

A unidade ampere

Dia Mundial da Metrologia – 20/05/2019

Regis P. Landim

Chefe do Laboratório de Metrologia Elétrica Quântica (Lameq/Diele/Dimci)



MINISTÉRIO DA
ECONOMIA



O ampere está em todos os lugares



1.000 amperes
(p.ex.)



5 amperes (p.ex.)



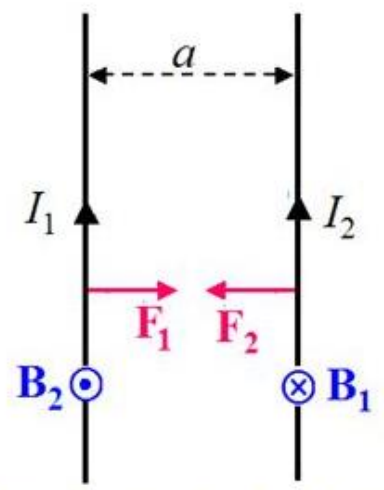
5 amperes (p.ex.)



2,5 amperes (p.ex.)

O ampere (A)

- É a unidade de base do Sistema Internacional de unidades de medidas (SI) para a corrente elétrica.
- Era (até ontem) definida pela **força** criada entre dois fios **infinitamente** longos no vácuo que estão carregando a mesma corrente.
 - impossível de realizar**
 - definição que dependia do protótipo internacional de massa, que varia 0,5 µg/ano**



$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$

$$\vec{F}_2 = I_2 \vec{L} \times \vec{B}_1$$



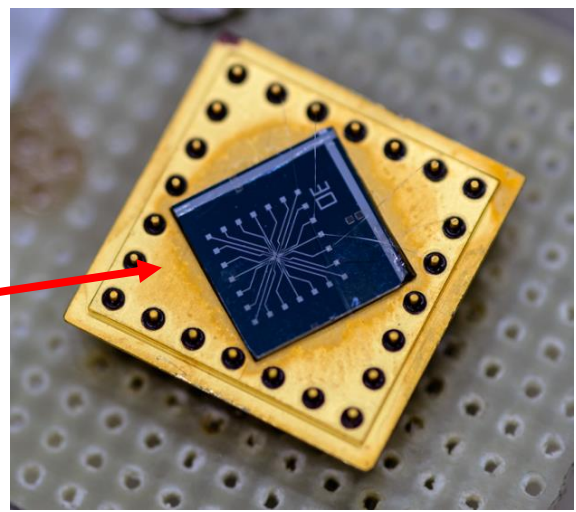
$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} L$$

O ampere (A)

- A definição atual (a partir de hoje!) usa a própria carga elétrica elementar [**e**, que é a quantidade da carga elétrica em um simples elétron (negativa) ou próton (positiva)] e a frequência de transição hiperfina do ^{133}Cs ($\Delta\nu_{\text{Cs}}$, usada na definição do segundo);
- É consistente com a ideia de usar constantes físicas exatas no novo SI (quântico) => unidades (e medições) muito mais exatas e estáveis.



E sem o chip do NIST, o que o Inmetro pode fazer para garantir a rastreabilidade à unidade da corrente elétrica (ampere) no SI, ao setor produtivo e sociedade no Brasil?



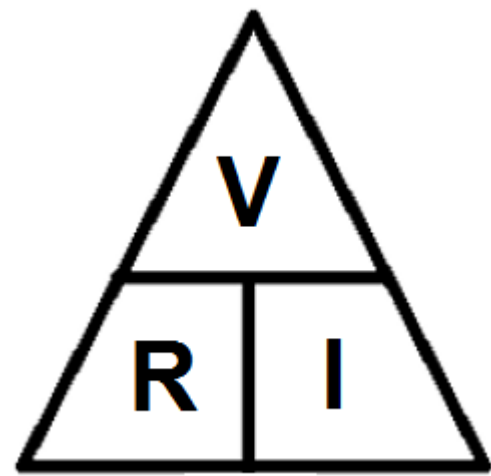
Chip que conta elétrons e pode ser usado para a **realização prática** do ampere (NIST, o Inmetro dos EUA)

A realização prática do ampere

Unidade de tensão elétrica (volt – V)

Unidade de resistência elétrica (ohm – Ω)

Unidade de corrente elétrica (ampere – A)



Lei de Ohm

$$V = R I$$

$$R = V / I$$

$$I = V / R$$

A realização prática do volt

- Padronização primária de tensão elétrica baseada no efeito Josephson

- O efeito Josephson ocorre em uma junção formada por um sanduíche SIS (supercondutor-isolante-supercondutor):
 - Temperatura de supercondutividade: 4,2 K (-268,95 °C, ebulição do hélio líquido);

$$V_J = n_i \cdot \frac{h}{2e} \cdot f = \frac{n_i \cdot f}{K_J}$$

V_J é a tensão Josephson, V
 n_i é no. de graus quânticos ativos
 f é a frequência da corrente, Hz

e é a carga elétrica, C
 h é a constante de Plank, J.s
 K_J é a constante Josephson =
 483 597,848 416 984 GHz/V

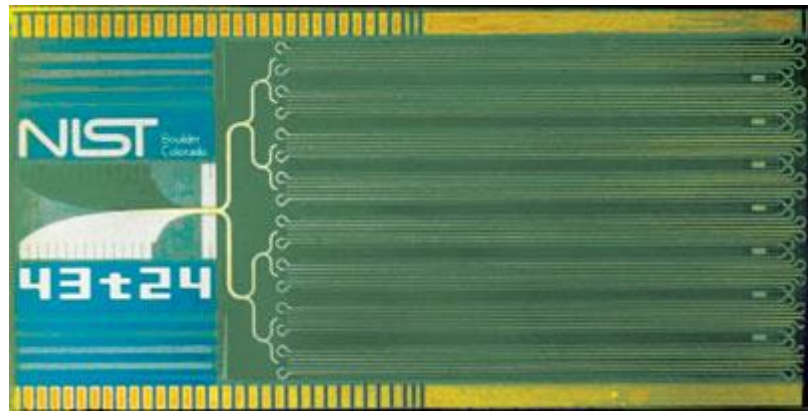
- Uma junção Josephson pode agir como um conversor frequência-tensão (quântico) de altíssima exatidão.

- Para $f = 75 \text{ GHz} \Rightarrow V_J = 155,087522 \dots \mu\text{V}$.

Obs.: Brian D. Josephson (Prêmio Nobel de física, 1973)

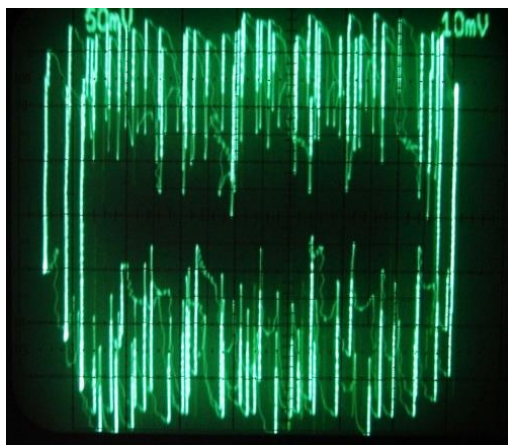


Incerteza relativa de reprodução: $\pm 1.10^{-11} \text{ V/V}$



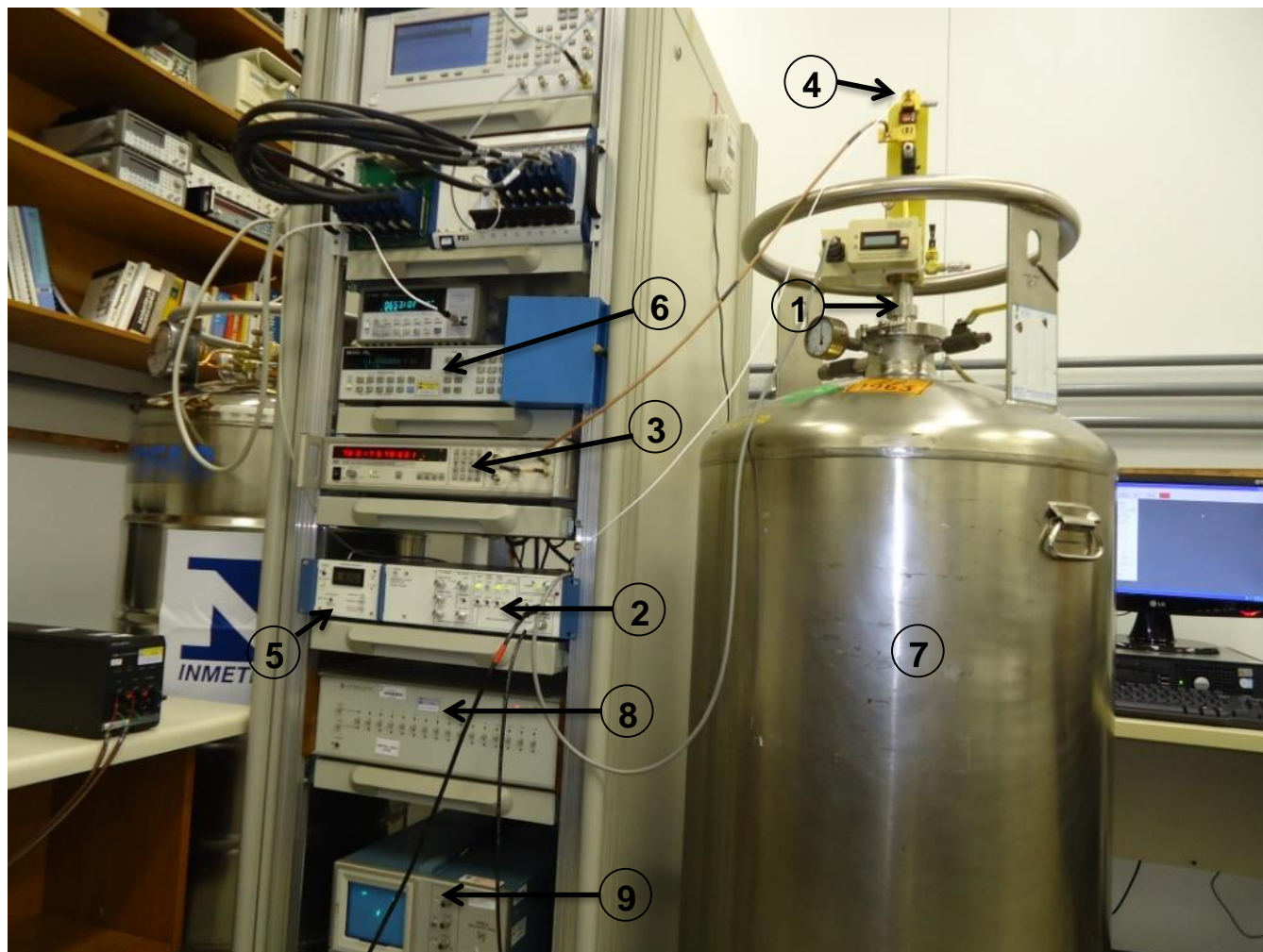
A realização prática do volt

• Sistema-Padrão de Tensão Josephson Convencional (CJVS)



Curva IV-CA Josephson Convencional

Sistema CJVS. (1) ponta de provas cryogênica; (2) controlador do sistema; (3) contador de frequência; (4) fonte de micro-ondas (diodo Gunn); (5) fonte de polarização do Gunn; (6) DVM; (7) reservatório de hélio líquido (dewar); (8) scanner; (9) osciloscópio



A realização prática do ohm

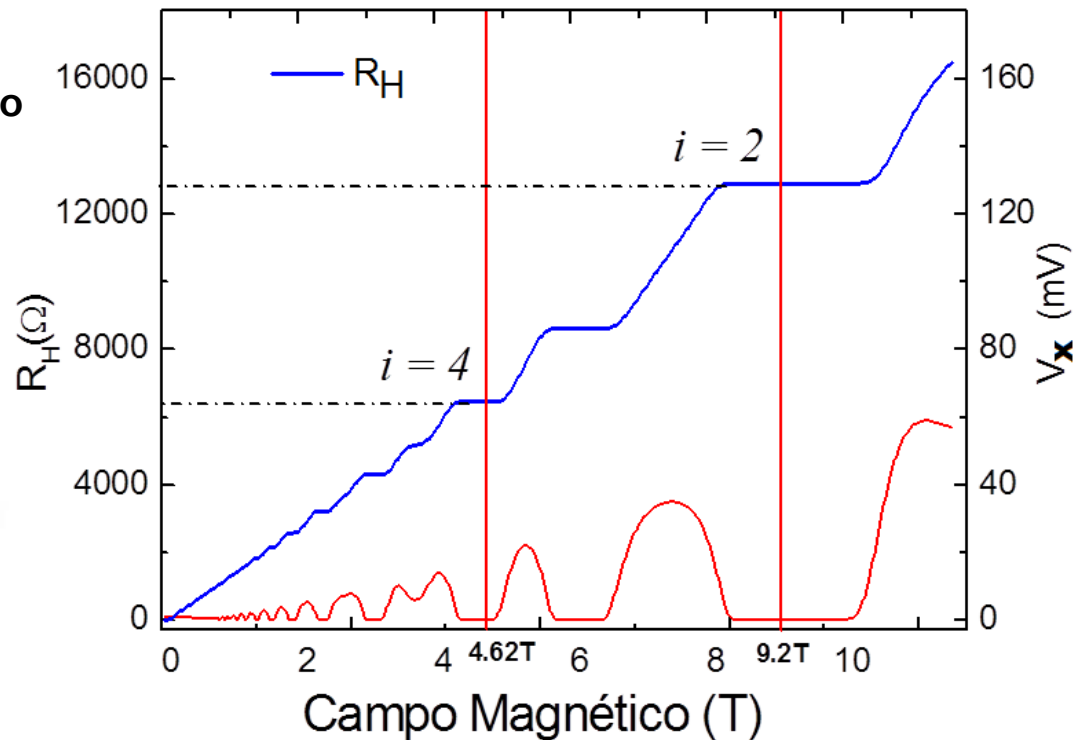
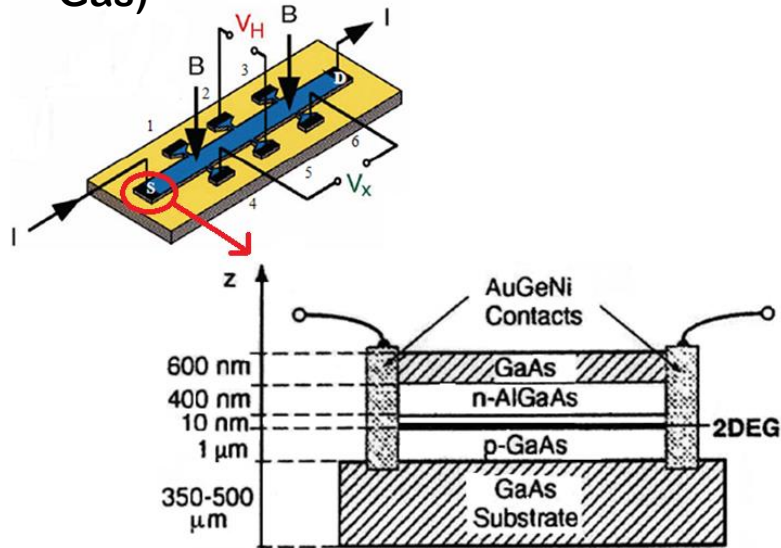
Dispositivo usado para o padrão primário de resistência elétrica

O efeito Hall quântico foi descoberto por Klaus von Klitzing em 1980:

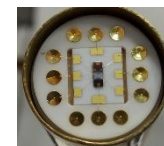
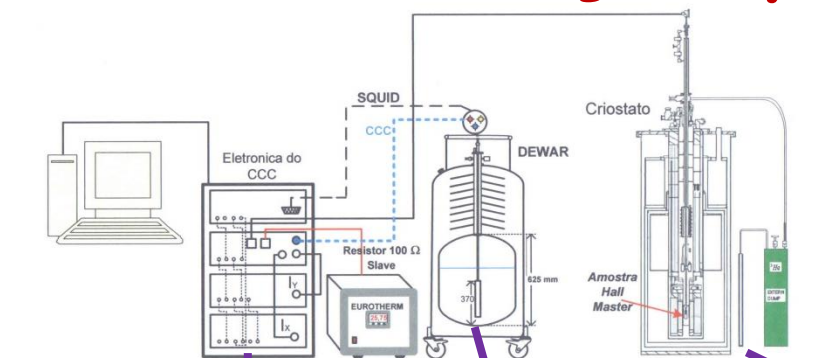
Na região dos platôs vale:

$$R_H = \frac{h}{ie^2} = \frac{25\,812,807459\,304\,5}{i} \Omega$$

- h : constante de Planck
- e : carga elétrica
- i : nº do platô (nível de Landau ocupado no 2DEG-Two-Dimensional Electron Gas)



A realização prática do ohm



Amostra Hall

Criostato Hall

CCC



Principais impactos do novo SI: imediatos

- **Na ciência/metrologia:**

- Os valores de tensão elétrica sobem um degrau de $0,1 \mu\text{V}/\text{V}$ (0,00001 %), com relação ao antigo SI;
- Os valores de resistência elétrica sobem um degrau de $0,02 \mu\Omega/\Omega$ (0,000002 %), com relação ao antigo SI.

- **No setor produtivo e sociedade:**

- Nenhum impacto.

Principais impactos do novo SI: no curto e médio prazos

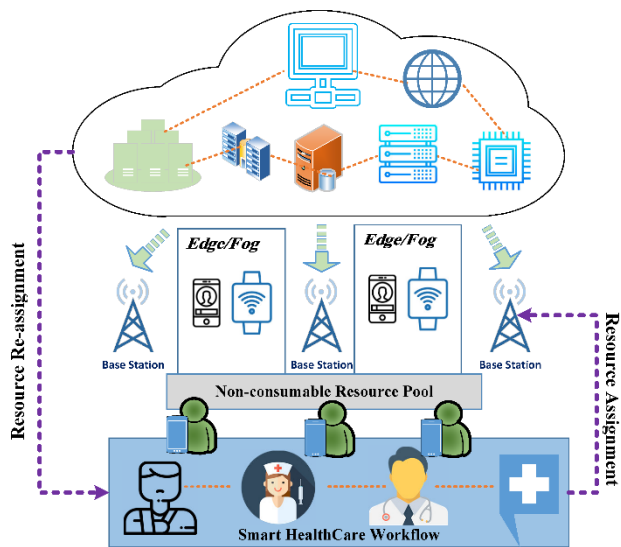
- **Na ciência/metrologia:**

- Avanço nas pesquisas científicas;
- Inovação na infraestrutura metrológica: sensores cada vez mais exatos e precisos, com inteligência agregada e capacidade de comunicação sem fio => metrologia 4.0.

Principais impactos do novo SI: no curto e médio prazos

- No setor produtivo e sociedade:

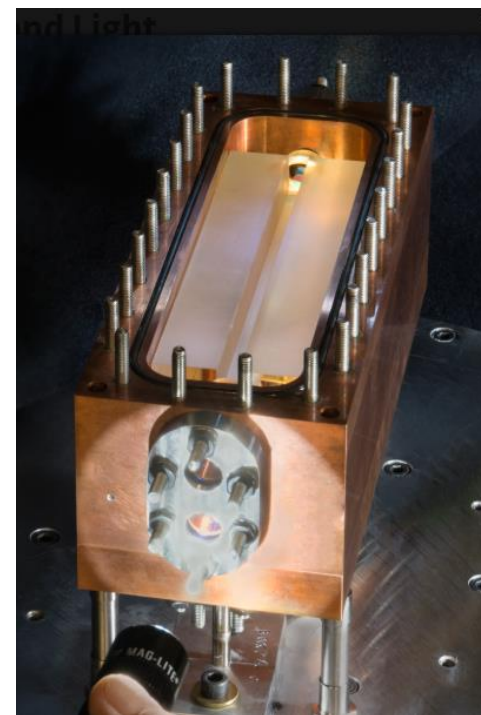
- Produtos eletrônicos cada vez mais inteligentes e disponíveis à população em geral: smartphones, smartwatches e aplicativos (áreas da saúde, segurança, indústria etc.).



Principais impactos do novo SI: no curto e médio prazos

- **No setor produtivo e sociedade:**

- Os usuários poderão fazer medições de precisão referenciadas diretamente ao SI no chão-de-fábrica, em centros de diagnóstico hospitalar, em aeronaves comerciais e militares, em laboratórios de pesquisa, em residências, automóveis e smartphones etc.;
- Aumento de produtividade e competitividade;
- Aumento da demanda por profissionais familiarizados com novas tecnologias, em todas as áreas;
- Etc.



Sensor fotônico de pressão e luz do NIST

Obrigado pela atenção!

• Referências:

- <http://mundoengenharia.com.br/brasil-registra-maior-incidencia-de-raios-nos-ultimos-seis-anos/>;
- <https://www.itaipu.gov.br/energia/unidades-geradoras>;
- <https://qz.com/1472274/industrial-robot-adoption-by-country-versus-forecasts>;
- <https://www.fanuc.eu>;
- <https://www.nist.gov/si-redefinition/ampere-introduction>;
- <https://www.bipm.org/en/measurement-units/>;
- <https://doi.org/10.3390/s18124307>;
- <https://www.nist.gov/pml/productsservices/nist-chip-portal>;
- “O novo SI e o seu impacto na metrologia elétrica no Brasil”, Cadernos de Metrologia, Inmetro, 2019.