	Nome do prefixo	Símbolo	Fator	Nome do 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	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deca	da	10^{-24}	yocto	y

1.4.d) Múltiplos e Submúltiplos

Fator	Nome do prefixo	Símbolo
$(2^{10})^8$	yobi	Yi
$(2^{10})^7$	zebi	Zi
$(2^{10})^6$	exbi	Ei
$(2^{10})^5$	pebi	Pi
$(2^{10})^4$	tebi	Ti
$(2^{10})^3$	gibi	Gi
$(2^{10})^2$	mebi	Mi
$(2^{10})^1$	kibi	Ki

1.4.e) Unidades em Uso com o SI

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor nas unidades do SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	d	1 d = 24 h
ângulo	grau	°	1° = $(\pi/180)$
	minuto	'	1' = $(1/60)^\circ = (\pi/10\ 800)$ rad
	segundo	"	1" = $(1/60)'$ = $(\pi/648\ 000)$ rad
volume	litro	l, L	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
massa	tonelada	t	1 t = 10 ³ kg
pressão	bar	bar	1 bar = 10 ⁵ Pa
temperatura	grau Celsius	°C	°C = K - 273,16

1.4.e) Unidades Temporariamente em Uso

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valor nas unidades do SI
comprimento	milha náutica		1 milha náutica = 1852 m
velocidade	nó		1 nó = 1 milha náutica por hora = (1852/3600) m/s
massa	carat		1 carat = $2 \cdot 10^{-4}$ kg = 200 mg
densidade linear	tex	tex	1 tex = 10^{-6} kg/m = 1 mg/m
tensão de sistema óptico	dioptre		1 dioptre = 1 m^{-1}
pressão no corpo humano	milímetros de mercúrio	mmHg	1 mm Hg = 133 322 Pa
área	are	a	1 a = 100 m^2
área	hectare	ha	1 ha = 10^4 m^2
comprimento	ângstrom	Å	1 Å = 0,1 nm = 10^{-10} m
seção transversal	barn	b	1 b = 10^{-28} m^2

1.4.f) Grafia dos nomes das unidades



- ⌘ Quando escritos por extenso, os nomes de unidades começam por letra minúscula, mesmo quando têm o nome de um cientista (por exemplo, ampere, kelvin, newton, etc.), exceto o grau Celsius.
- ⌘ A respectiva unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo, não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo.

1.4.f) Grafia dos nomes das unidades

⌘ O plural:

- ☑ Quando pronunciado e escrito por extenso, o nome da unidade vai para o plural (5 newtons; 150 metros; 1,2 metros quadrados; 10 segundos).
- ☑ Os símbolos das unidades **nunca** vão para o plural (5 N; 150 m; 1,2 m²; 10 s).

1.4.f) Grafia dos nomes das unidades

⌘ Símbolos das unidades:

- ☒ Os símbolos são invariáveis, não sendo admitido colocar, após o símbolo, seja ponto de abreviatura, seja "s" de plural, sejam sinais, letras ou índices.
- ☒ Multiplicação: pode ser formada pela justaposição dos símbolos se não causar ambigüidade (VA, kWh) ou colocando um ponto ou "x" entre os símbolos (m.N ou m x N)
- ☒ Divisão: são aceitas qualquer das três maneiras exemplificadas a seguir:

$$W/(sr.m^2)$$

$$W.sr^{-1}.m^{-2}$$

$$\frac{W}{sr.m^2}$$

1.4.g) Grafia dos números e símbolos



- ⌘ Em português o separador decimal deve ser a vírgula.
- ⌘ Os algarismos que compõem as partes inteira ou decimal podem opcionalmente ser separados em grupos de três por espaços, mas nunca por pontos.
- ⌘ O espaço entre o número e o símbolo é obrigatório.

1.4.h) Alguns enganos

⌘ Errado

- ☒ Km, Kg
- ☒ μ
- ☒ a grama
- ☒ 2 hs
- ☒ 15 seg
- ☒ 80 KM/H
- ☒ 250°K
- ☒ um Newton

⌘ Correto

- ☒ km, kg
- ☒ μm
- ☒ o grama
- ☒ 2 h
- ☒ 15 s
- ☒ 80 km/h
- ☒ 250 K
- ☒ um newton

Outros enganos











Traslado a Madrid Shuttle to Madrid



24 hrs.

RESERVATIONS

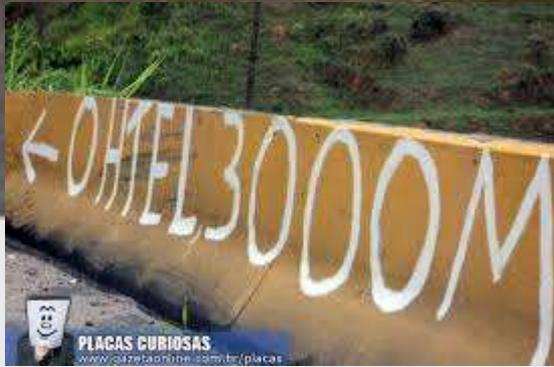
Teléfono GRATUITO 900 713 583 Toll FREE number

Tel + 34 91 747 75 70 / Fax + 34 748 11 14

www.aerocity.com



Fundamentos da
Metrologia Científica
e Industrial - Capítulo
2 - (slide 66/48)



Segundo o médico legista: "Para se ter uma ideia da magnitude, o impacto da aeronave no solo chegou a uma velocidade de oito vezes a gravidade, que é 9,8 metros por segundo ao quadrado"



1.4.i) Calibração



➤ Definição (V.I.M.):

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

1.4.i) Calibração

- A medida fornecida por um instrumento de medição só pode ser considerada **correta** se este estiver **calibrado**.
- Pode-se supor que um instrumento **recém-adquirido** tenha sido **calibrado pelo fabricante**
- Contudo, durante o uso, seu comportamento irá gradualmente **divergir das especificações**, por uma série de motivos:
 - ☒ desgaste mecânico, efeitos de sujeira, poeira, fumaça e produtos químicos
- A **taxa de divergência** das especificações varia de acordo com o **tipo de instrumento**, com sua **freqüência de uso** e com as **condições ambientes**

1.4.i) Calibração



- Sempre haverá um determinado momento no qual as **características do instrumentos** haverão **inaceitavelmente divergido** das especificações
- Neste momento, o instrumento deverá ser **recalibrado**
- A **calibração** é realizada por meio da **comparação da medida** fornecida pelo instrumento com os **padrões** (primário, secundário ou de trabalho)
- A **calibração** deve ser realizada sob as **condições ambientais** especificadas pelo **fabricante** do instrumento

1.4.i) Calibração



- O resultado de uma calibração permite tanto o **estabelecimento dos valores do mensurando** para as indicações como a determinação das **correções** a serem aplicadas.
- Um **calibração** pode, também, determinar outras propriedades metrológicas, como o **efeito das grandezas de influência**.
- O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento, algumas vezes denominado **certificado de calibração** ou **relatório de calibração**.