

METROLOGIA



O que é MEDIÇÃO?

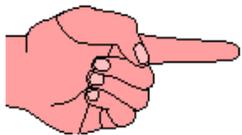
■ Existem várias respostas para essa questão.

◆ Para o VIM medição é um:

- “Conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza”

◆ Outra definição muito comum diz que

- “Medir é a caracterização de uma grandeza física ou química por um valor numérico, expresso em uma dada unidade”.



O vocabulário metrológico é definido no VIM (Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia), editado pela ISO.

ETAPAS DA MEDIÇÃO

- Com base em qualquer desses significados percebe-se que o processo de medir envolve 4 etapas:
 1. A definição do que vai ser medido (mensurando).
 2. A definição do critério para realizar a medição (escolha da escala).
 3. A leitura do valor indicado (valor de posição na escala).
 4. A interpretação do resultado.

ESCALA

- A escala será o foco da primeira parte do curso.
 - ◆ A escolha da escala pressupõe antes de tudo, a existência da própria escala.
 - ◆ As escalas empregadas atualmente na indústria e no comércio de todo mundo são aquelas estabelecidas pela Conferência Geral de Pesos e Medidas.

ESTRUTURA METROLÓGICA

■ Convenção do Metro

- ◆ Autoriza a CGPM, o CIPM e o BIPM a agirem sobre questões da metrologia mundial.
- ◆ Estabelece uma estrutura organizacional permanente para que os estados membros possam agir em questões relacionadas as unidades de medidas.

■ CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas)

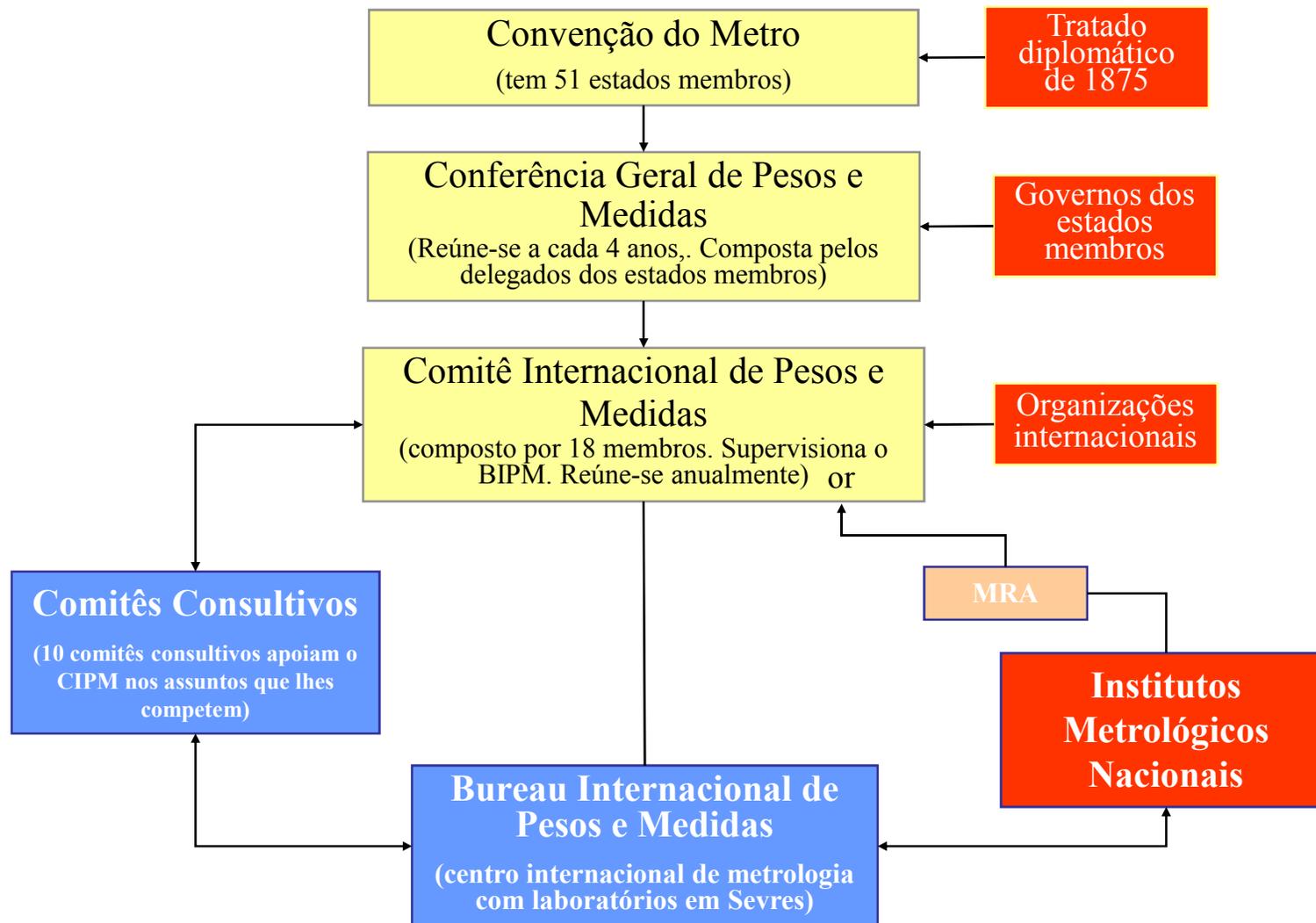
- ◆ Formada com participação de representantes dos estados membros analisa e decide sobre as propostas encaminhadas pelo CIPM

■ CIPM (Comitê Internacional de Pesos e Medidas)

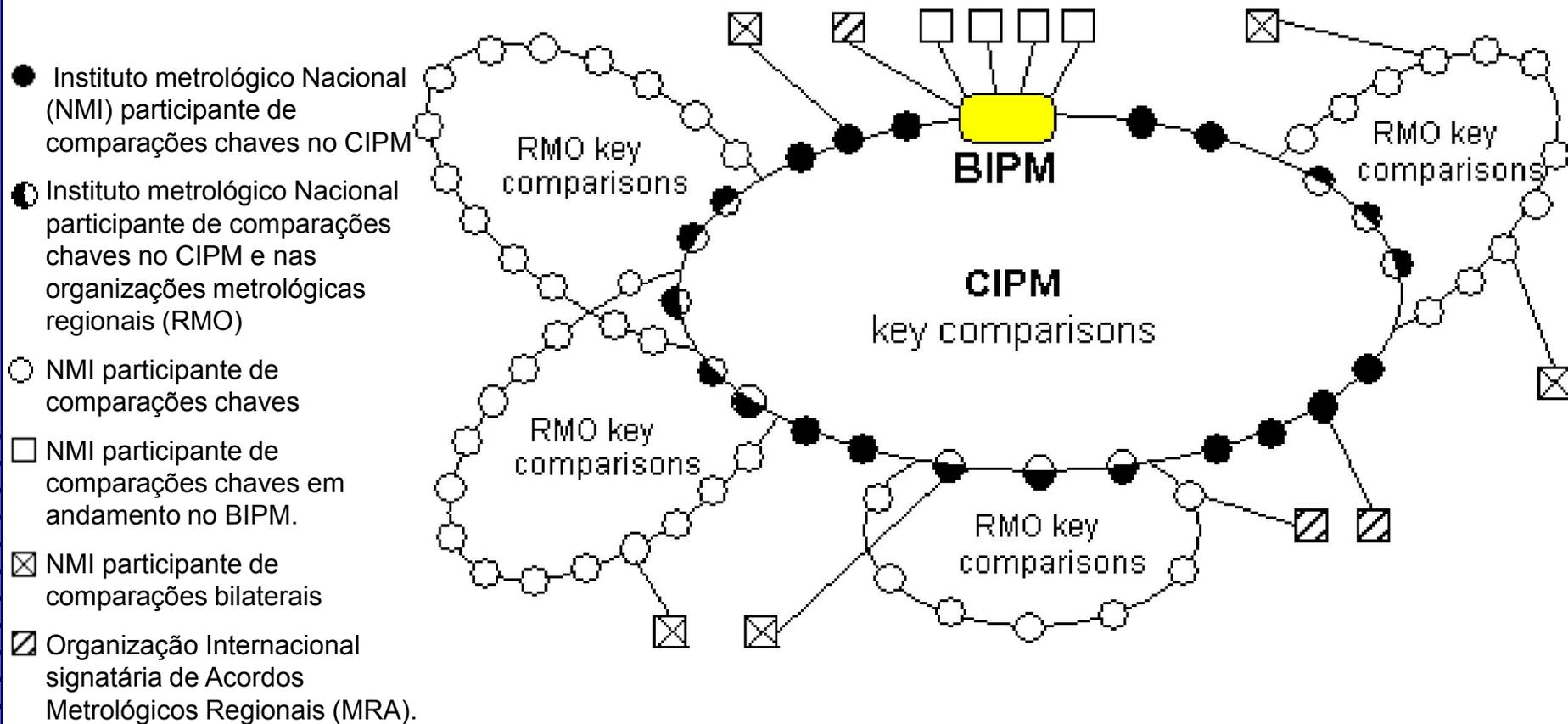
- ◆ Objetiva assegurar a uniformidade das unidades de medidas no mundo todo e elabora propostas neste sentido a serem encaminhadas à CGPM.

■ BIPM (Bureau Internacional de Pesos e Medidas)

TRATADO DO METRO



INTERCOMPARAÇÕES



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL

- **Autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.**

- **Atribuições e competências:**

Desenvolver atividades de pesquisa básica e aplicada em áreas críticas da metrologia.

Prover o país de padrões metrológicos primários, estruturar e gerenciar o sistema de referências metrológicas brasileiras e assegurar rastreabilidade aos padrões metrológicos das redes brasileiras de laboratórios credenciados.

Coordenar a Rede Brasileira de Laboratórios de Calibração (RBC), a Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE) e a Rede Nacional de Metrologia Legal (RNML).

RMMG



- Organização pública de direito privado constituída por laboratórios especializados.
- Objetivos:
 - ◆ estimular e promover o desenvolvimento da prestação de serviços de ensaio e calibração, fomentar a cultura metrológica em Minas Gerais, buscando garantir a qualidade dos produtos e aprimoramento tecnológico da Indústria no Estado.

QUESTÕES DE CONTROLE

- A respeito da estrutura metrológica construída a partir do Tratado do Metro:
 1. Faça um contraste entre o papel da Conferência Geral de Pesos e Medidas com o do Comitê Geral de Pesos e Medidas.
 2. Análise a função do BIPM na atual estrutura metrológica, considerando que já não é mais necessário ter um guardião para padrões de unidades tais como para o *segundo*, para o *metro*, etc.
 3. Quem controla a metrologia?
 4. Qual a posição (no topo da hierarquia?) na estrutura metrológica e a situação (respondem a algum órgão?) das organizações metrológicas nacionais como o INMETRO?

SISTEMA DE UNIDADES

- Unidades de medidas são usadas para atribuir valor às grandezas físicas.
- Um sistema de unidades é um conjunto de regras que determina como a unidade de cada grandeza usada é determinada de maneira consistente.
- O Sistema Internacional de Unidades - SI - foi oficialmente criado em 1960.
- O SI diferencia-se em duas classes:
 - ◆ unidades básicas
 - ◆ unidades derivadas.

UNIDADES BÁSICAS DO SI



Current: ampere

The current which, if maintained in two straight parallel conductors of infinite length, of negligible circular cross-section, and placed 1 metre apart in a vacuum, would produce between these conductors a force equal to 2×10^{-7} newtons per metre of length



Time: second

The time equal to the duration of 9,192,631,770 periods of the radiation corresponding to the transition between the two hyperfine levels of the ground state of the caesium-133 atom



Temperature: kelvin

The fraction $1/273.16$ of the thermodynamic temperature of the triple point of water



Amount of substance: mole

The amount of substance that contains as many elementary entities [molecules] as there are atoms in 0.012 kilograms of carbon-12



Luminous intensity: candela

The luminous intensity, in a given direction, of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz with a radiant intensity in that direction of $1/683$ watts per steradian



Length: metre

The length of the path travelled by light in a vacuum during a time interval of $1/299,792,458$ th of a second

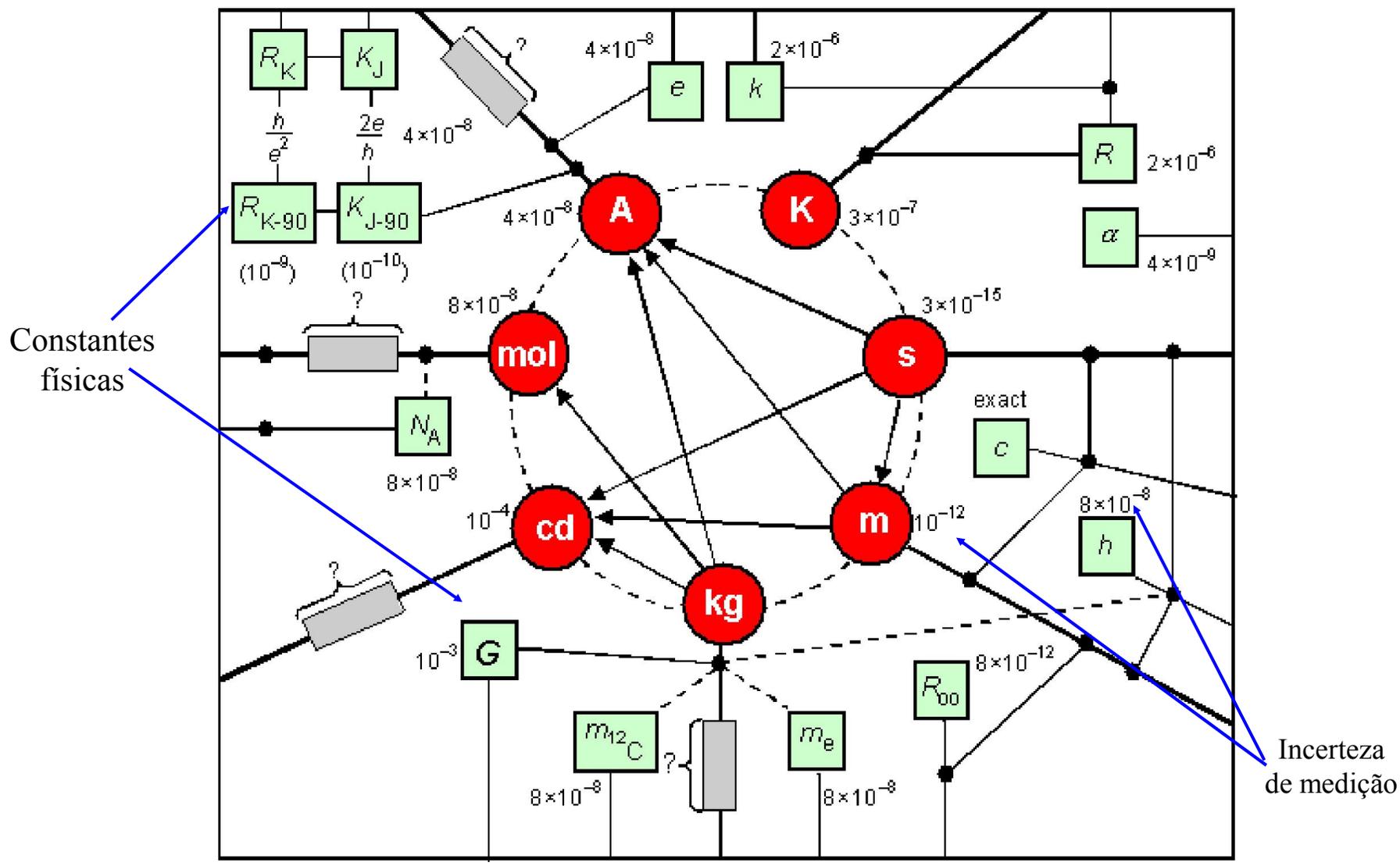


Mass: kilogram

The mass of the international prototype kept in Sèvres, France

Unidade	Grandeza	Símbolo
metro	comprimento	m
kilograma	massa	kg
segundo	tempo	s
ampere	corrente elétrica	A
kelvin	temperatura termodinâmica	K
mol	quantidade de substâncias	mol
candela	intensidade luminosa	cd

A figura mostra que as unidades básicas do SI estão ligadas às grandezas mensuráveis através de constantes físicas universais e fundamentais.



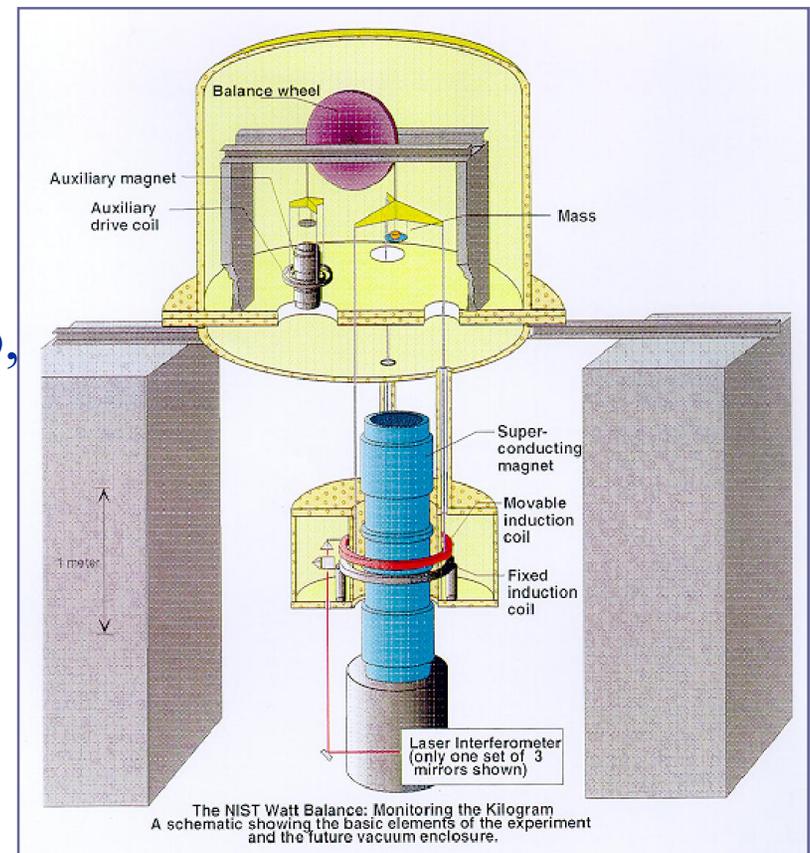
TERMOS METROLÓGICOS

- Os termos *definição*, *realização* e *representação* possuem significados específicos e distintos em metrologia:
 - ◆ Definição é uma declaração exata acerca do que é a unidade do S.I.
 - ◆ Realização
 - Feita por um objeto físico, cujos objetos observáveis mais se aproximam da definição dada pelo S.I. para a referida unidade.
 - O volt, definido como a potência dividida pela corrente elétrica, é realizado por um experimento que compara a potência elétrica com a mecânica por meio de uma balança de força.
 - ◆ Representação
 - O significado aqui é o de se fazer passar pela unidade.
 - Ao invés de realizar a unidade, que é um processo elaborado, difícil e caro, a representação é feita para oferecer alguma vantagem clara:
 - Dispositivos são mais simples e/ou de custos mais baixos.
 - Reprodutibilidade mais fácil
 - Exemplos: representação do volt: células eletroquímicas, Pilha de Josephson.

O AMPÈRE (A)

- É uma corrente constante que, se mantida entre dois condutores paralelos de comprimento infinito, seção transversal desprezível e distanciados de um metro no vácuo, iria produzir entre os condutores uma força igual de 2×10^{-7} Newton/m.

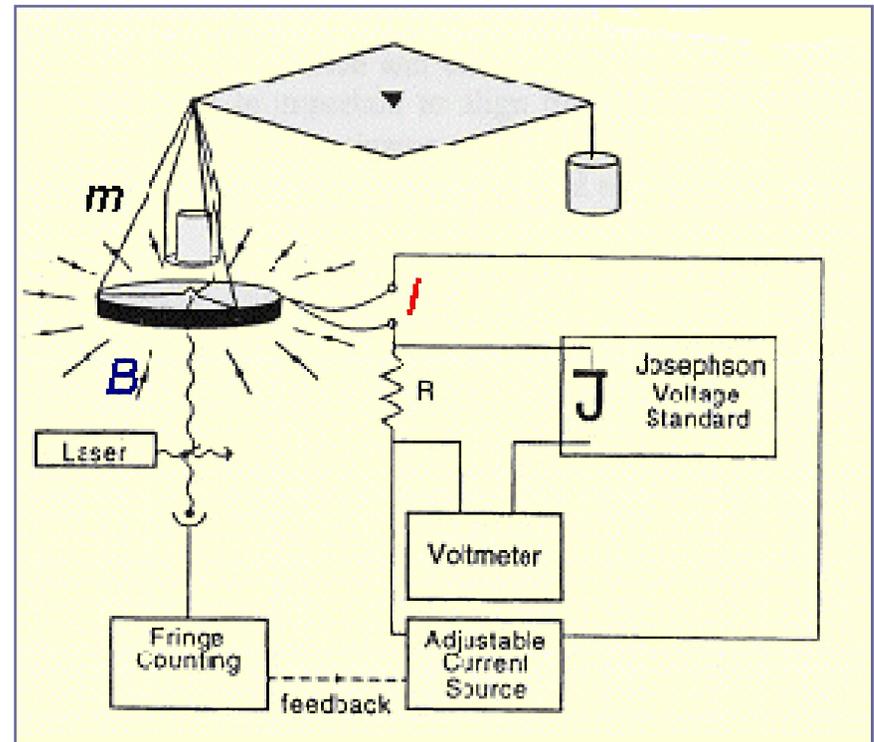
- ◆ O ampère não é muito adequado para reprodução da unidade de corrente.



O ampère, o quilograma, o metro e o segundo determinam todas as demais grandezas elétricas.

REALIZAÇÃO DO AMPÉRE

- O Ampére ainda é realizado com base na física clássica.
 - ◆ A figura mostra a balança de Watt.
- Neste experimento, a massa e a bobina são suspensas da balança. A bobina é colocada em um campo magnético com densidade de fluxo B , no qual um gradiente vertical de fluxo ($\partial\Phi/\partial z$) existe.
 - ◆ A força gravitacional na massa m é balanceada por uma igual e oposta força na bobina que aparece ao fazer passar por ela uma corrente I .



$$I = -\frac{mg}{\partial\Phi/\partial z}$$

GRANDEZAS DERIVADAS

■ Volt

- ◆ É a diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um fio condutor transportando uma corrente constante de 1 A, quando a potencia dissipada entre esses dois pontos for de 1W.

$$[U]_{SI} = V = \frac{W}{A} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}}$$

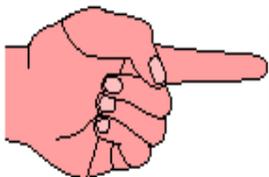
■ Ohm

- ◆ É a resistência elétrica entre dois pontos de um condutor, quando uma diferença de potencial constante de 1V, aplicada entre dois pontos, produz uma corrente de 1A, sendo que o condutor não é fonte de nenhuma força eletromotriz (f.e.m)

$$[R]_{SI} = R = \frac{V}{A} = \frac{W/A}{A} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{A}^2}$$

GRANDEZAS DE REFERÊNCIA

- Alguns processos modernos demandam medições com reprodutibilidade que excede a incerteza de realização da grandeza elétrica associada do S.I.
 - ◆ Para esses casos foram desenvolvidos artefatos ou experimentos que geram tensões (ou resistências) estáveis e reprodutíveis a um nível de frações de ppm's.
- Esses experimentos representam – mas não realizam - a respectiva unidade do S.I. e funcionam como uma espécie de referência estável para a grandeza realizada.



Antes de 1972 o Volt era representado por bancos de pilhas de Weston, e o Ohm por resistores colocados em banho de óleo, cuidadosamente estabilizados.

METROLOGIA CONVENCIONAL x QUÂNTICA

■ Metrologia convencional

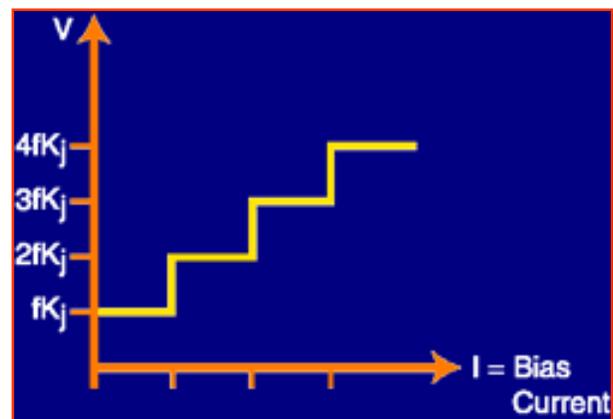
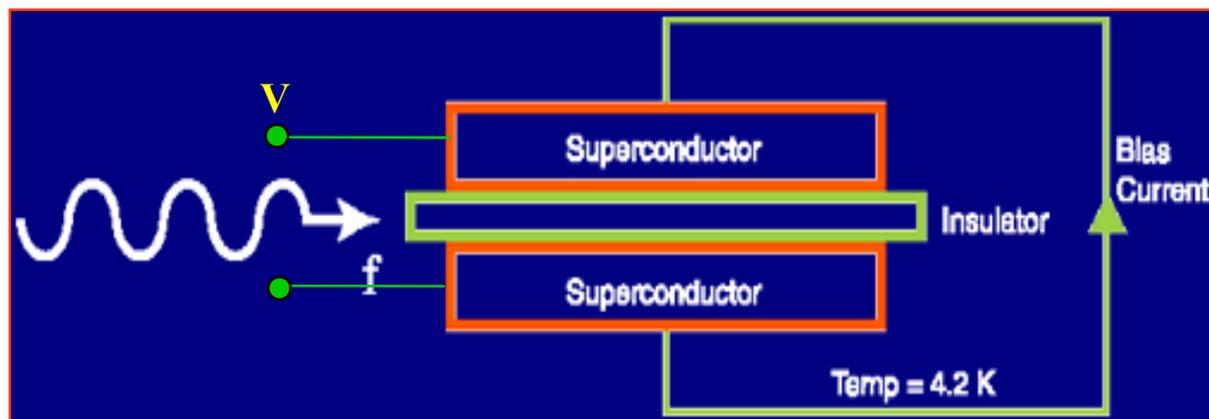
- ◆ O eletromagnetismo permitiu a construção do volt, de balanças de corrente e de watt e do capacitor calculável, os quais podem fornecer valores de exatidão bastante elevada para a tensão, corrente, capacitância e resistência.
- ◆ Os experimentos assim elaborados são de difícil reprodução e caros e somente um número reduzido de órgãos são capazes realiza-los.

■ Metrologia quântica

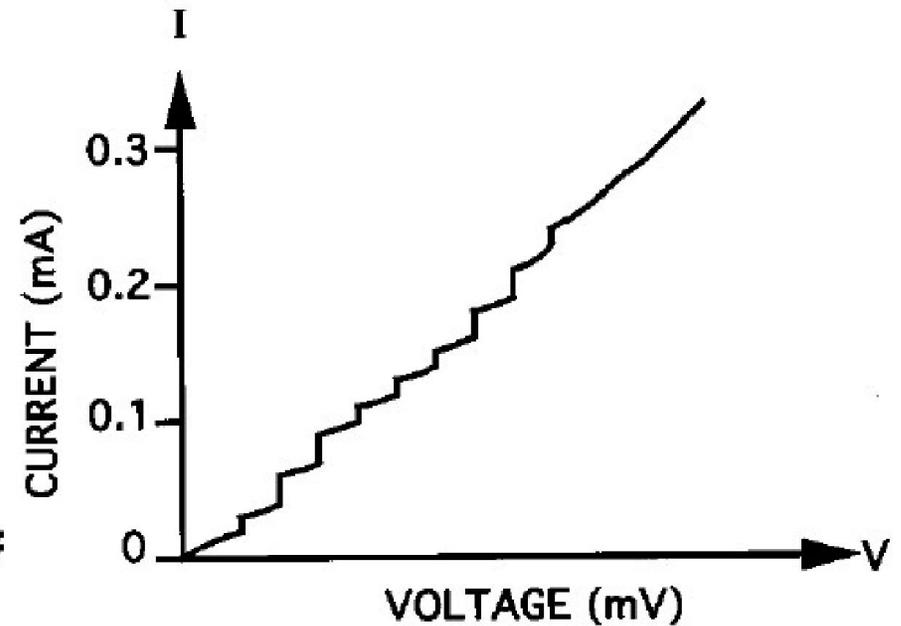
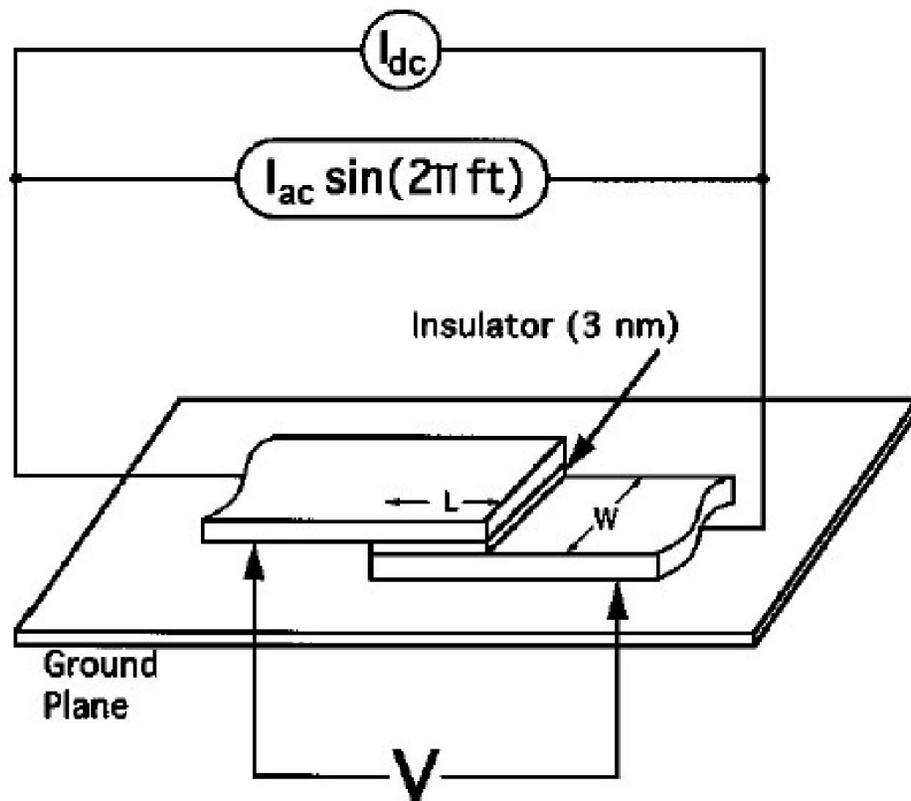
- ◆ As descobertas do “efeito Josephson” e do “efeito Hall-Quântico”, **embora não tenham nenhuma relação com a *definição* das unidades do S.I.**, abriram possibilidades de se obter representações de grande estabilidade para as unidades elétricas.

EFEITO JOSEPHSON

- Fenômeno quântico que aparece em um dispositivo composto por 2 supercondutores e separados por uma fina barreira isolante (**junção**).
- Uma junção de Josephson apresenta valores precisos de tensão entre seus terminais, desde que seja:
 - ◆ resfriada a uma temperatura ≤ 4 K e
 - ◆ polarizada por uma corrente contínua e
 - ◆ exposta a uma radiação na faixa das micro-ondas ($f=9,5946537$ GHz).
- A característica $V \times I$ apresenta **degraus de tensão constante**.



EFEITO JOSEPHSON



VOLT DE REFERÊNCIA

- O volt de referencia é dado por:

$$V = \frac{h}{2e} n * f = \frac{n * f}{K_J}$$

h- constante de Plank,

f- frequência da radiação (70 -94 GHz)

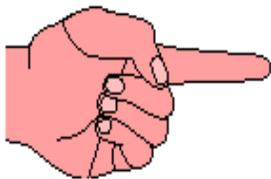
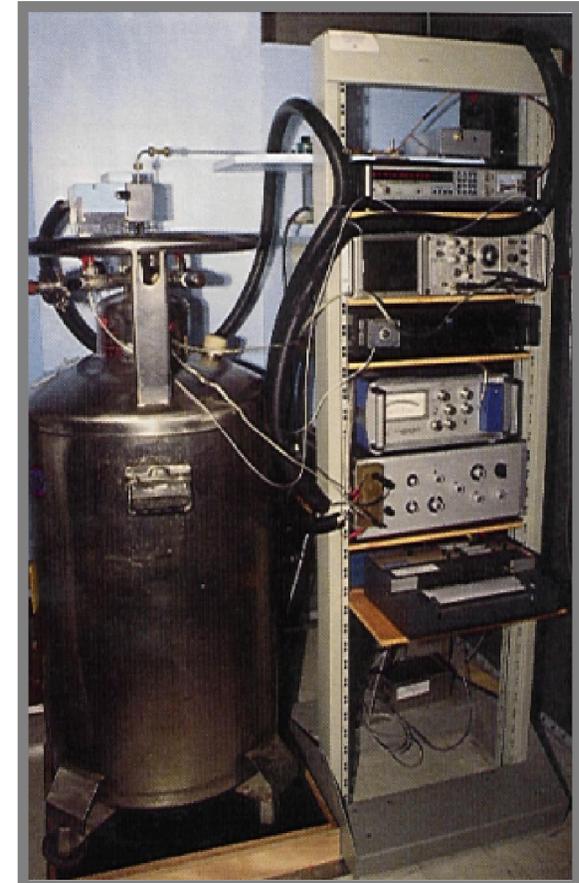
e- carga do eletron

n- degraos de tensão constante

$K_J = \frac{2e}{h}$ constante de Josephson

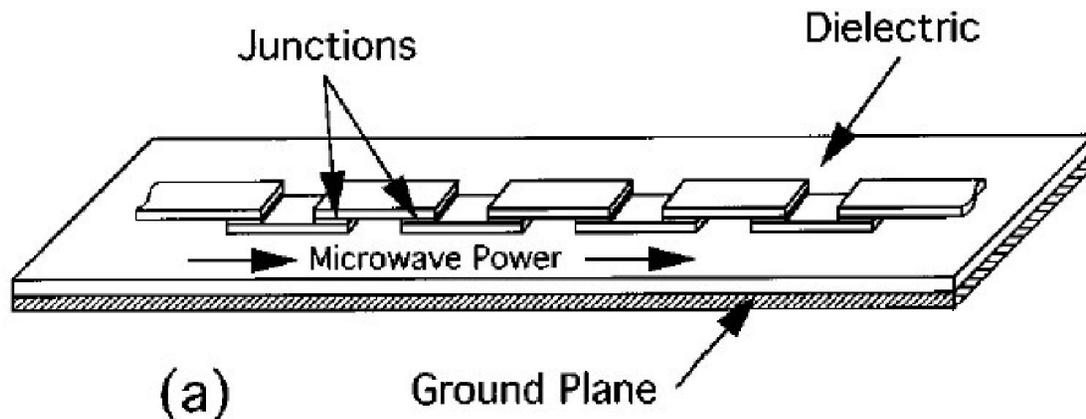
- O arranjo de Josephson fornece uma tensão continua (DC) de referência para calibração de padrões de tensão (células padrão, referência Zener).

- ◆ $k_{J-90} = 483.597,9 \text{ GHz/V}$ adotado em 01/Janeiro/1990.

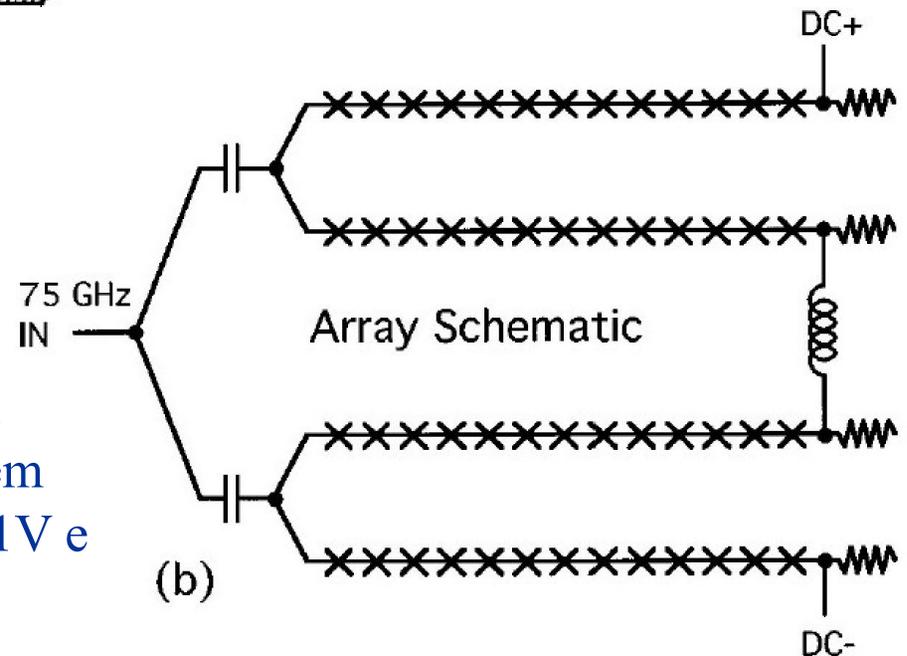


Junções de Josephson conectados em série (arranjo de Josephson) produzem degraos muito precisos de tensão de 1V e 10 volts.

PILHA DE JOSEPHSON



- Várias células colocadas em série.
 - ◆ a) ilustração.
 - ◆ b) esquemático.
- Junções de Josephson conectados em série (arranjo de Josephson) produzem degraus muito precisos de tensão de 1V e 10 volts.



A pilha de Josephson não é o Volt-padrão.

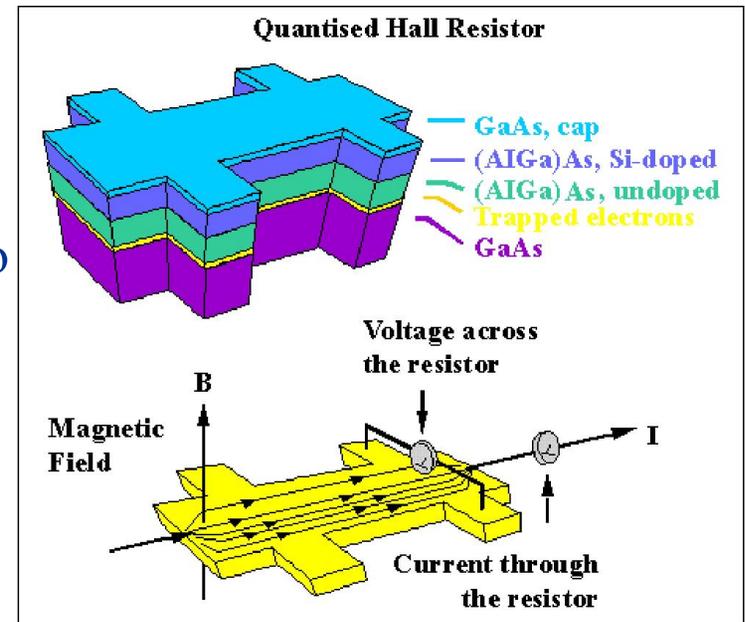
(O Volt-padrão continua definido com base na física clássica)

Ela é uma representação deste padrão, que se notabiliza por apresentar elevada estabilidade de longo prazo.

EFEITO HALL-QUÂNTICO

- Observado em um gás de elétrons bidimensional, em temperaturas muito baixas ($< 1\text{K}$), submetido a campos eletromagnéticos muito intensos ($B > 15\text{T}$)
- Esse gás bi-dimensional pode ser produzido em um Mosfet ou em uma hetero-estrutura de GaAs/AlGaAs
- Medindo-se ($V_H \times B$), respectivamente a tensão de Hall e a densidade de campo magnético, platôs de tensão constante podem ser observados.
- Nos platôs a resistência R_H quantizada é:

$$R = \frac{h}{i * e^2} = \frac{R_k}{i}$$



Onde:

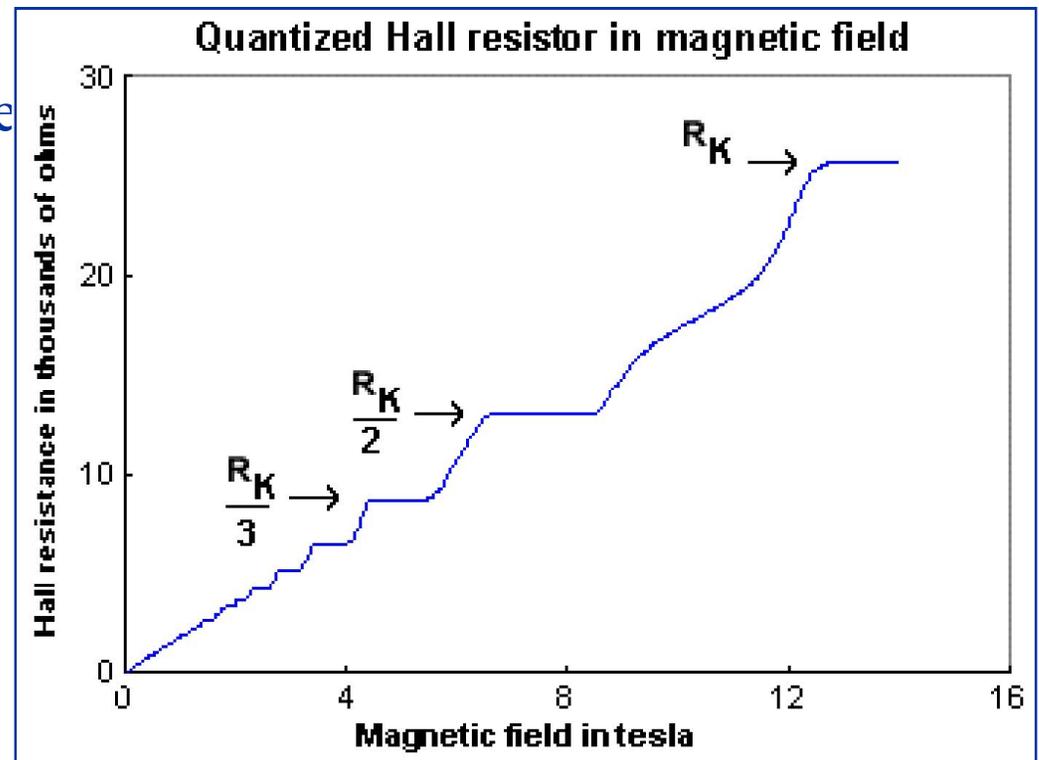
i - inteiro

$R_k = \frac{h}{e^2}$ - constante de von Klitzing

OHM DE REFERÊNCIA

- A figura mostra os platôs onde a resistência é constante
- O CIPM estabeleceu que a resistência no platô 1 vale:

$$R_K - 90 = 25812.807 \, \Omega$$



- A incerteza é de cerca de 2×10^{-7} , que é cerca de 100 vezes maior do que a que pode ser obtida com o padrão quântico

A Resistência de Hall R_{k-90} não é o
Ohm-padrão.

(O Ohm padrão continua definido com base na física clássica)

R_{k-90} é uma representação deste padrão
que se notabiliza por apresentar elevada
estabilidade de longo prazo..

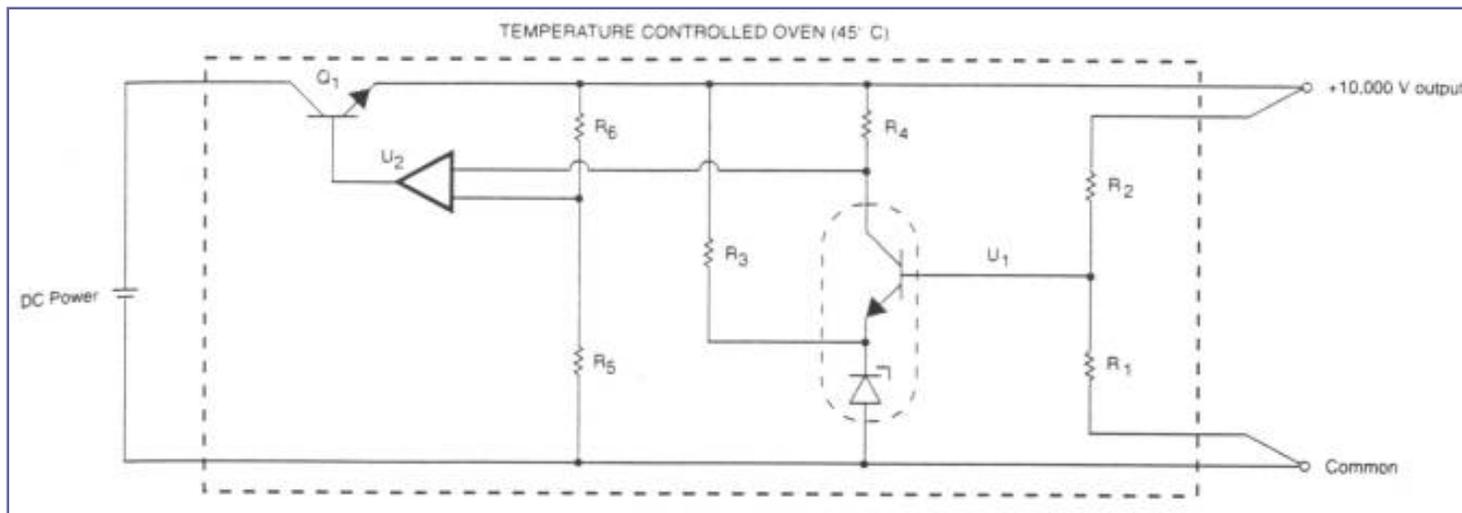
PADRÕES SECUNDÁRIOS

- Normalmente, nos laboratórios de calibração são usados padrões secundários, de menor custo, mas maior incerteza.
- Padrões construídos com componentes de estado sólido:
 - ◆ Amplificador com diodo zener integrado.
 - ◆ Diodos zener com compensação de temperatura.

AMPLIFICADOR COM ZENER



- Equipamento Fluke com 4 módulos contendo padrão de tensão contínua para 10 volts (0,3ppm) e 1,018 volts (0,8ppm).



Circuito elétrico do amplificador com diodo zener integrado.

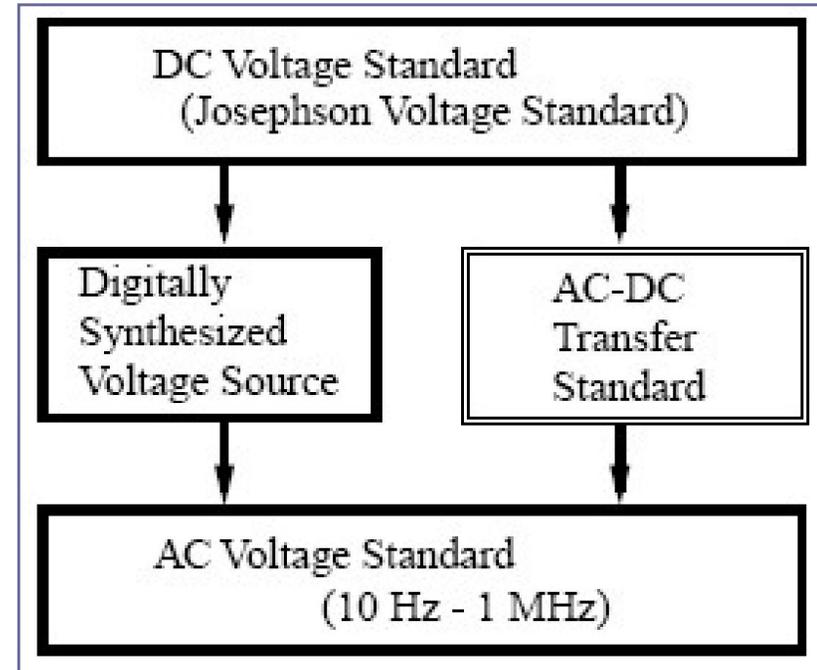
TRANSFERÊNCIA DC-AC

- Para a calibração de instrumentos CA, com rastreabilidade ao Volt de Referência da pilha de Josephson, dois esquemas podem ser usados:

- ◆ Fonte de tensão sintetizada digitalmente.
- ◆ Padrão térmico de transferência.

- Princípio da transferência DC_AC

- ◆ Um sinal AC é definido pelo valor eficaz (RMS) da onda senoidal.
- ◆ Então, é possível comparar uma tensão AC com outra DC por meio da potência.



$$V_{AC(rms)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

QUESTÕES DE CONTROLE

1. Explique a diferença de significado dos termos “definição” e “realização” da grandeza.
2. Quais as conseqüências de não se conseguir que para a realização do Ampére, por exemplo, os condutores não tenham comprimento infinito, seção transversal desprezível, etc. ?
3. O Volt e o Ohm definidos com base nos padrões quânticos são denominados respectivamente de Volt de referência e Ohm de referência. Como não houve nenhuma mudança recente na definição de unidades básicas ou derivadas do S.I. explique a inserção dessas duas grandezas no sistema internacional de unidades e o seu uso para calibração de padrões.
4. Atualmente, verifica-se um grande esforço para se obter arranjos de células de Josephson, de tal forma a se produzir as pilhas de Josephson. Qual vantagem da pilha sobre uma única célula em termos de padrões de tensão?

VOCABULÁRIO METROLÓGICO

■ Erro

- ◆ Resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

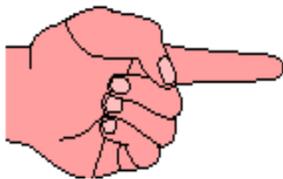
$$\varepsilon = V_v - V_m$$

- ◆ É um conceito idealizado. Não pode ser conhecido exatamente.
 - componente aleatória e componente sistemática.

■ **Desvio/Discrepância/Tendência (erro)**

- ◆ É a diferença entre o valor verdadeiro convencional e o valor medido.

$$\varepsilon_d = V_{vc} - V_m$$

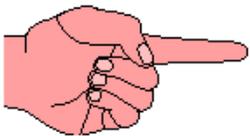


O termo “exatidão” ou no inglês “accuracy” é usado pelos fabricantes de instrumentos para indicar o desvio máximo admissível.

VOCABULÁRIO METROLÓGICO

■ Incerteza

- ◆ Parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando
 - O parâmetro pode ser, por exemplo, um desvio padrão ou a metade do intervalo para um nível de confiança estabelecido;
- ◆ A incerteza compreende, em geral, muitos componentes:
 - **incerteza tipo-A**
 - Estimada com base na distribuição estatística dos resultados das séries de medições e pode ser caracterizada pelo desvio padrão experimental.
 - **incerteza do tipo-B**
 - Avaliada por meio de distribuição de probabilidade assumida, baseadas na experiência ou em outras informações.



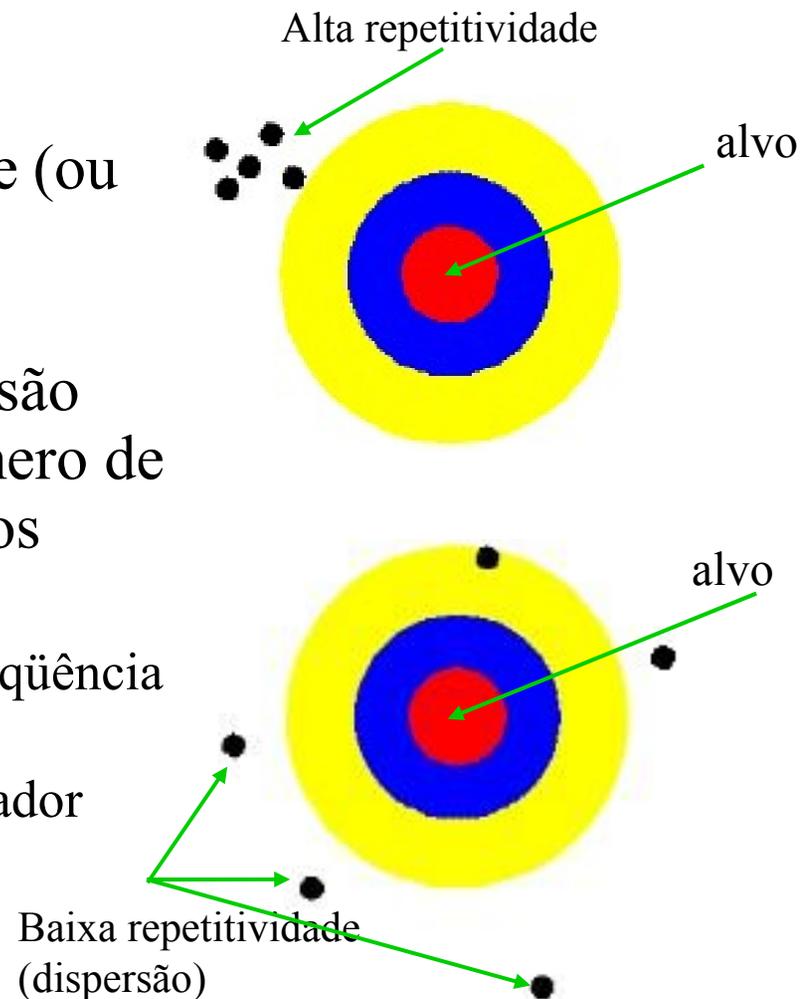
Todos componentes da incerteza, incluindo os resultantes de efeitos sistemáticos e os associados com correções e padrões de referência, contribuem para a dispersão.

VOCABULÁRIO METROLÓGICO

■ Precisão

- ◆ É uma medida da repetitividade (ou consistência) de uma série de medidas
- ◆ Além da repetitividade, a precisão deve considerar também o número de algarismos significativos com os quais uma medida é feita
 - Exemplo: $f_0 = 999.764 \text{ Hz} \Rightarrow$ frequência de um oscilador

$f_c = 1,0 \text{ MHz} \Rightarrow$ contador mede consistentemente.



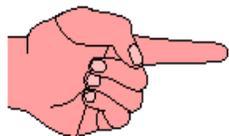
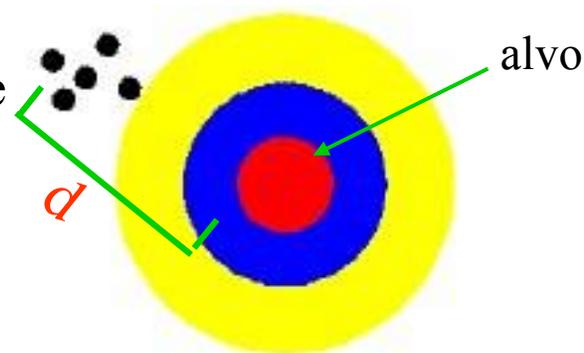
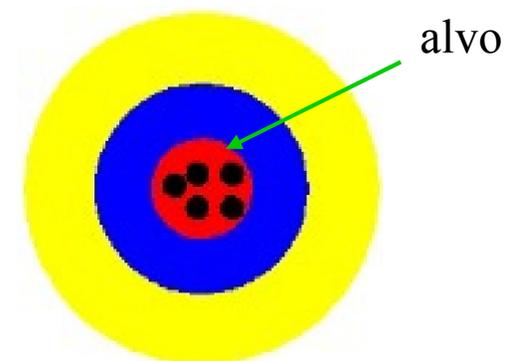
VOCABULÁRIO METROLÓGICO

■ Exatidão

- ◆ É o grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro do mensurando.

■ Obs.:

- ◆ **Exatidão** é um conceito qualitativo;
- ◆ O atributo **exato** aplicado a uma medida, em geral, implica também **preciso**. Porém não existe nenhum compromisso rígido quanto a isso.
- ◆ O termo **precisão** não deve ser utilizado com o significado de **exatidão**.



Exatidão é uma medida de erro e não de incerteza.

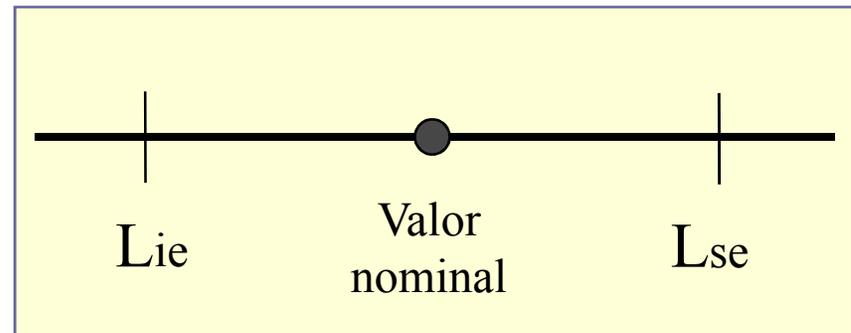
CONCEITOS

- O processo de globalização das economias nacionais tem produzido importantes conseqüências para as áreas de metrologia, padronização, teste e garantia da qualidade de produtos e processos.
- Uma das conseqüências é o amplo reconhecimento da relevância das medições para o processo de tomada de decisão sobre qualidade de produtos e processos.
- É também reconhecido que as informações sobre as grandezas resultantes dos processos de medições, raramente podem ser consideradas completas.
- Por esta razão, a confiança nas medições é possível somente se for feita a avaliação quantitativa e confiável de sua qualidade, através da determinação de sua incerteza.

TOLERÂNCIA E CONFORMIDADE

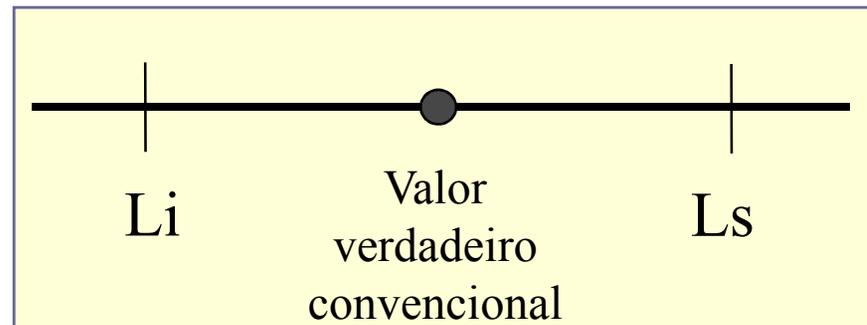
■ Representação gráfica das especificações de instrumentos de medição.

- ◆ Valor nominal é o valor informado pelo fabricante.
- ◆ L_{ie} – limite inferior especificado é o valor mínimo que o instrumento pode apresentar.
- ◆ L_{se} - limite superior especificado é o valor máximo que o instrumento pode apresentar.



■ Valor verdadeiro (da grandeza)

- ◆ valor consistente com a definição de uma grandeza particular
 - valor que seria obtido em uma medição perfeita
 - é, por natureza, indeterminado.
- ◆ Valor verdadeiro convencional
 - Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito às vezes por convenção como tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.



TOLERÂNCIA E CONFORMIDADE

■ Casos exemplos:

◆ Primeiro exemplo

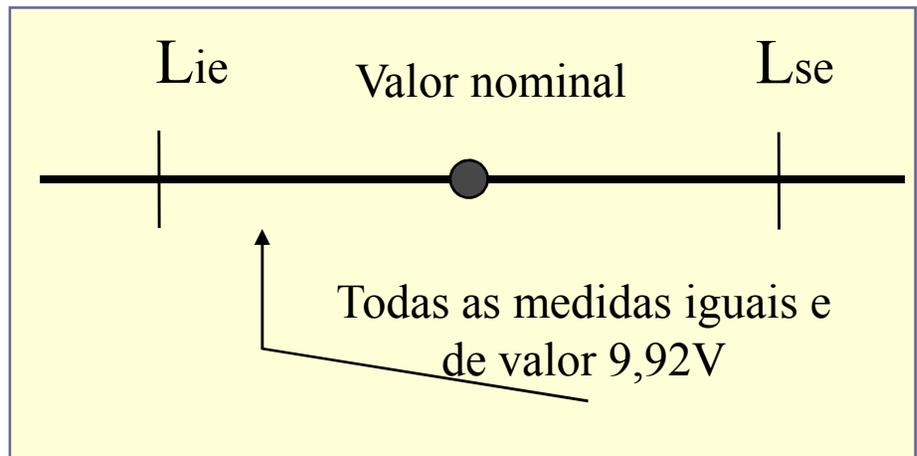
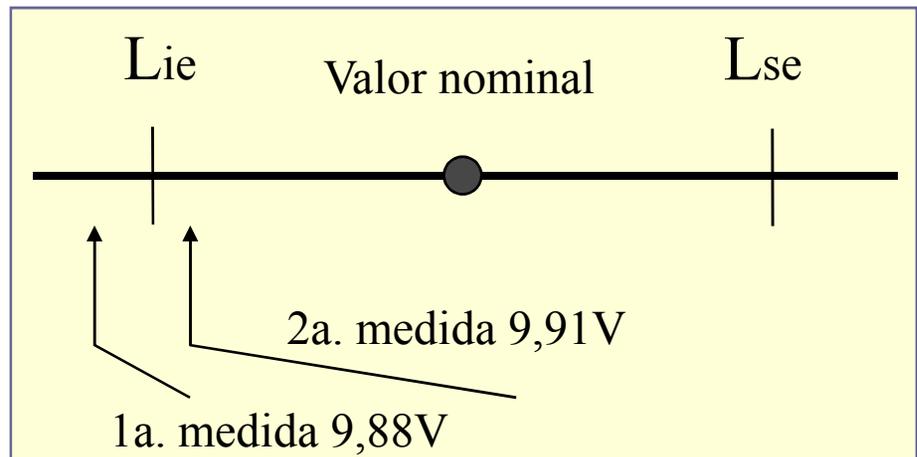
- 1a medida de valor 9,88 V.
- 2a. medida de valor 9,91 V.
- Produto aceitável?

◆ Segunda exemplo

- Todas medidas iguais e de valor igual a 9,92 V.
- Produto aceitável.

◆ Respostas:

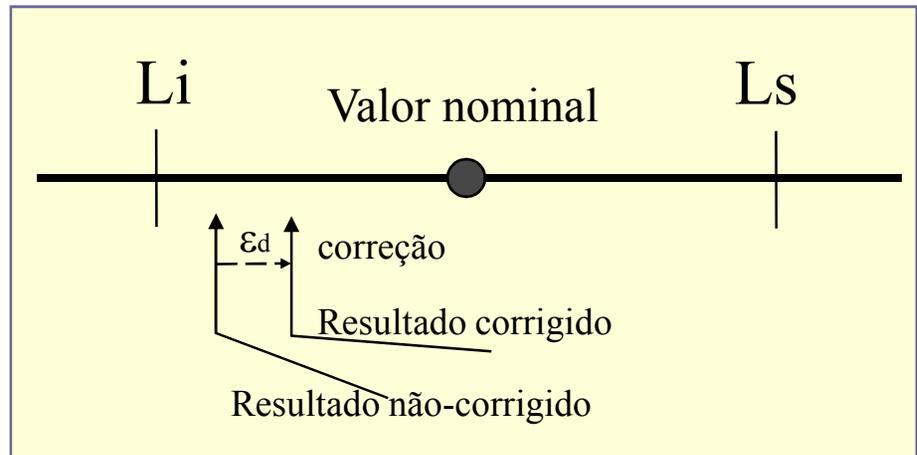
- Não necessariamente.
- Vários tipos de fatores podem estar contribuindo para que os resultados sejam iguais, tais como a baixa resolução do instrumento.



TOLERÂNCIA E CONFORMIDADE

■ Valor medido e valor corrigido

- ◆ Valor medido é aquele obtido pela leitura do instrumento.
- ◆ Valor corrigido
 - Para que a medida esteja de acordo com a definição da grandeza, é necessário fazer uma correção do valor lido pela adição ou subtração de um determinado valor.



TOLERÂNCIA E CONFORMIDADE

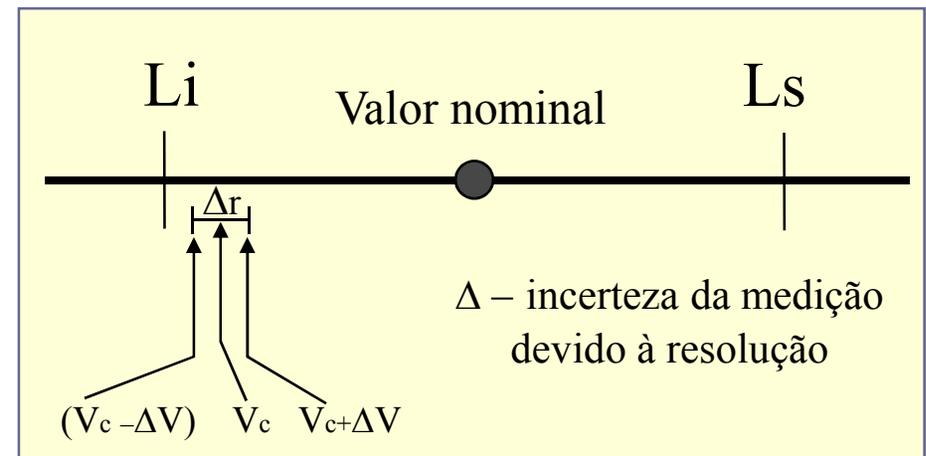
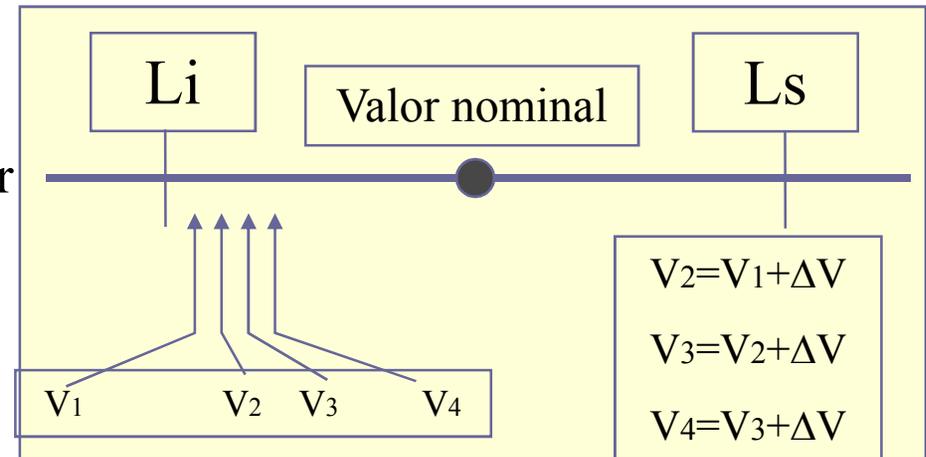
■ Resolução do instrumento

- ◆ É a menor diferença que pode ser significativamente distinguida.

■ Sensibilidade

- ◆ É uma medida da variação na leitura de um instrumento para uma da variação na grandeza medida

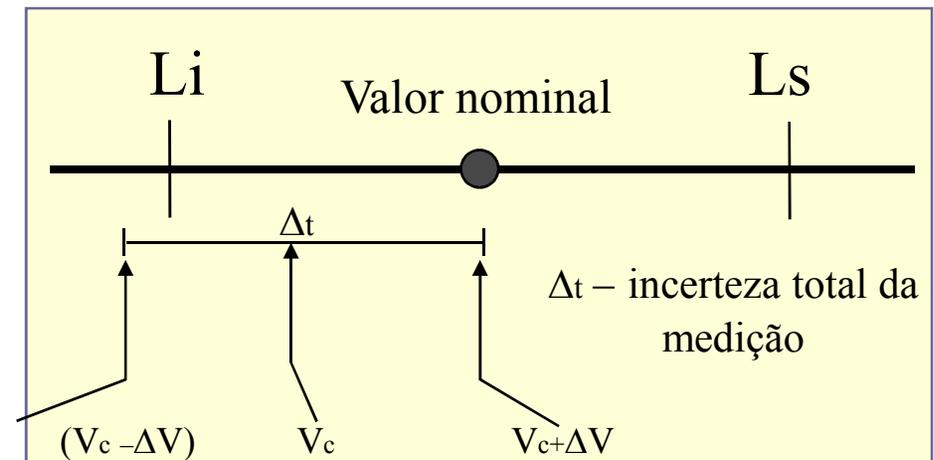
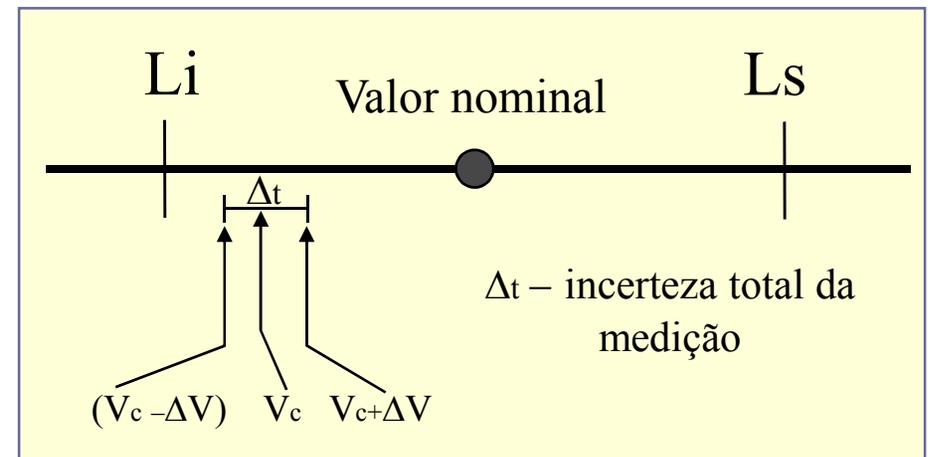
■ Incerteza devido à resolução



TOLERÂNCIA E CONFORMIDADE

■ Melhor estimativa final de medição

- ◆ Além da contribuição da resolução, outras se somam à incerteza final.
- ◆ Dois casos exemplos:
 - Primeiro caso: pequena incerteza e dentro dos limites de tolerância
↓
Equipamento conforme.
 - Segundo caso: incerteza elevada. Extrapola limites de tolerância.
↓
Equipamento não-conforme.

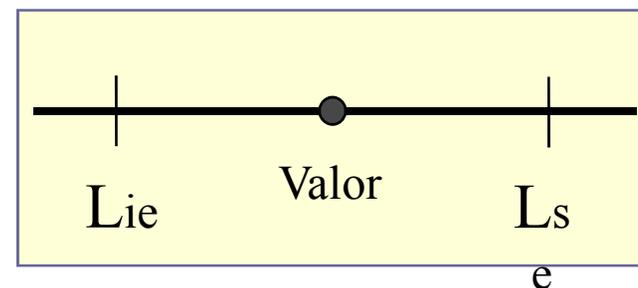


QUESTÕES DE CONTROLE

1. O que é o valor verdadeiro convencional de uma medida?
2. Explique a diferença de significado dos conceitos erro e incerteza de medida. Porque não se deve usar os termos “erro sistemático” e “erro aleatório” como antigamente?
3. Faça uma distinção entre os significados dos termos 1- resolução, 2- Precisão e 3- Sensibilidade, aplicados a medidores.
4. Qual a origem dos componentes de incertezas do tipo-A e das incertezas do tipo -B? Dê exemplos práticos.
5. Utilizando as suas próprias palavras dê o significado dos seguintes termos metrológicos:
 - (a) repetitividade,
 - b) reprodutibilidade.

QUESTÕES DE CONTROLE

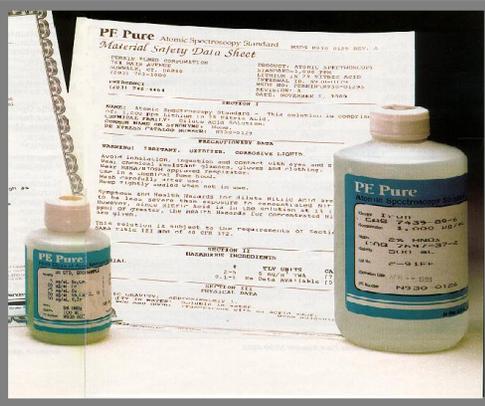
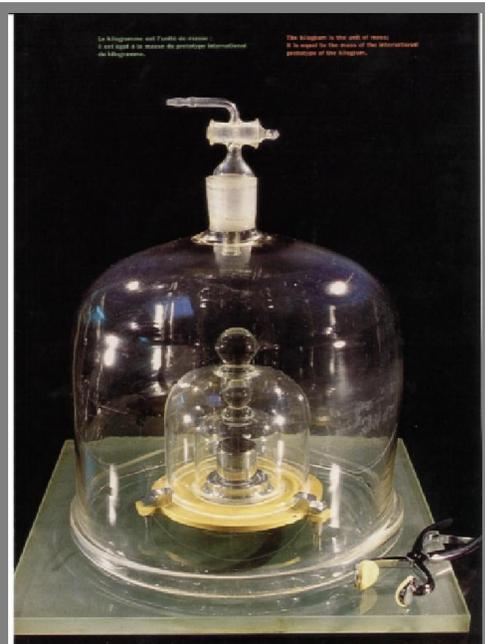
6. Tome como base o diagrama da figura ao lado para demonstrar o seu entendimento dos conceitos de qualidade metrológica aplicada à sistemas de medição. No manual de um determinado instrumento está dada a seguinte especificação:



exatidão= $\pm(0,02\%*\text{valor medido} + 0,05\%*\text{faixa de medição})$.

- Tomando como base o diagrama ao lado, mostre que na calibração foi constatado que o instrumento apresentou conformidade com as especificações do fabricante.
- Como seria a representação no diagrama de um caso em que o instrumento estivesse inadequado ao uso?
- Considere que o instrumento em questão foi calibrado com base em um padrão com rastreabilidade estabelecida, o qual também foi calibrado. Represente as influências de cada um desses padrões no diagrama do instrumento em questão.
- Represente, com base no diagrama, os dados de um instrumento que apresentasse uma “tendência”.

PADRÕES E RASTREABILIDADE



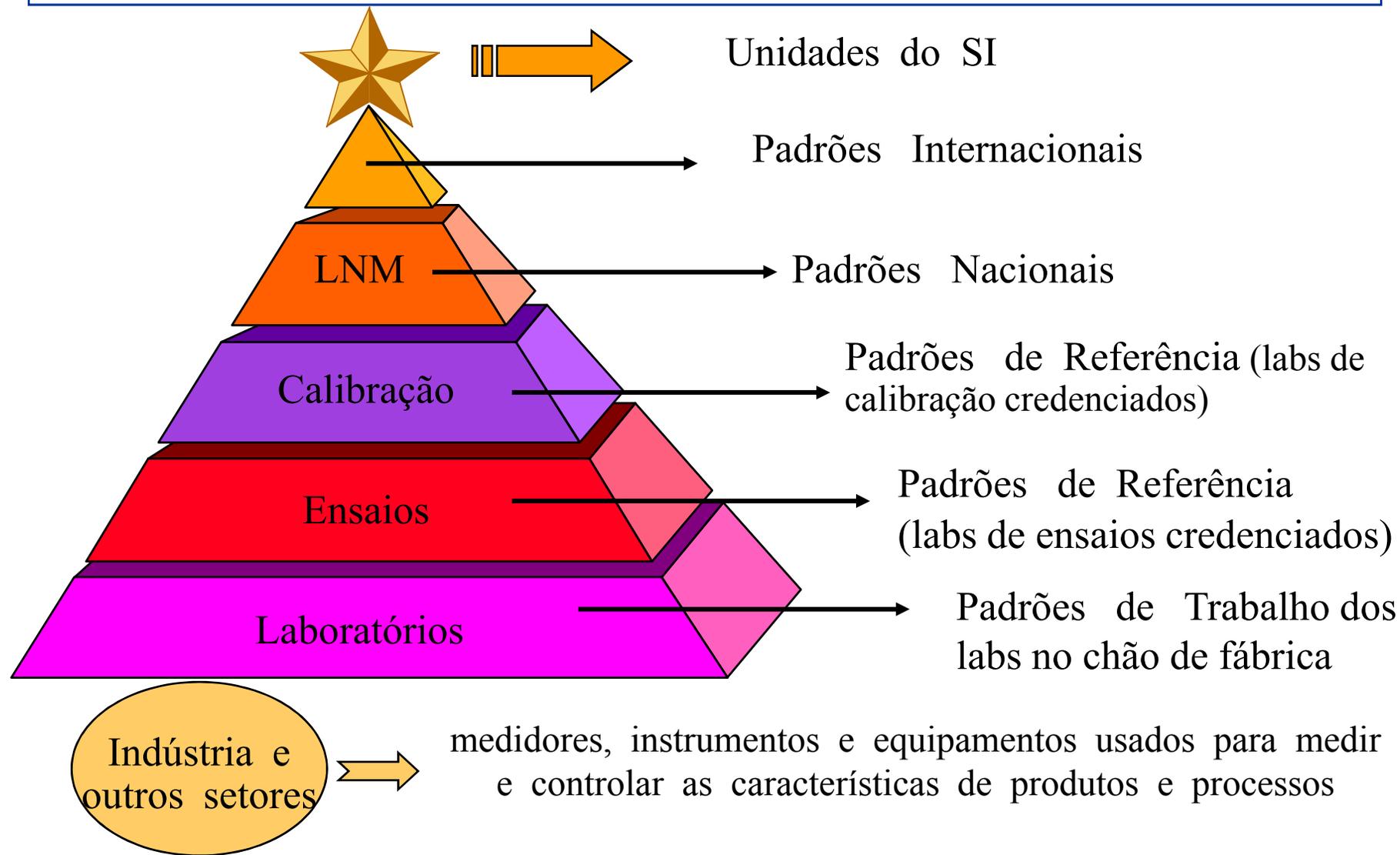
■ Padrão

- ◆ medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir ou realizar, conservar ou reproduzir uma unidade ou um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência
- ◆ Exemplos
 - massa padrão de 1 kg
 - resistor padrão de 1 Ω
 - padrão de Li de 1ppm em solução de HNO₃ a 2%.

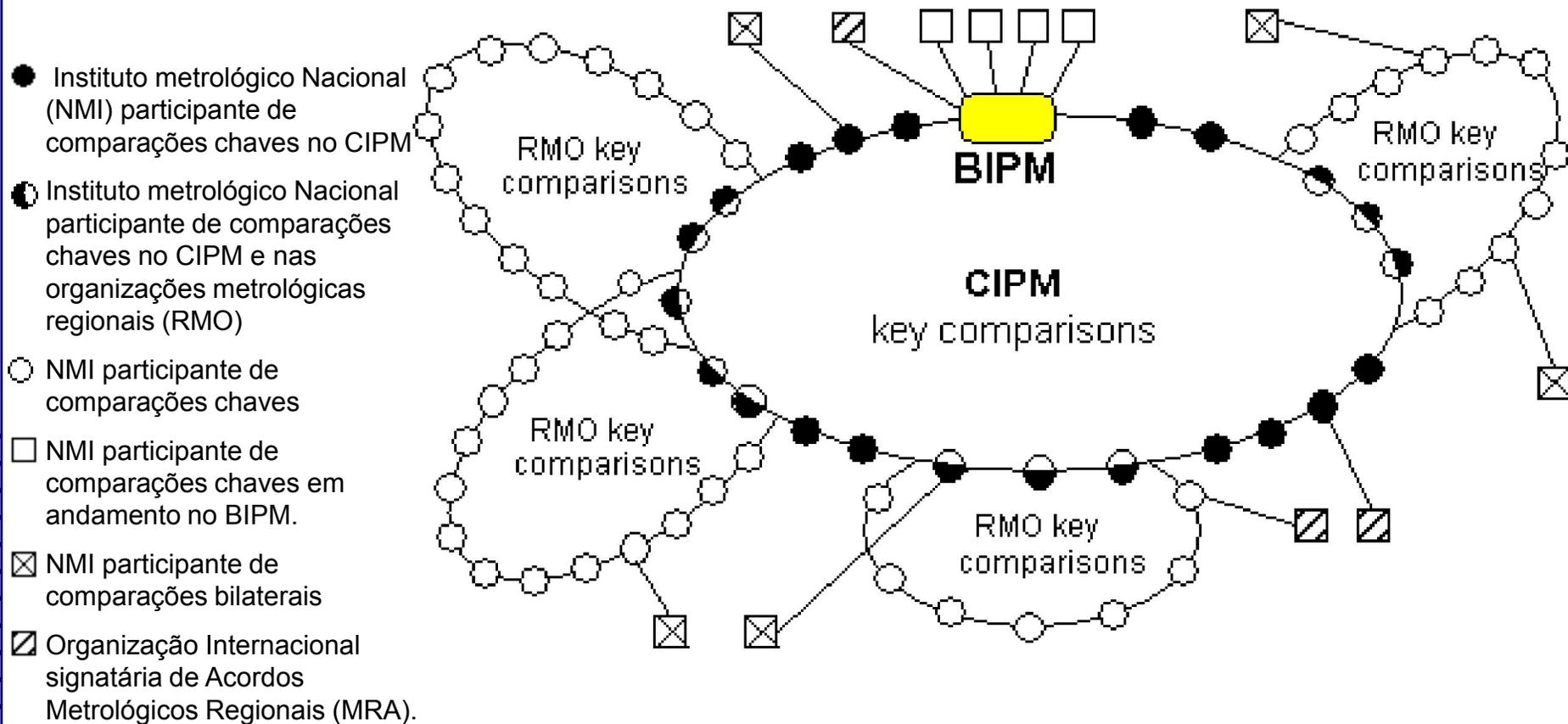
■ Rastreabilidade

- ◆ É a propriedade do resultado de uma medição ou do valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas

RASTREABILIDADE DOS PADRÕES



INTERCOMPARAÇÕES



CALIBRADOR MULTIFUNÇÃO



Tensão contínua

■ **Faixas:** 0 to $\pm 1100V$
■ **validade de 1 ano:**
 ± 3.5 ppm da escala

Tensão alternada

■ **Faixas:**
220 μV to 1100V
10 Hz to 1 MHz
■ **validade de 1 ano :**
 ± 45.0 ppm da escala

Corrente contínua

■ **Faixas :** 0 to $\pm 2.2A$
■ **validade de 1 ano :**
 ± 35 ppm da escala

Corrente alternada

■ **Faixas :** 9 μA to 2.2A (11A with 5725A) 10 Hz to 10 kHz
■ **validade de 1 ano :**
 ± 120 ppm da escala

Fluke 5720A

QUESTÕES DE CONTROLE

1. Explique com as suas próprias palavras o que é calibração?
2. Explique porque é necessário que um instrumento de medição esteja calibrado antes de ser utilizado e que o padrão utilizado seja rastreável as unidades do SI?
3. De que maneira pode ser estabelecida a rastreabilidade para medidores de tensão alternada, tendo em vista que o volt-padrão é definido com base no Ampére, que é uma corrente contínua?
4. Mostre através de um diagrama (pirâmide) a rastreabilidade de um instrumento voltímetro que for calibrado em um laboratório acreditado na RBC (rede brasileira de calibração).
5. Qual seria a consequência de se tentar calibrar um instrumento, pertencente a uma determinada classe de exatidão com um padrão pertencente a uma outra classe cujo índice de classe fosse maior do aquele do instrumento a ser calibrado? Qual seria a recomendação padrão neste caso?