

The background of the slide is a light gray gradient. It is decorated with numerous realistic water droplets of various sizes. Some droplets are large and prominent, while others are small and scattered. They are primarily located in the top-left and bottom-right corners, with a few smaller ones in the center and top-right areas. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

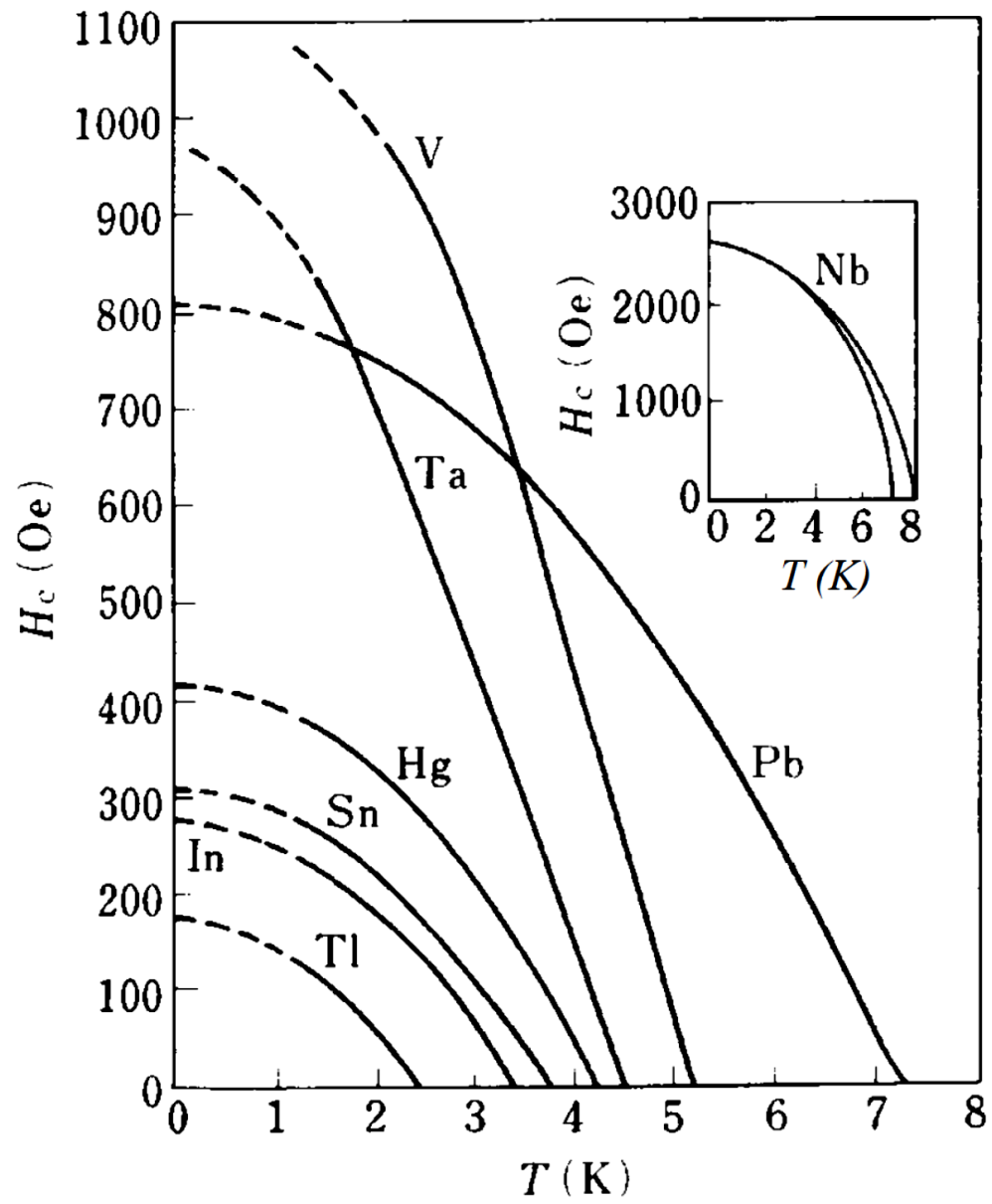
MATERIAIS SUPERCONDUTORES

APLICAÇÕES

Elemento	T_c (K)
Al	1.18
Ga	1.09
Hg	4.15
In	3.4
La	5.9
Mo	0.92
Nb	9.2
Pb	7.2
Ru	0.49
Sn	3.7
Ta	4.39
Ti	0.39
V	5.3
Zn	0.85
Zr	0.55

Elemento	H_c em Oe @ 0 K
Al	99
Ga	51
Hg	412
In	293
La	1600
Mo	98
Nb	1950
Pb	803
Ru	66
Sn	309
Ta	830
Ti	100
V	1020
Zn	53
Zr	47

MATERIAIS ELEMENTARES SUPERCONDUTORES TIPO I



$$H_c = H_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$$

Tipo II - NbTi e Nb₃Sn ~ 1960 os supercondutores mais usados

Nb-Ti

$$T_c = 9K;$$

$$B_{c2}(EM\ 4,2K) = 11T$$

Dúctil, abundante, reproduzível

Nb₃Sn

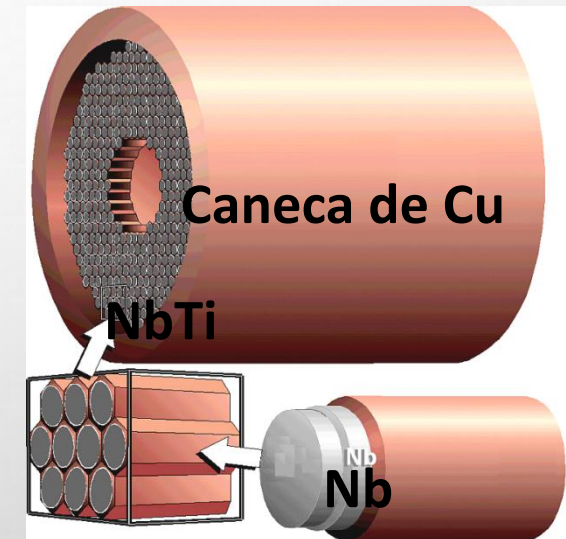
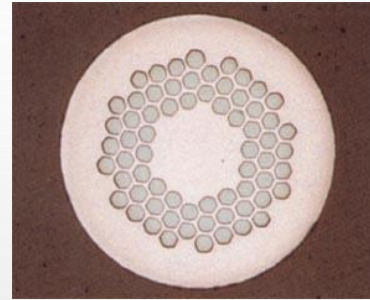
$$1\ T = 10^4\ G$$

$$T_c = 18K;$$

$$B_{c2}(EM\ 4,2K) = 23T$$

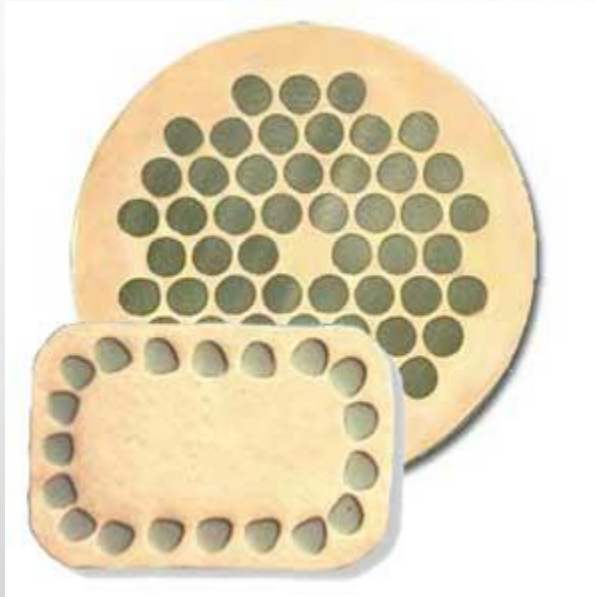
Melhores T_c e B_{c2} , porém é frágil

Fio multifilamentar de NbTi



Magneto Supercondutor
de NbTi

NbTi (OXFORD)

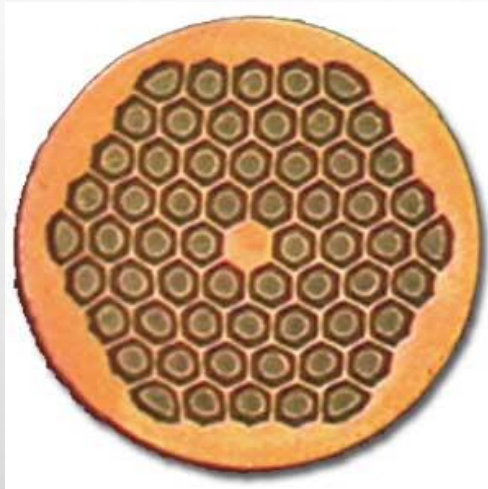


- Para aplicações em que são necessárias alta densidade de corrente alta e de controle dimensional;
- Razões Cu:SC: a partir de 1: 1 a 7: 1;
- Seções transversais retangulares e redondas.

- ☐ O fio de 54 filamentos e Cu:SC de 1.3: 1 é o carro-chefe da indústria.
- ☐ Uso: aceleradores de partículas, magnetos que necessitam carregamento rápido.
- ☐ O filamento fino de Nb-Ti fornece a combinação desejada de alta J_c e baixas perdas AC.

Nb_3Sn (OXFORD)

Fio de barreira (de difusão) distribuída



- ❖ Magneto de acelerador de dipolo até 16 T.
- ❖ Magneto persistente de campo 22,3 T (950 MHz) para NMR.

Supercondutores de alta temperatura crítica - 1986

O primeiro:

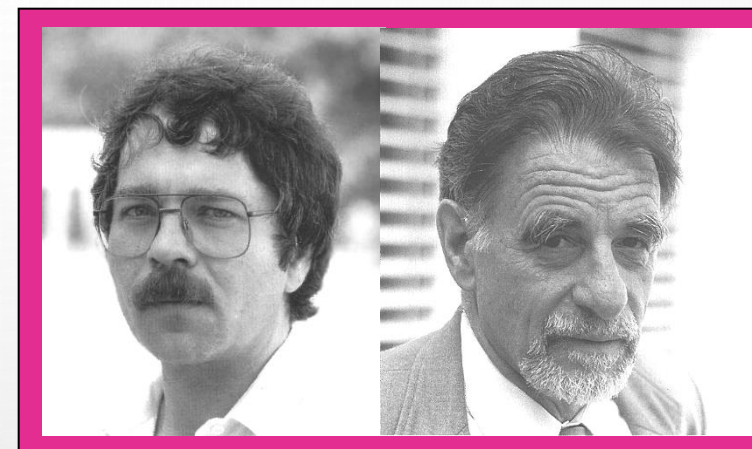
LaBaCuO → 40 K / -233 °C

O mais estudado:

YBaCuO → 92 K / -181 °C

O recorde:

HgTlBaCaCuO → 138 K / -135 °C



Bednorz e Müller

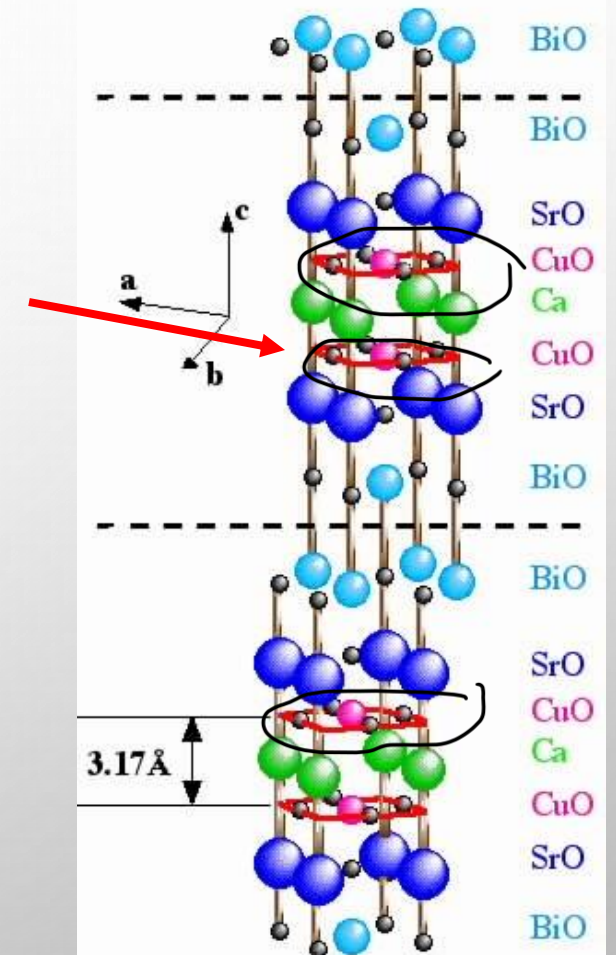
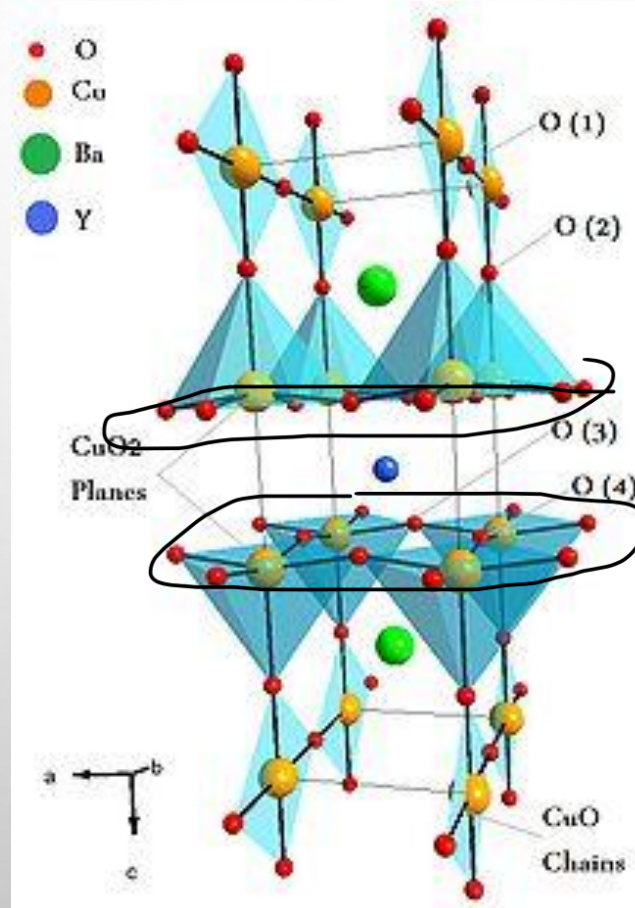
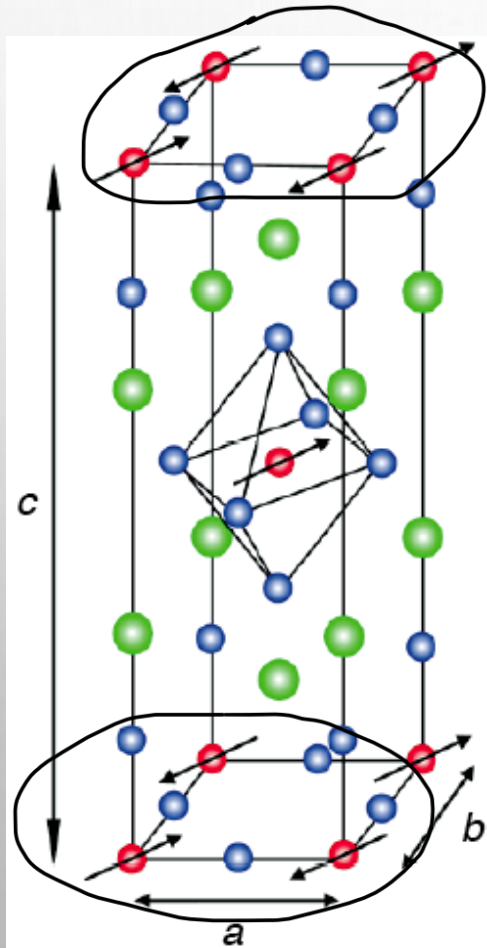
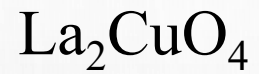
	T_c (K)
Nd _{1.85} Ce _{0.15} CuO ₄	24
La _{1.85} Sr _{0.15} CuO ₄	40
YBa ₂ Cu ₃ O ₇	92
Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	110
Tl ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀	127
Hg ₂ Ba ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₈	134

Óxidos de Cobre com metais de transição e terras raras

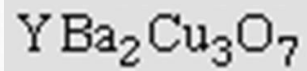
ESTRUTURAS

YBaCuO

Bi2212



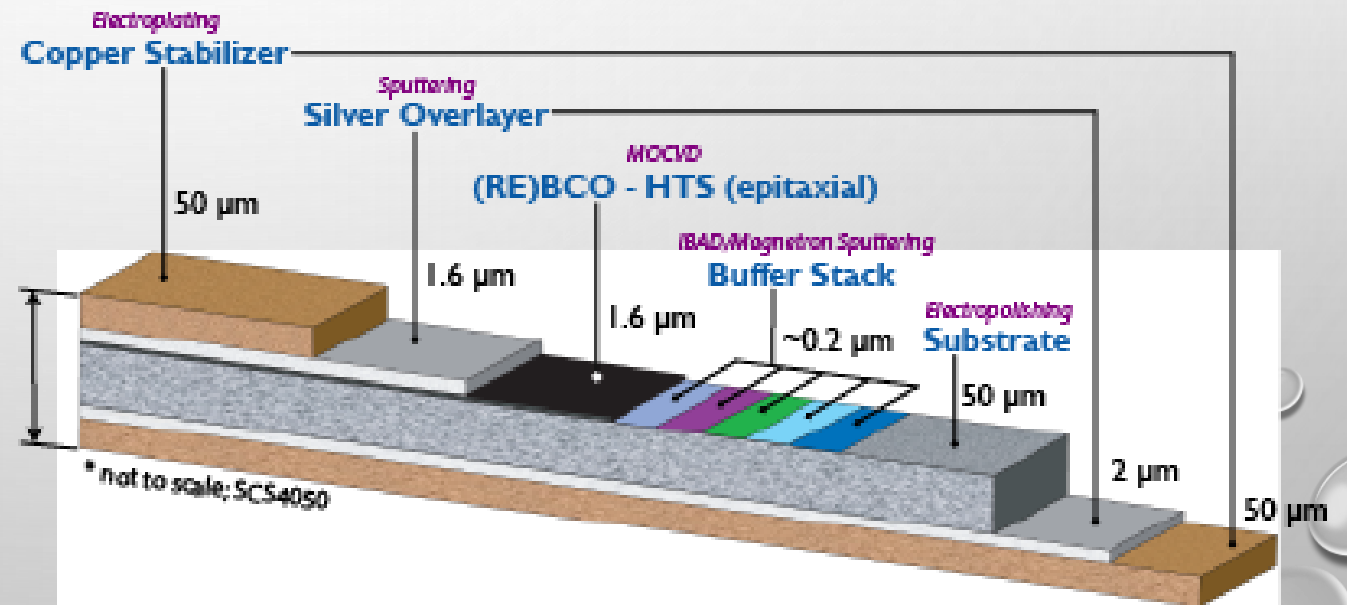
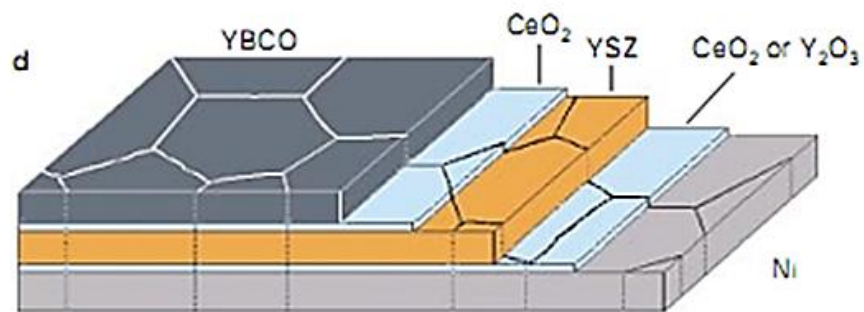
YBACUO

 $T_c(\text{K})$

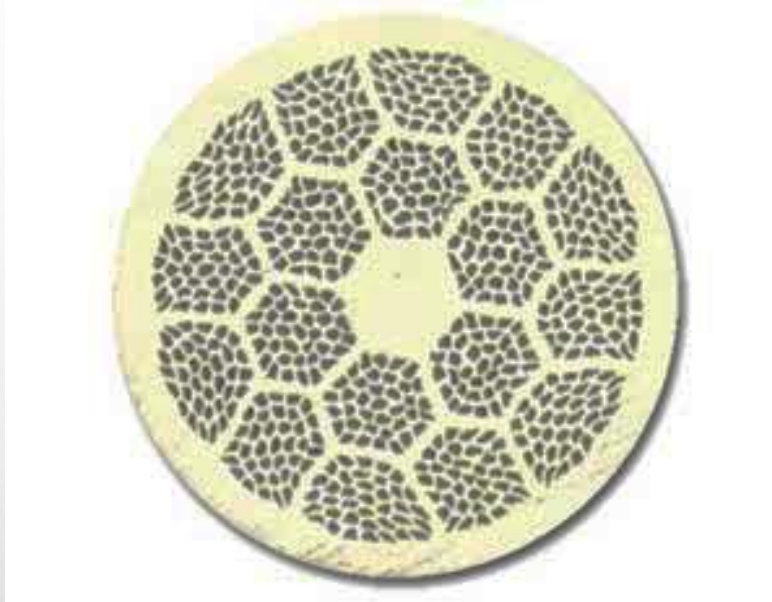
92

SuperPower[®]
Inc.
A Furukawa Company

HTS - Fitas



BSCCO – 2212; $T_c = 85\text{K}$

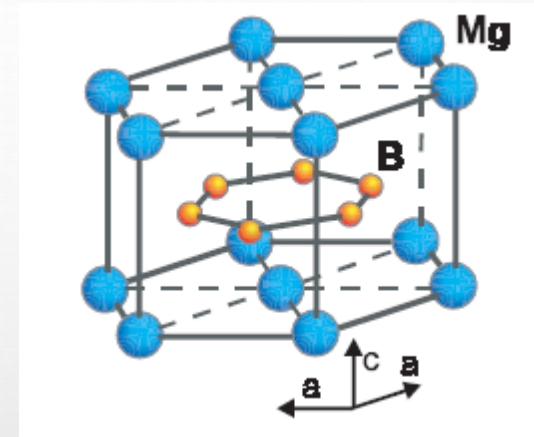
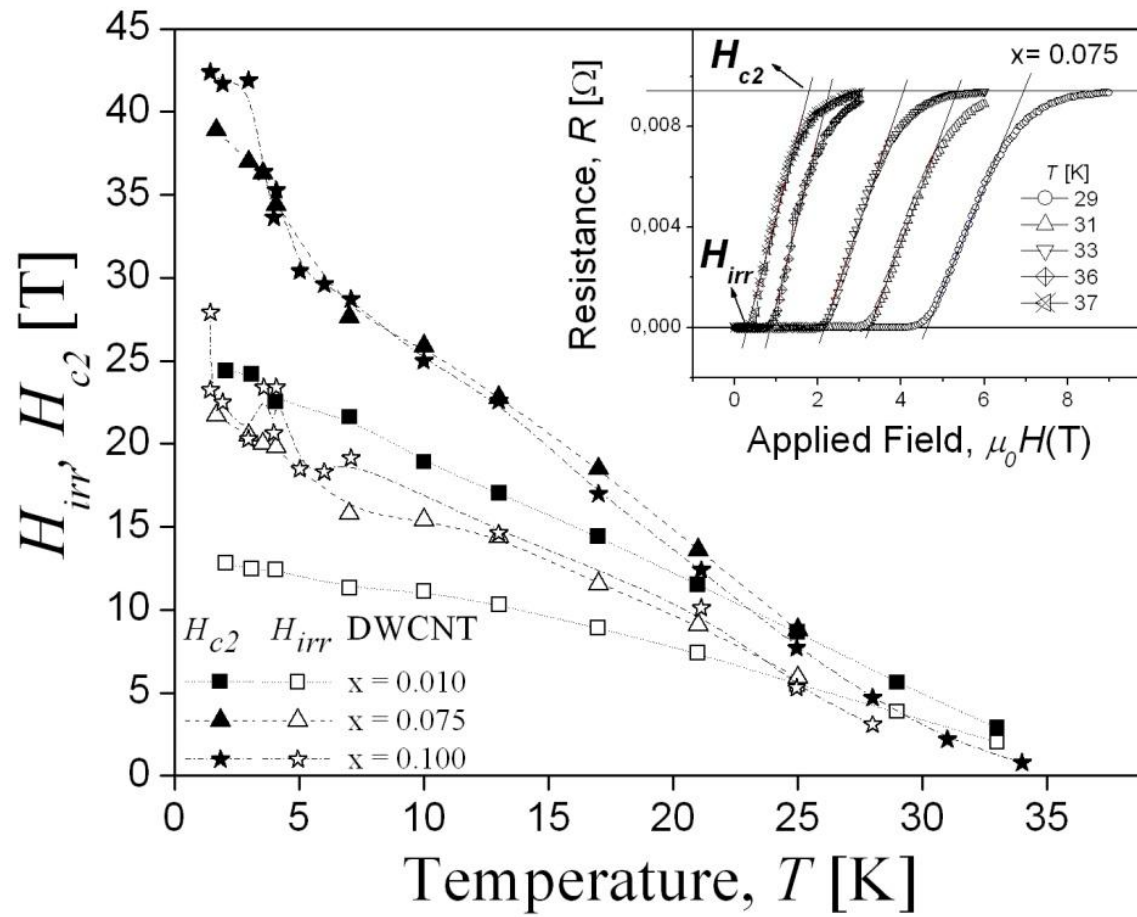


BSCCO - 2223

	$T_c(\text{K})$
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	110

- Estes condutores são feitos tanto por powder-in-tube e métodos de revestimento por imersão
- São cabos de alta corrente, ambos adequados para aplicações em ultra altos campos magnéticos.

MgB₂ - 2001



$T_c = 39 \text{ K}$

Nagamatsu J, et al., *Nature* 410 63

$B_{c2}^{fio} \approx 16 \text{ T}$

Nanotechnology and Nanomaterials » "Electronic Properties of Carbon Nanotubes", book edited by Jose Mauricio Marulanda, ISBN 978-953-307-499-3, Published: July 27, 2011 under [CC BY-NC-SA 3.0 license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/)

OXI-PINICTÍDEOS – 2008

SUPERCONDUTORES DE ALTO CAMPO

$$B_{c2} \approx 35 \text{ T}$$

$$T_c = 26 \text{ K}$$

$\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$ com $(x=0.05-0.12)$

Kamihara, Y., et al., J. Am. Chem. Soc. 130 (2008).

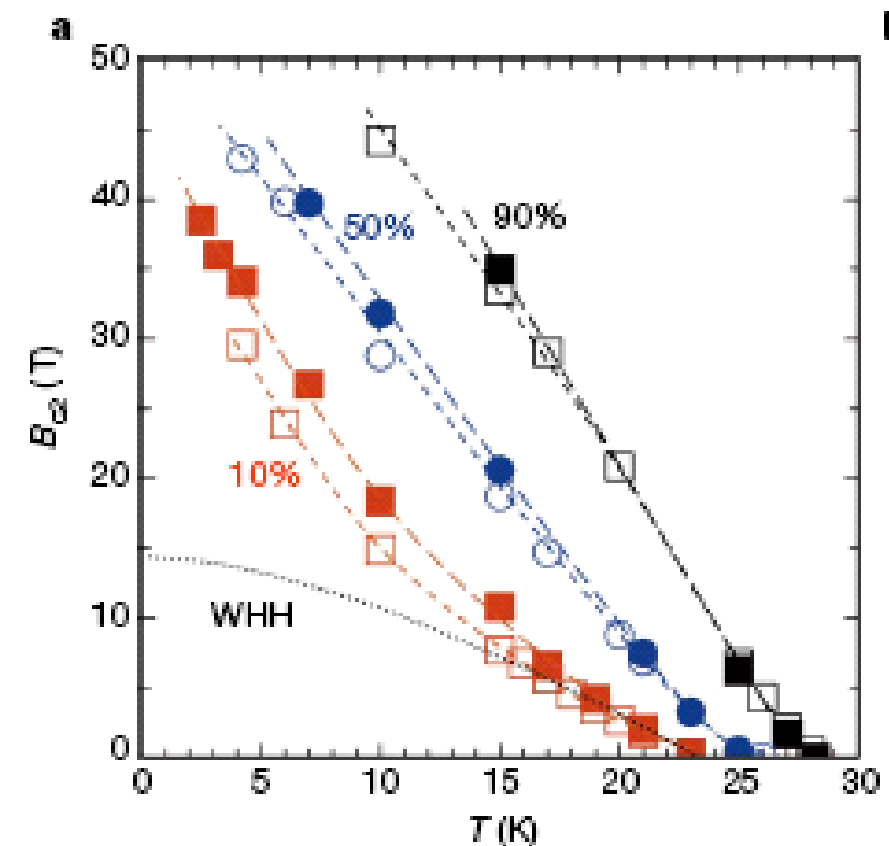
$\text{LaFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$ - $T_c \approx 26\text{K}$

$\text{CeFeAsO}_{0.84}\text{F}_{0.16}$ - $T_c \approx 41\text{K}$

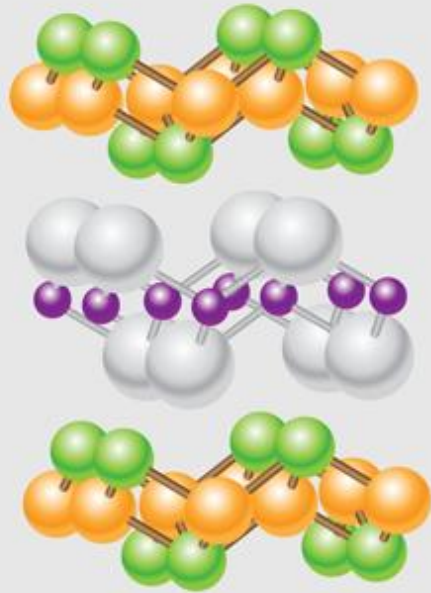
$\text{SmFeAsO}_{0.9}\text{F}_{0.1}$ - $T_c \approx 43\text{K}$

$\text{NdFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$ e $\text{PrFeAsO}_{0.89}\text{F}_{0.11}$: $T_c \approx 52\text{K}$

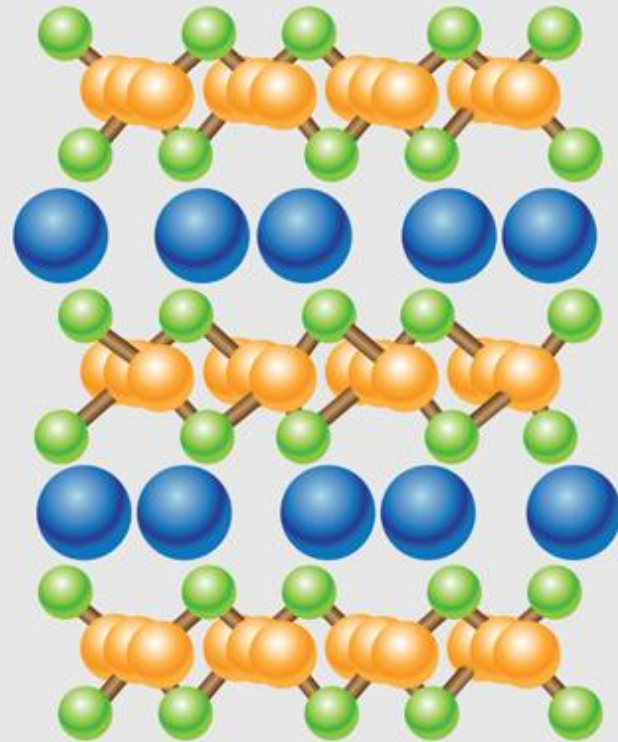
pnictogen = nitrogen family $\Rightarrow$ N, P, **As**, Sb, Bi



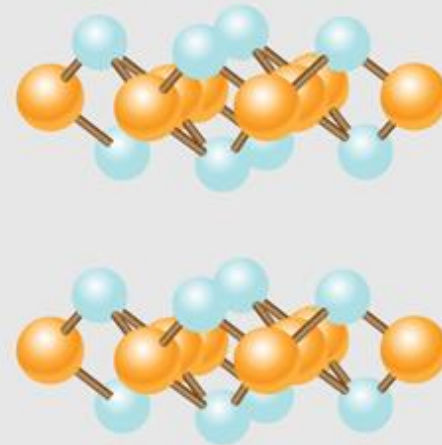
ESTRUTURAS CRISTALINAS



LaOFeAs

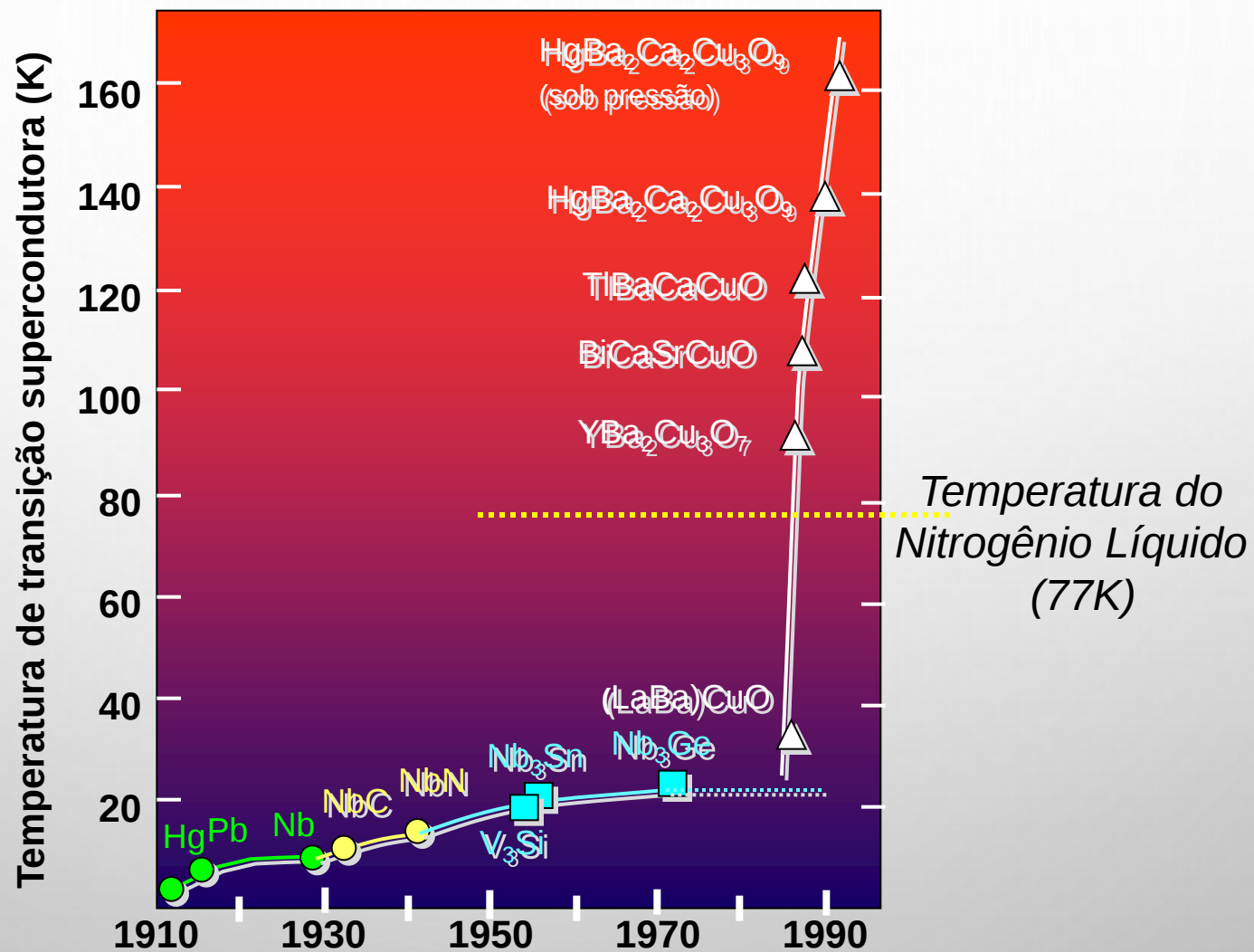


BaFe₂As₂



FeSe

EVOLUÇÃO DE T_c



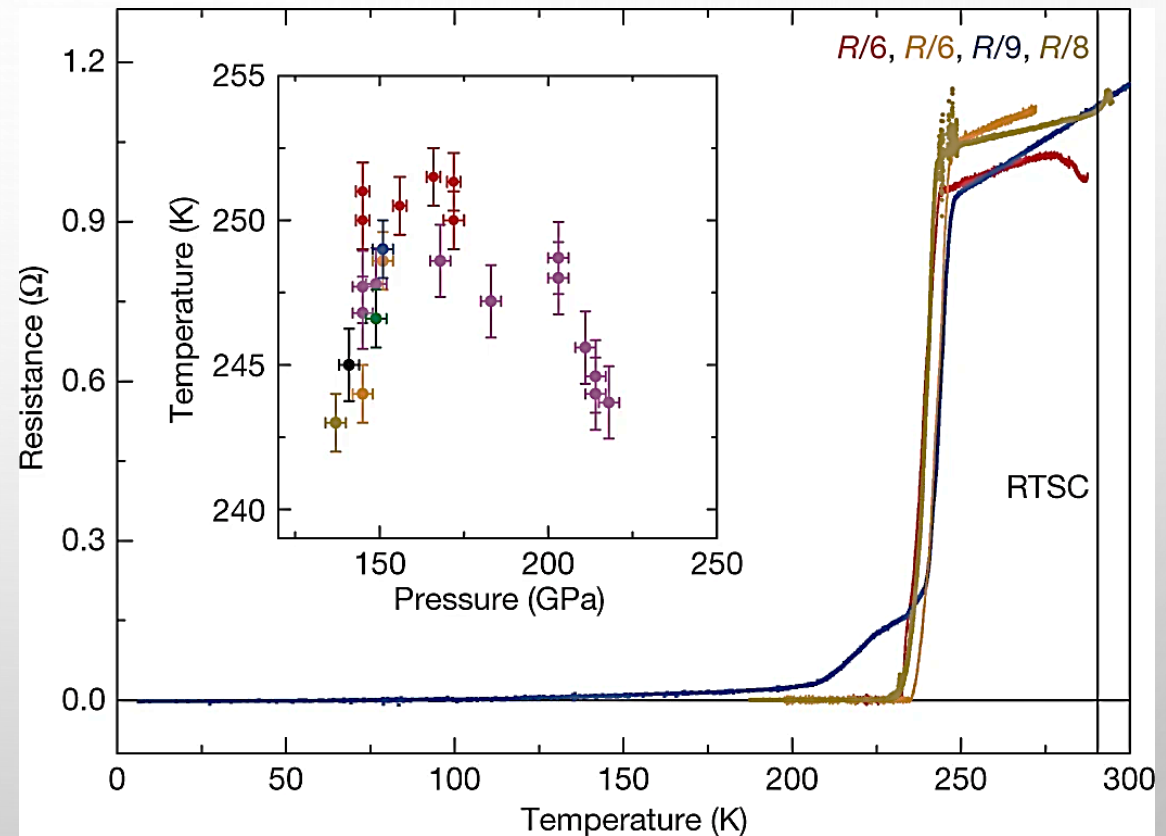
MAIS RECENTE E ALTA T_c

LaH₁₀ (2019)

O material com o T_c mais alto
aceito:

$T_c = 250$ K (-23 ° C);

Estrutura altamente
pressurizada **$P \approx 170$ GPa.**



- [A. P. Drozdov et al., Superconductivity At 250 K In Lanthanum Hydride Under High Pressures, NATURE 569, 528–531 \(2019\). \[HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41586-019-1201-8\]\(https://doi.org/10.1038/S41586-019-1201-8\).](https://doi.org/10.1038/S41586-019-1201-8)



APLICAÇÕES USANDO SUPERCONDUTORES

Slides de Randolph Miller

Google: superconductors final 23May2011



LEVITAÇÃO



(Saito 3)

- Um ímã pode levitar, acima, abaixo, ou para o lado de um supercondutor

MAGLEVS



http://www.n-sharyo.co.jp/business/tetsudo_e/pages/maglev.htm

Vídeo no drive

<https://www.youtube.com/watch?v=sFz0c8xd2fA>

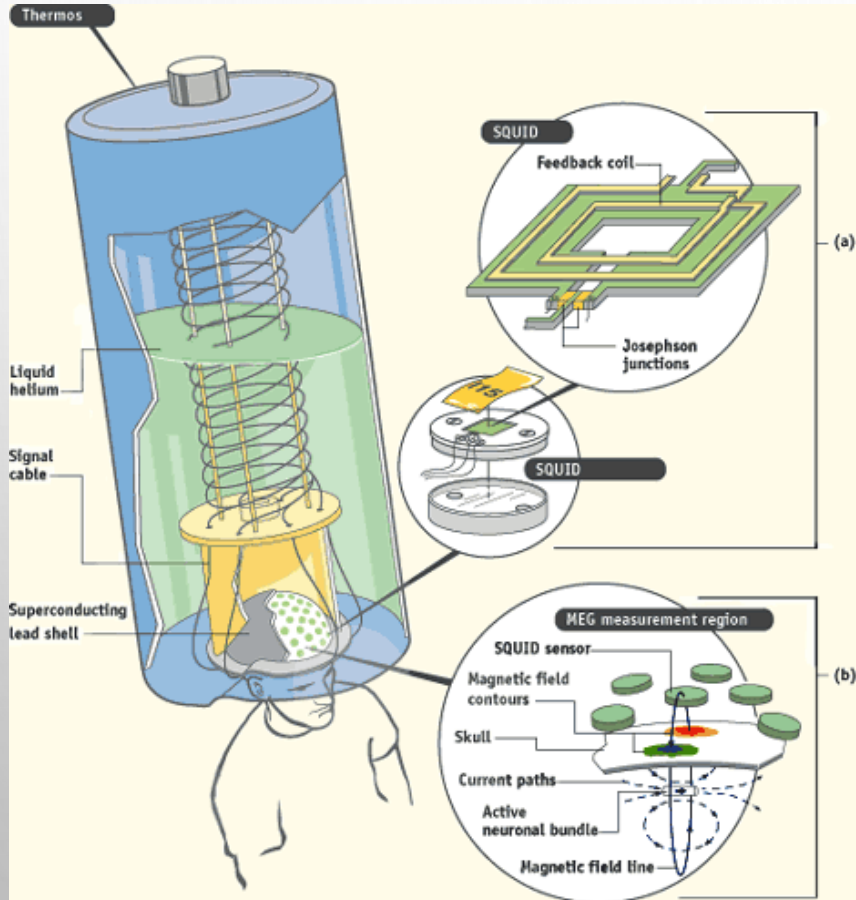
TGV: 320 km/h
(max 574.8 km/h)

- Maglevs são trens levitados magneticamente.
- Na figura é mostrado um Maglev MLX01, um trem de teste capaz de atingir a velocidade de 603 km/h.

Eletroímãs nos trilhos; magnetos dentro dos trens

MEG - MAGNETOENCEFALOGRAFIA

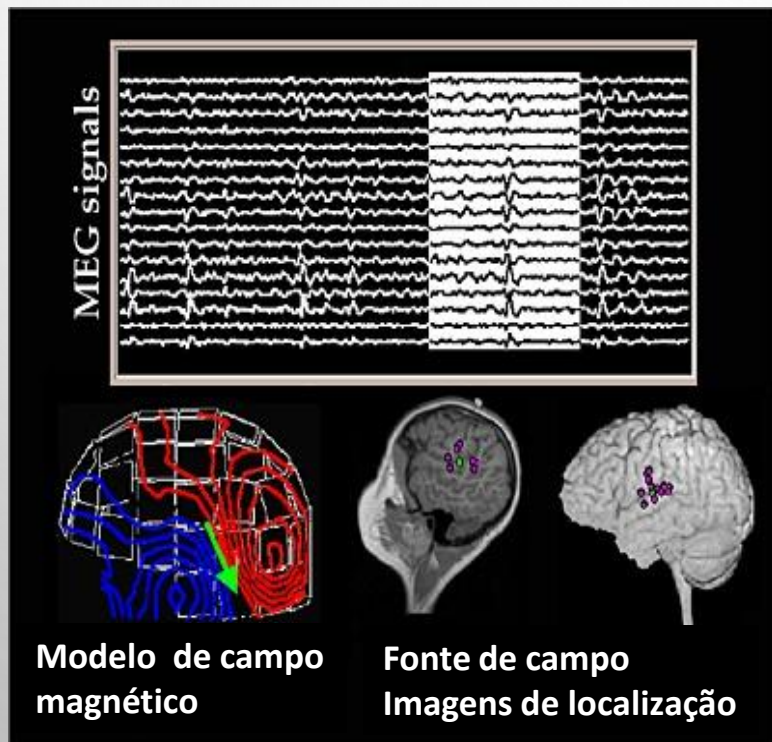
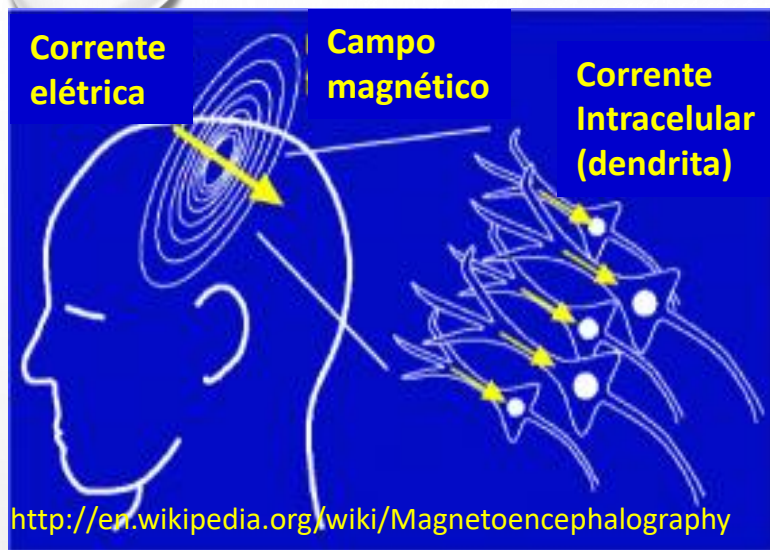
Muitos SQUIDS (122 no exemplo mostrado)
são utilizados para medir a atividade cerebral



http://www.lanl.gov/quarterly/q_spring03/meg_helmet_measurements.shtml



<http://www.hbci.com/~wenonah/hudson/index.html>



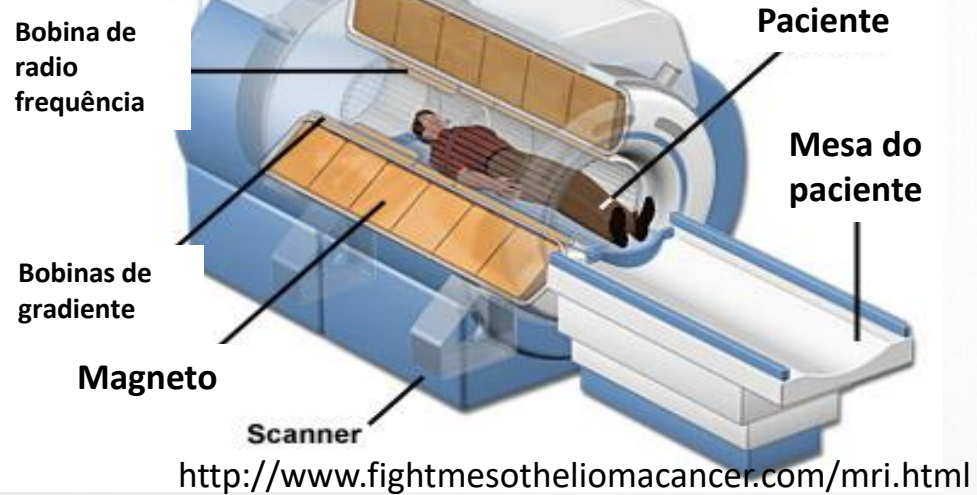
MEG

São necessários 50.000 neurônios disparando para se ter um sinal detectável.



<http://www.unitn.it/en/cimec/10906/magnetoencephalography-lab>

Corte do MRI (IRM)



Campo fechado

MRI - MAGNETIC RESONANCE IMAGING

<http://www.conectus.org/technology.html>



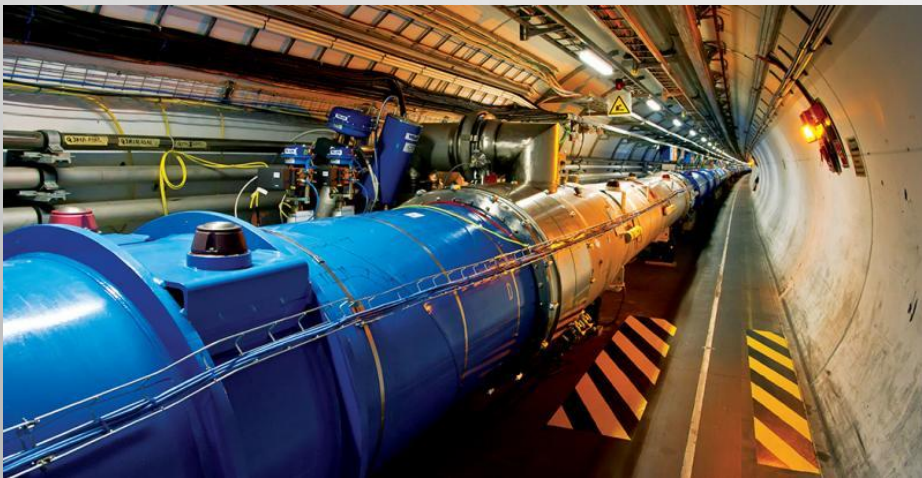
MRI é o maior mercado para supercondutores

Campo aberto

ACELERADOR DE PARTÍCULAS



<http://home.web.cern.ch/topics/large-hadron-collider>



LHC - tubo de 27 km de circunferência
Magnetos supercondutores distribuídos de
diversas maneiras, com o objetivo de
acelerar partículas carregadas a velocidades
relativísticas.

1200 toneladas de cabos supercondutores de
NbTi que trabalham a 1,9 K para criar
campos de até 8,3 T.

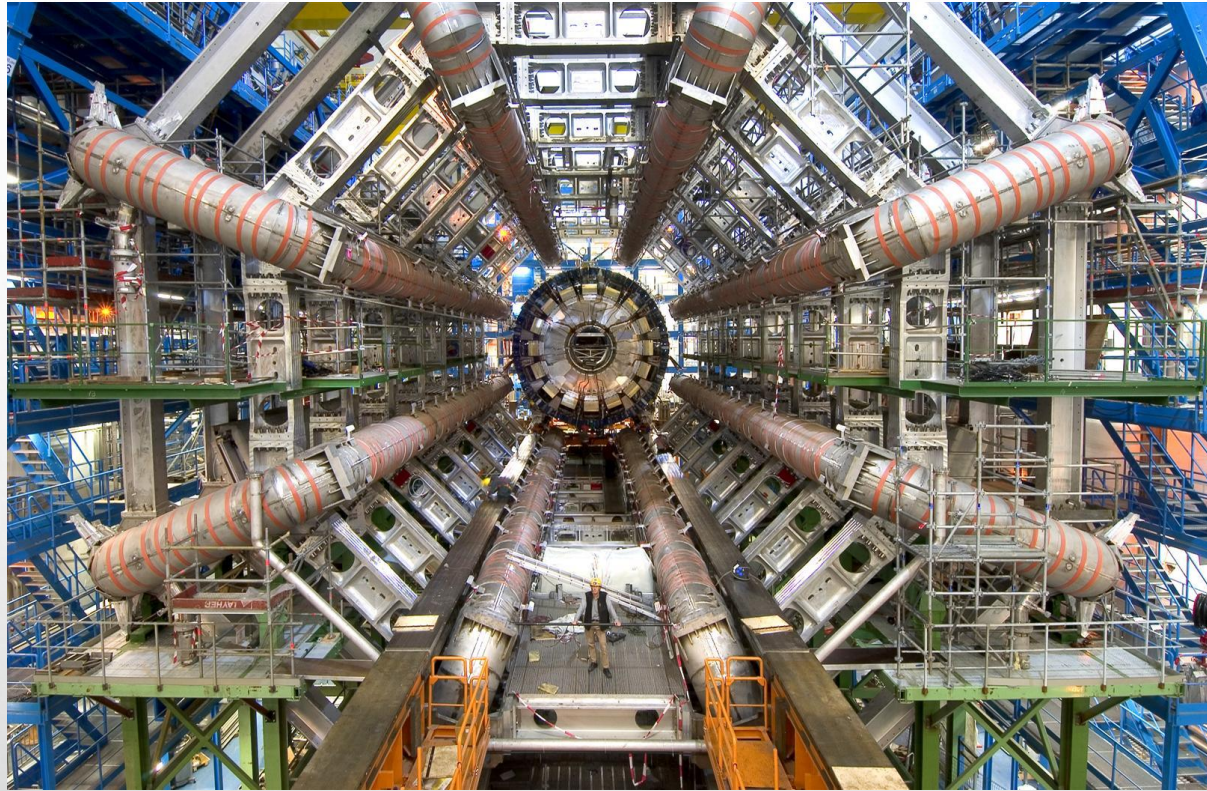
LHC

Magnetos são usados também para direcionar os feixes ao redor do acelerador.

- **1.232 magnetos bipolares de 15 metros de comprimento que dobram o feixe;**
- **392 magnetos quadrupolares de 5-7 metros de comprimento cada um, que se encarregam de concentrar (colimar) o feixe.**

Pouco antes da colisão, um outro tipo de ímã é usado para "espremer" as partículas mais juntas e assim aumentar as chances de colisões.

DETECTOR ATLAS

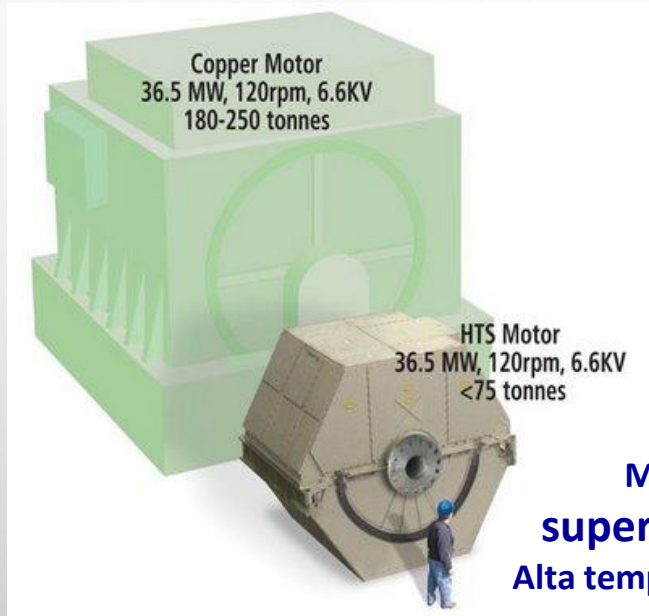


<http://cdsweb.cern.ch/record/910381>

- Detector ATLAS no LHC tem 8 magnetos supercondutores, cada um com 100 toneladas de supercondutor.
- Medidas de energia e momento de partículas carregadas.
- Armazenagem de 1,6 GJ.

MOTORES

Motor de cobre



Motor de
superconductor
Alta temperatura crítica

<http://www.amsc.com/products/motorsgenerators/shipPropulsion.html>

Motores elétricos com supercondutores são mais eficientes, mais leves, menores e mais silenciosos.



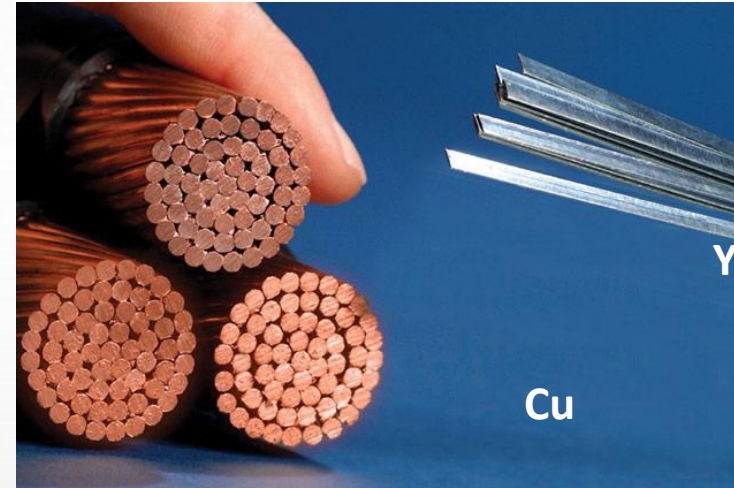
<http://www.superconductorweek.com/free-content-photo-gallery>

- Ele poderia ser usado para a propulsão de navios da Marinha.
- Faria navios da Marinha mais eficiente em consumo de combustível e liberaria espaço valioso.

TRANSMISSÃO DE ENERGIA



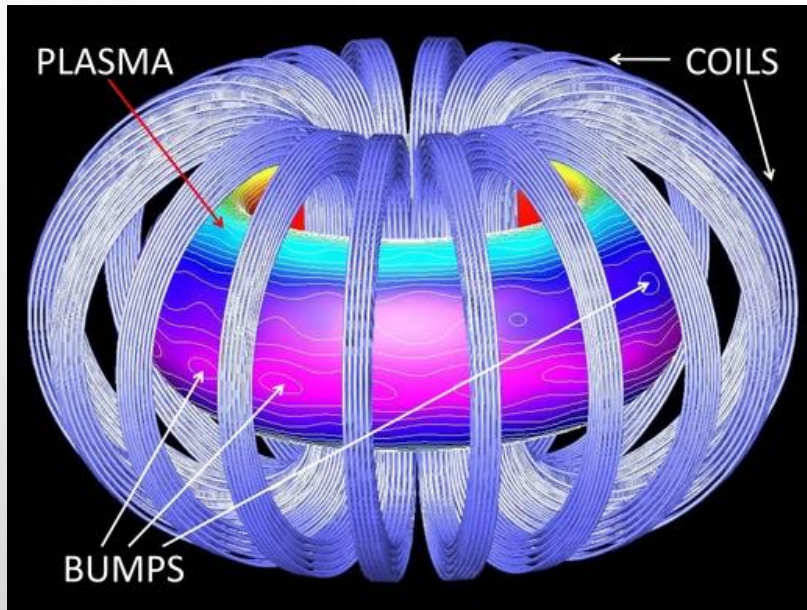
<http://www.amsc.com/products/htswire/LIPAHTSCableProjectBrief.html>



<http://www.superconductorweek.com/free-content-photo-gallery>

- Os cabos supercondutores transportam 150 vezes mais eletricidade do que cabos de cobre de mesmo tamanho.
- Eles podem transportar até 574 MW.
- Este é Holbrook, Long Island.
- Está em funcionamento desde 22 de abril de 2008.

CONFINAMENTO DE PLASMA



http://blogs.knoxnews.com/munger/2010/01/fields_for_fusion.html



<http://homepages.spa.umn.edu/~llrw/a1001/tokamak.html>

- Plasma quente tem que ser contido por um campo magnético.
- É mostrado um reator de fusão do tipo Tokamak.

YBACUO – CABO DE TRANSMISSÃO



- Aumento do desempenho dos cabos HTS ~ 2 a 8 X os de Cu, sem aquecimento.
- 7 a 10% da eletricidade gerada nos EUA é perdida por causa da resistência inerente aos cabos de cobre convencionais.
- A capacidade aumentada → áreas urbanas congestionadas e para locais onde há limites de passagem limitados.

YBACUO - TRANSFORMADORES



- **Maior eficiência - com transformadores HTS é reduzida a energia perdida na transmissão de energia em longas distâncias .**
- **Menores, mais leves e mais silenciosos. Subestações existentes aumentam a capacidade de distribuição sem expandir-se em área.**
- **Os transformadores HTS em BT não têm processos de envelhecimento térmico**
- **Riscos ambientais menores (incêndio)**

YBACUO – LIMITADOR DE CORRENTE



Possui uma resposta muito rápida, ou seja, tempos de recuperação menores.

**Transparente durante o funcionamento normal -
Essencialmente, nenhuma perda ou queda de tensão
através do dispositivo durante o funcionamento normal.**

**Passivo - Insere impedância somente durante as
condições de falha.**

Competitivo para soluções convencionais existentes.

Sustentável ambientalmente