

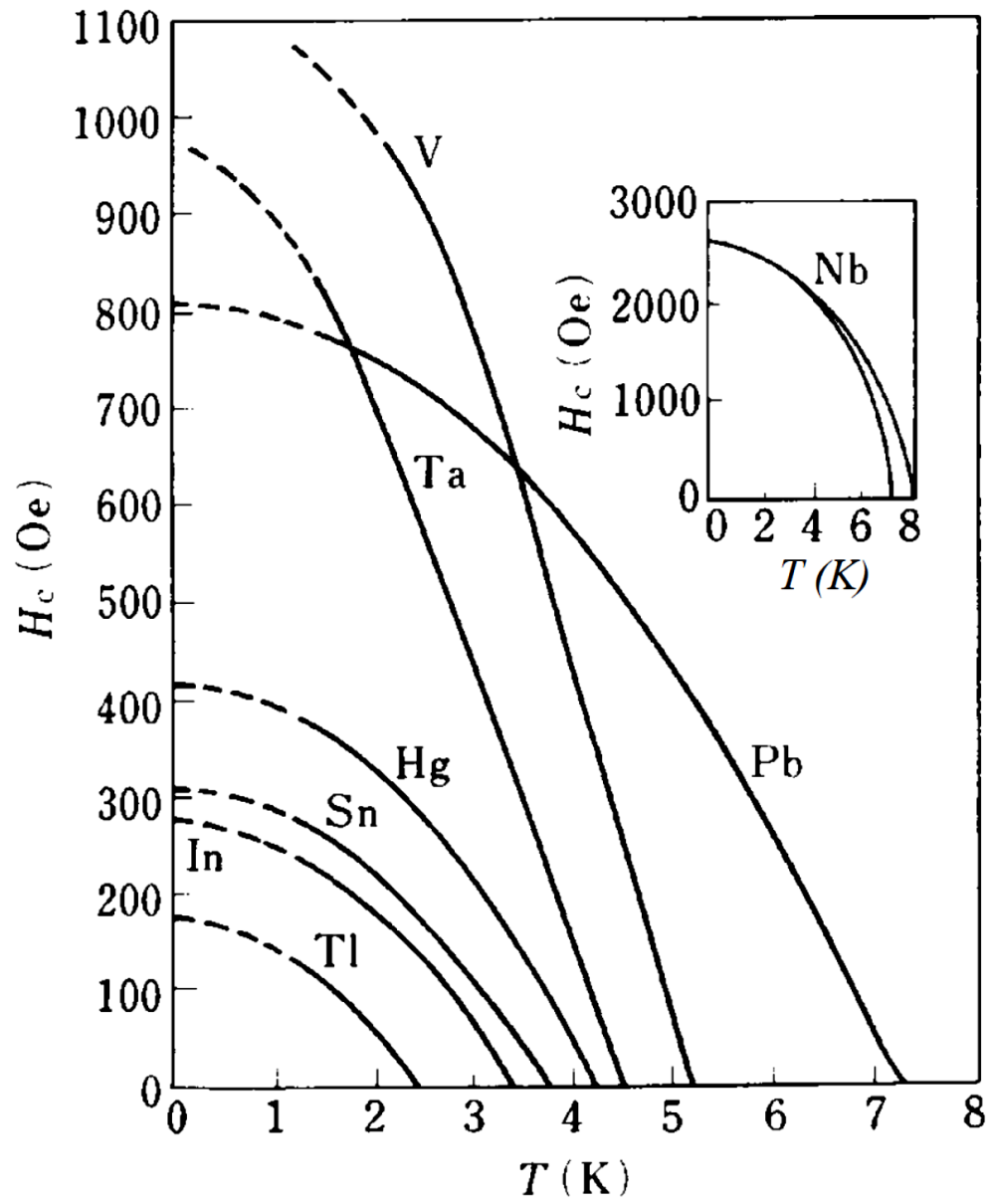
The background of the slide is a light gray gradient with several realistic water droplets of various sizes scattered across it. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

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**



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

NbTi e Nb₃Sn ~ 1960 os supercondutores mais usados

Nb-Ti

$$T_c = 9\text{K};$$

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

Dúctil, abundante, reprodutível

Nb₃Sn

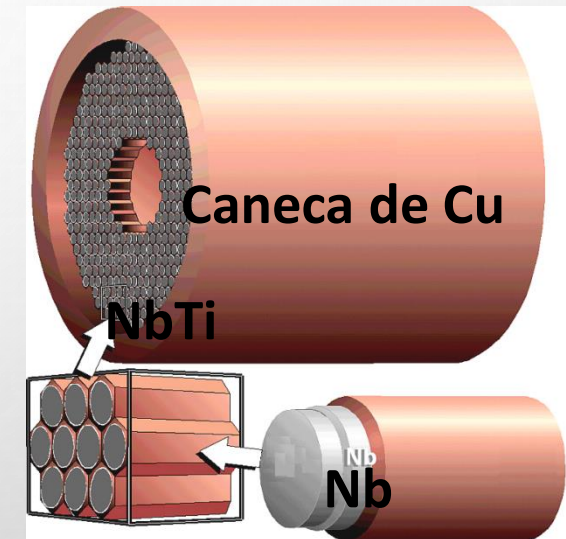
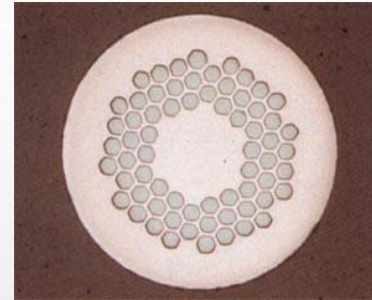
$$1\text{ T} = 10^4\text{ G}$$

$$T_c = 18\text{K};$$

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

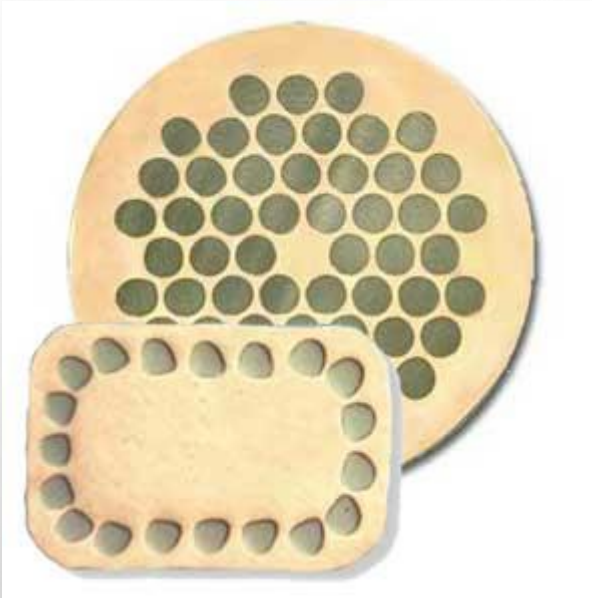
Melhores T_c e B_{c2} , porém é frágil

Fio multifilamentar de NbTi



Magneto Supercondutor
de NbTi

NbTi (OXFORD)

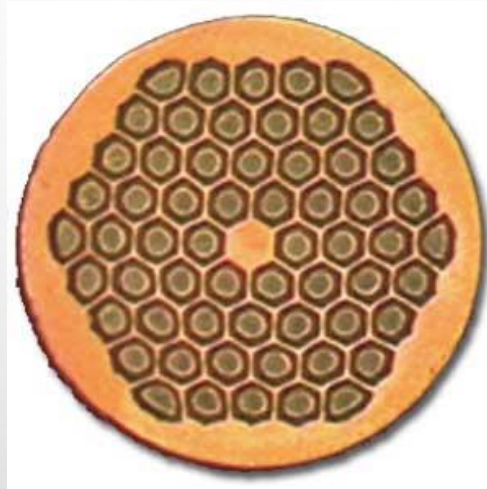


- Para aplicações em que são necessárias alta densidade de corrente alta e de controle dimensional;
- Razões Cu:SC: a partir de 1: 1 a 7: 1;
- Seções transversais retangulares e redondas.

- 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:

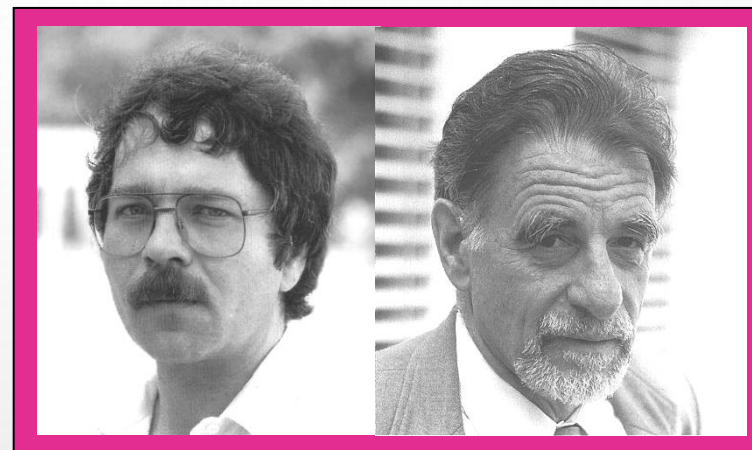
LaBaCuO → 40 K / -233 °C

O mais estudado:

YBaCuO → 92 K / -181 °C

O recorde:

HgTlBaCaCuO → 138 K / -135 °C



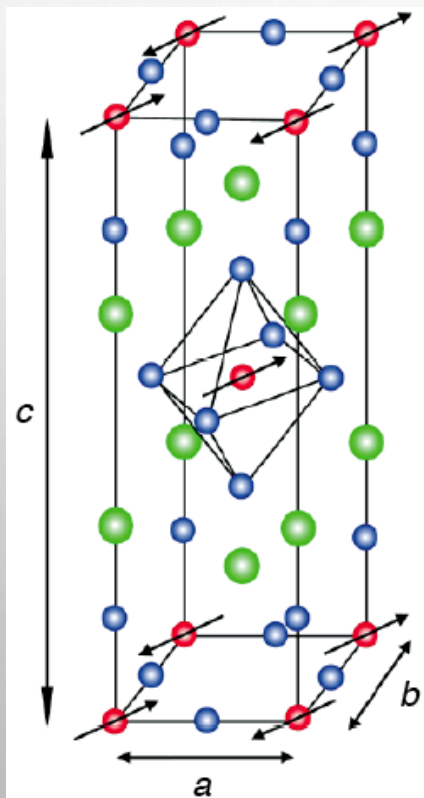
Bednorz e Müller

	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

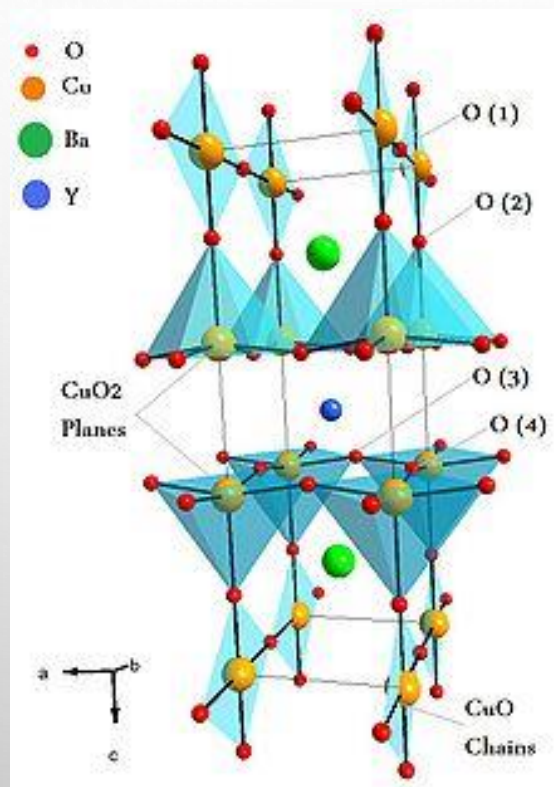
ESTRUTURAS

La_2CuO_4



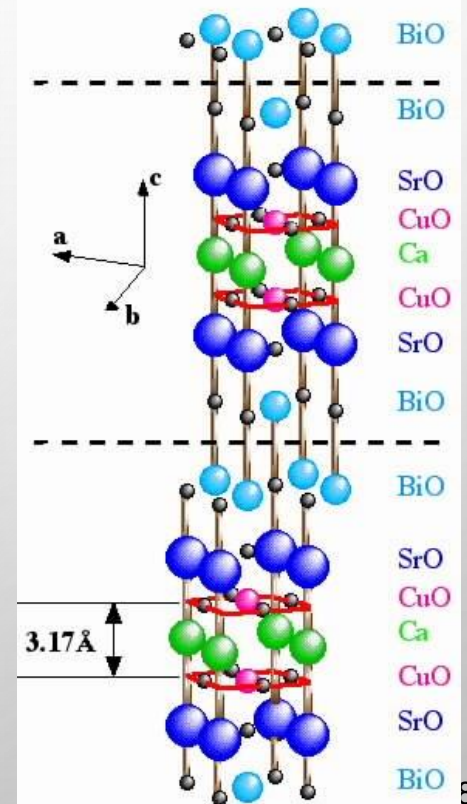
- Cu^{2+}
- O^{2-}
- La^{3+}

YBaCuO

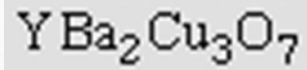


- O
- Cu
- Ba
- Y

Bi2212



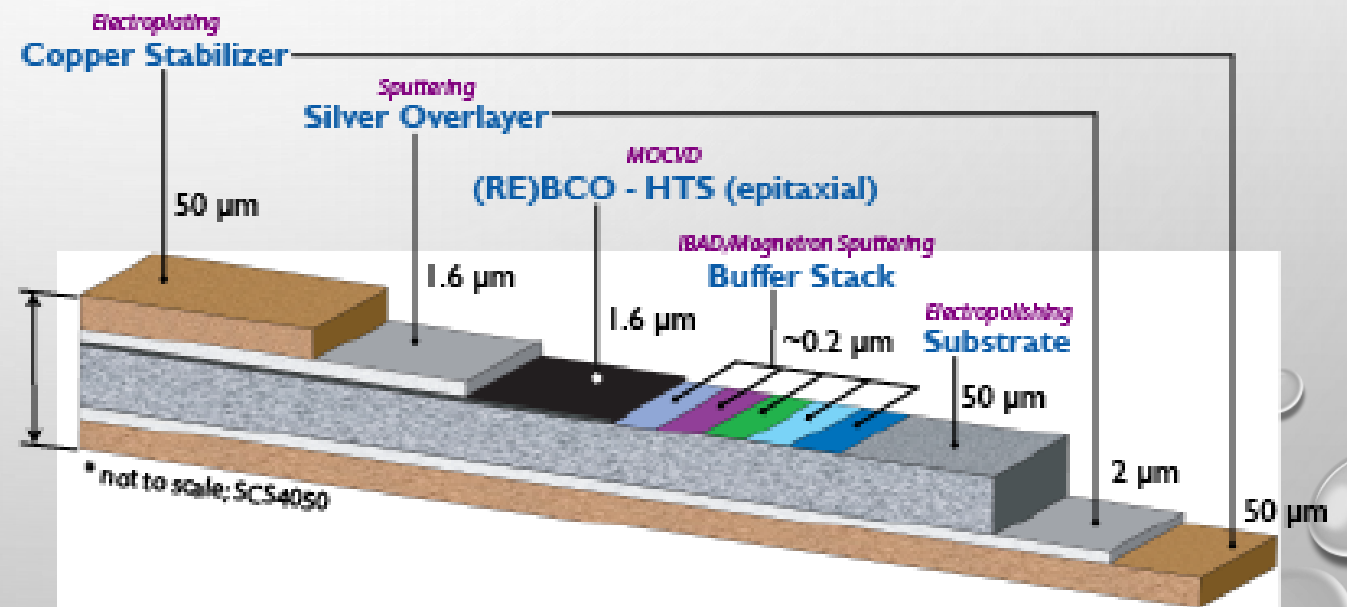
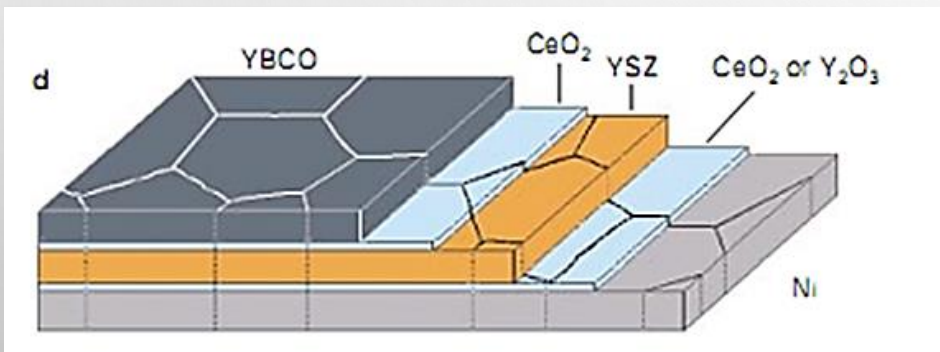
YBACUO



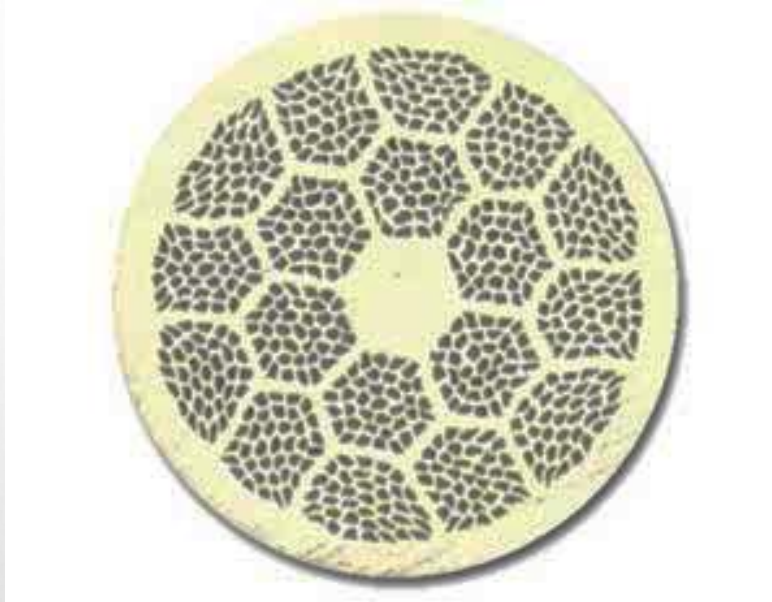
T_c (K)
92



HTS - Fitas



BSCCO – 2212; $T_c = 85\text{K}$

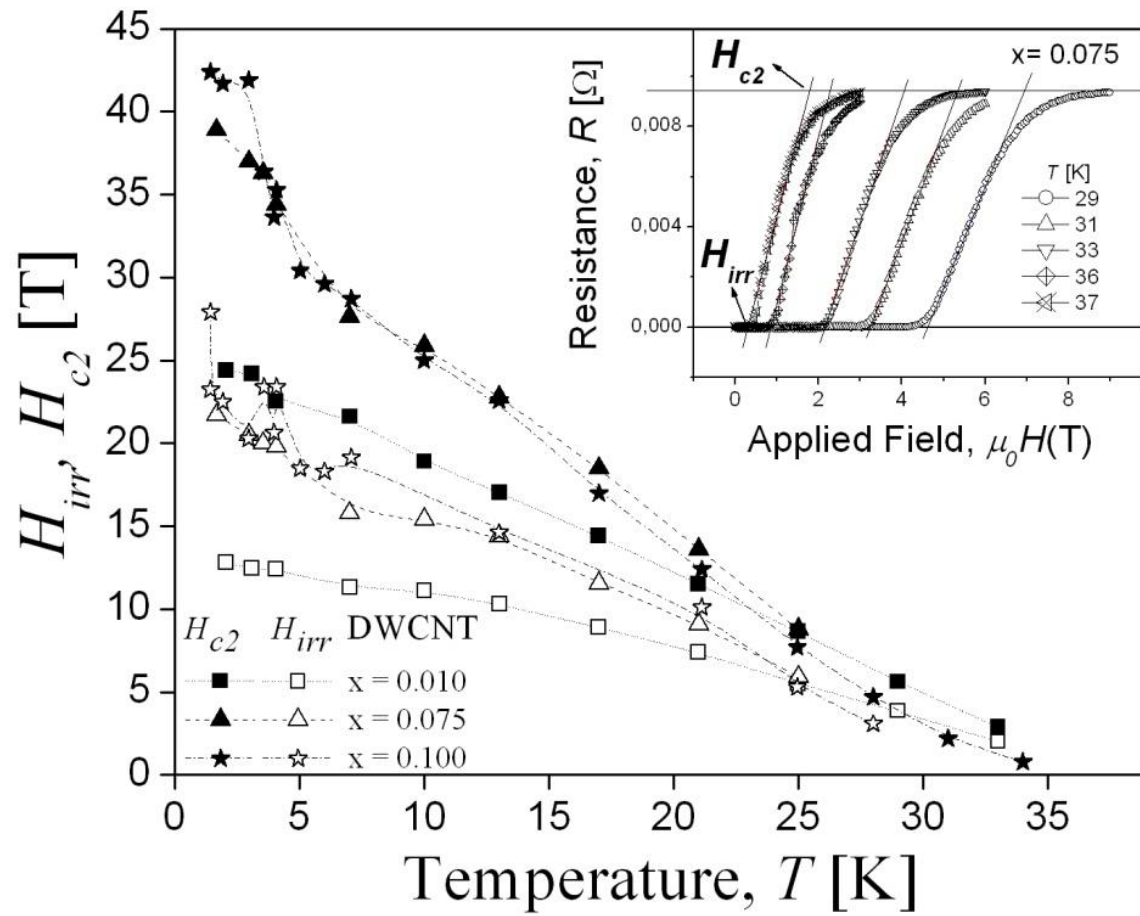


BSCCO - 2223

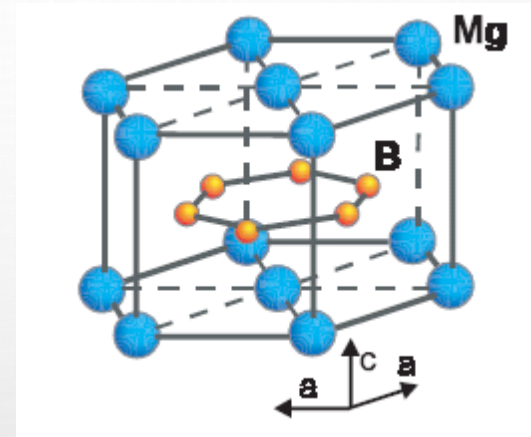
	T_c (K)
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$	110

- 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



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



$$T_c = 39 \text{ K}$$

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

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

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

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

La[O_{1-x}F_x]FeAs com (x=0.05-0.12)

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

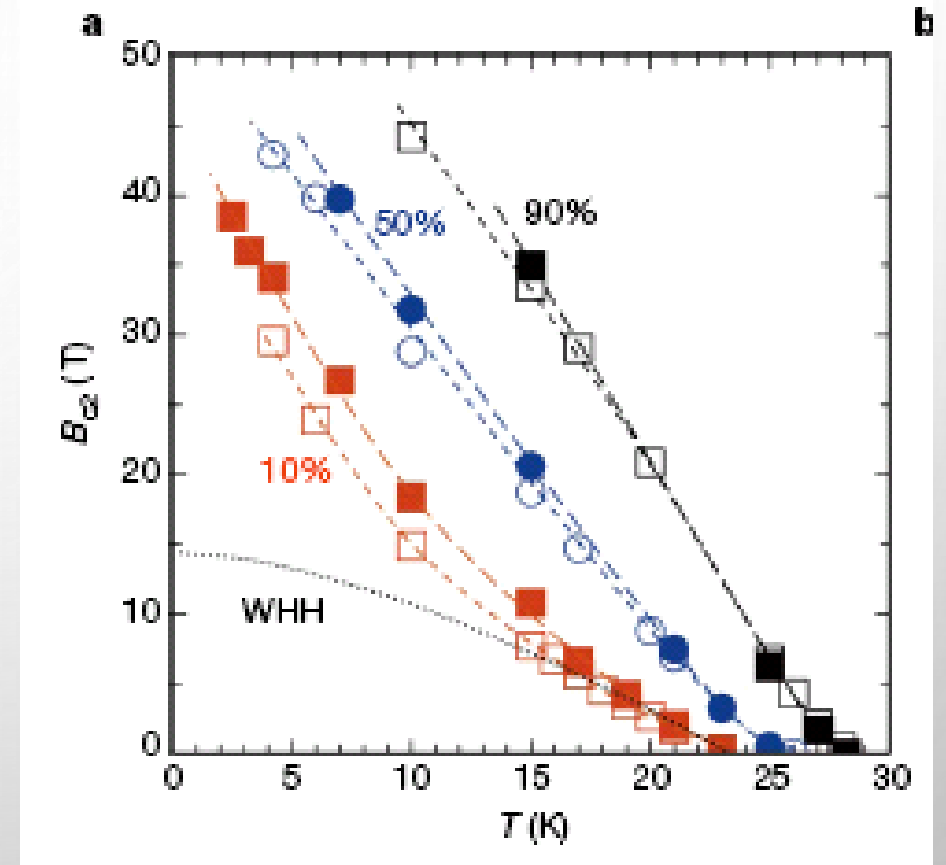
LaFeAsO_{0.89}F_{0.11} - $T_c \approx 26\text{K}$

CeFeAsO_{0.84}F_{0.16} - $T_c \approx 41\text{K}$

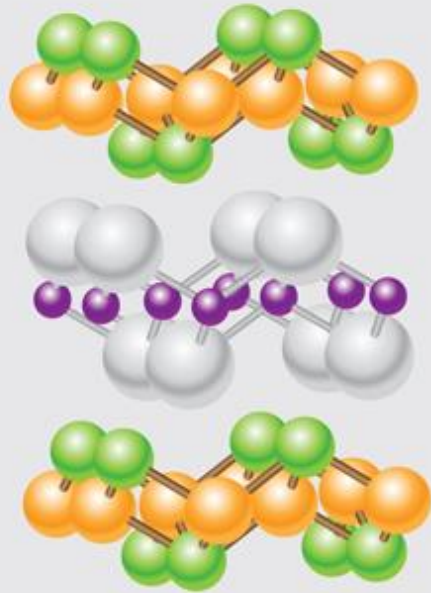
SmFeAsO_{0.9}F_{0.1} - $T_c \approx 43\text{K}$

NdFeAsO_{0.89}F_{0.11} e PrFeAsO_{0.89}F_{0.11}: $T_c \approx 52\text{K}$

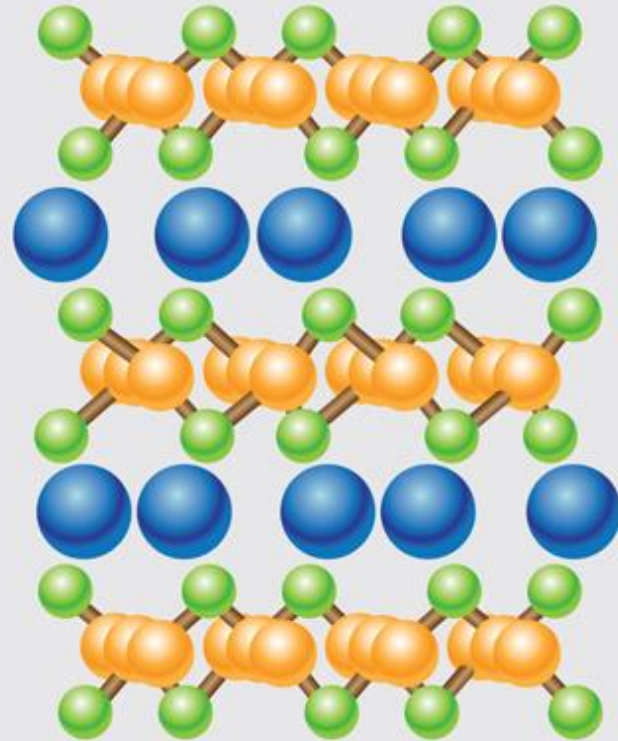
pnictogen = nitrogen family \Rightarrow N, P, As, Sb, Bi



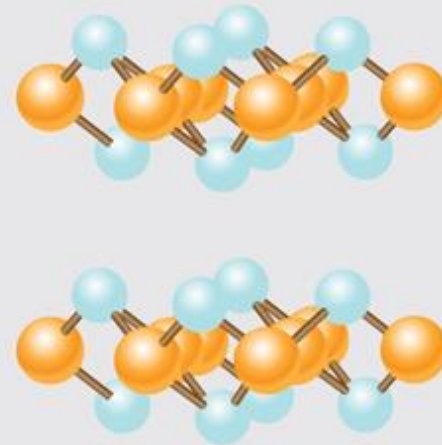
ESTRUTURAS CRISTALINAS



LaOFeAs

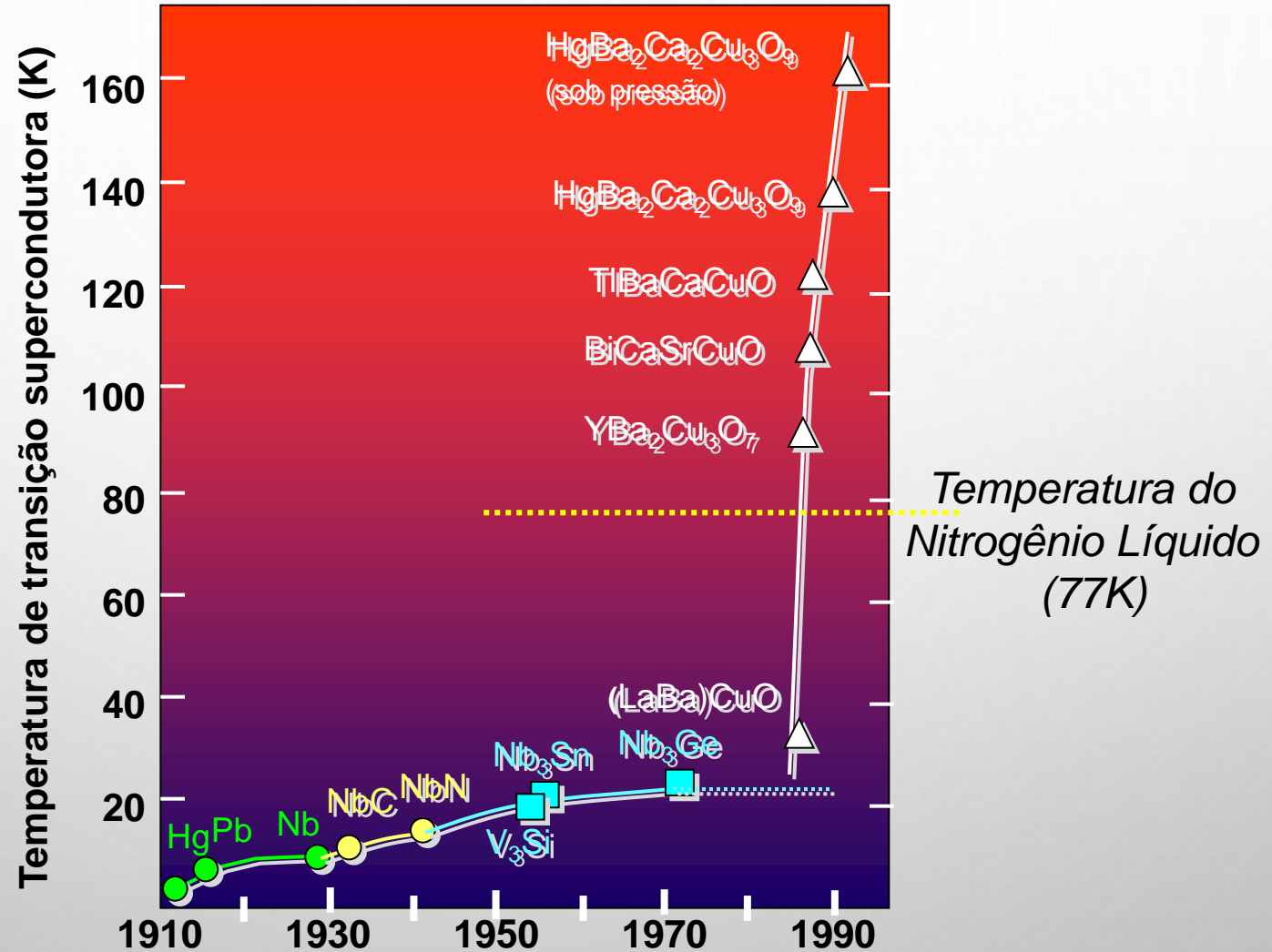


BaFe₂As₂



FeSe

EVOLUÇÃO DE T_c



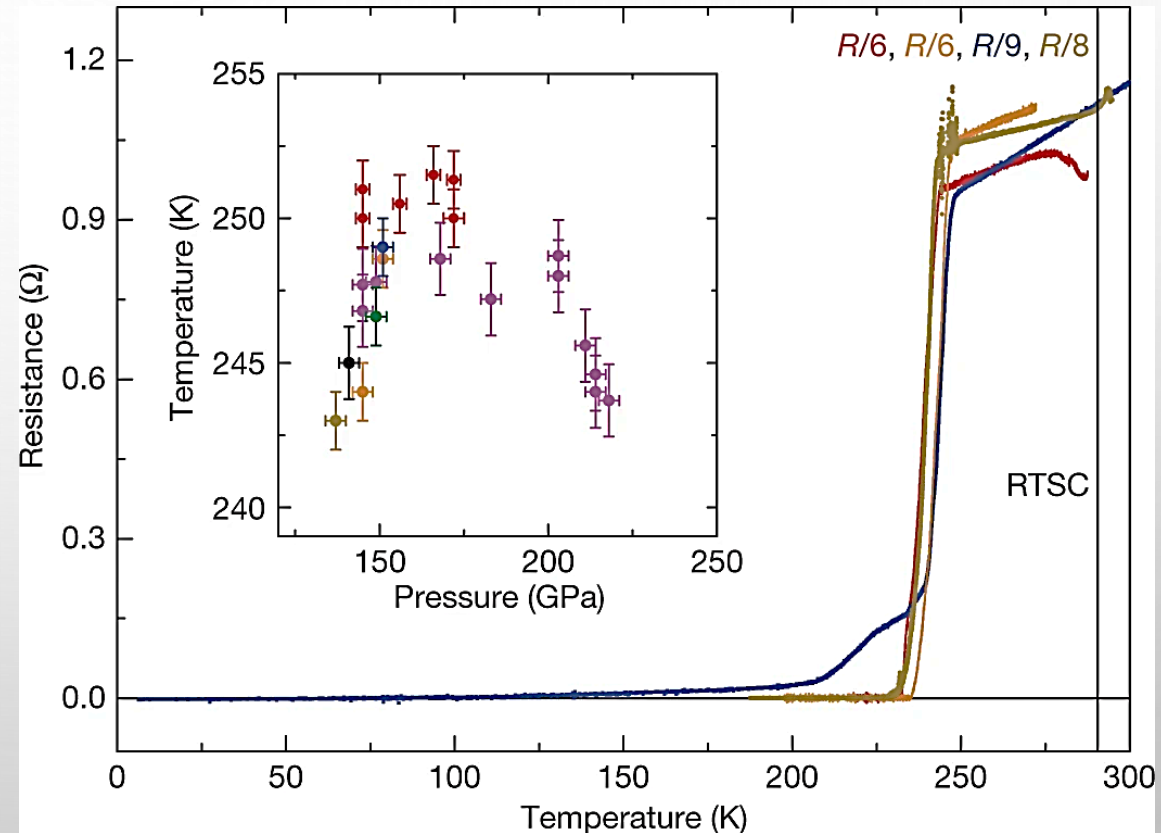
MAIS RECENTE E ALTA T_c

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)

The background features a light gray gradient with several realistic water droplets of varying sizes scattered in the corners. The droplets have highlights and shadows, giving them a three-dimensional appearance.

APLICAÇÕES USANDO SUPERCONDUTORES

Slides de Randolph Miller

Google: superconductors final 23May2011

MAGLEVS



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

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 581 km/h.

Eletroímãs nos trilhos; magnetos dentro dos trens

<http://www.istec.or.jp/istec-animation/SF-train-2012.html>

MAGNETOENCEFALOGRAFIA



Muitos SQUIDs são utilizados para medir a atividade cerebral

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

Corte do MRI (IRM)

Bobina de
radio
frequência

Bobinas de
gradiente

Magneto

Scanner

Paciente

Mesa do
paciente

<http://www.fightmesotheliomacancer.com/mri.html>

MRI - MAGNETIC RESONANCE IMAGING

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

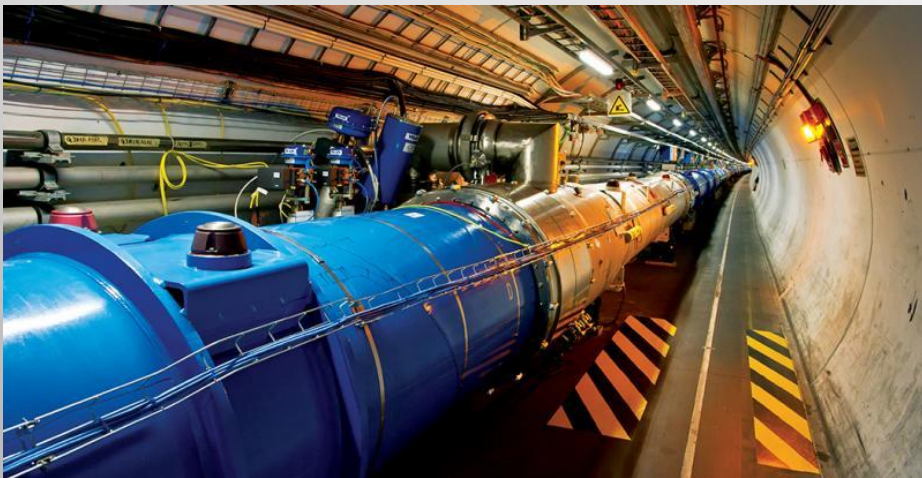


**MRI é o maior mercado para
supercondutores**

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.**

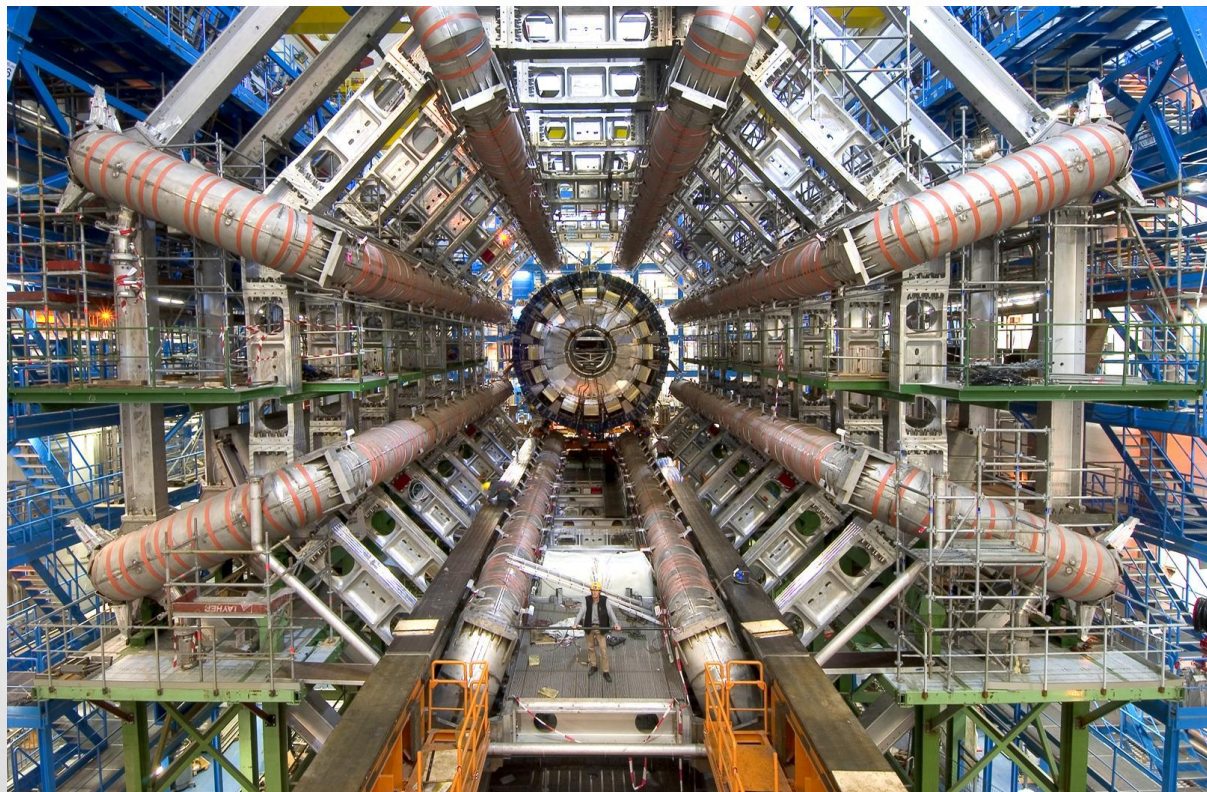
LHC

Magnetos são usados 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

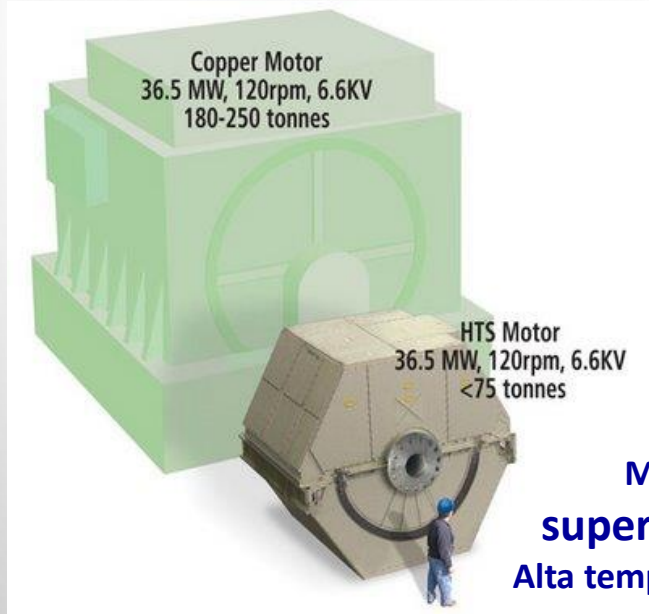


<http://cdsweb.cern.ch/record/910381>

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

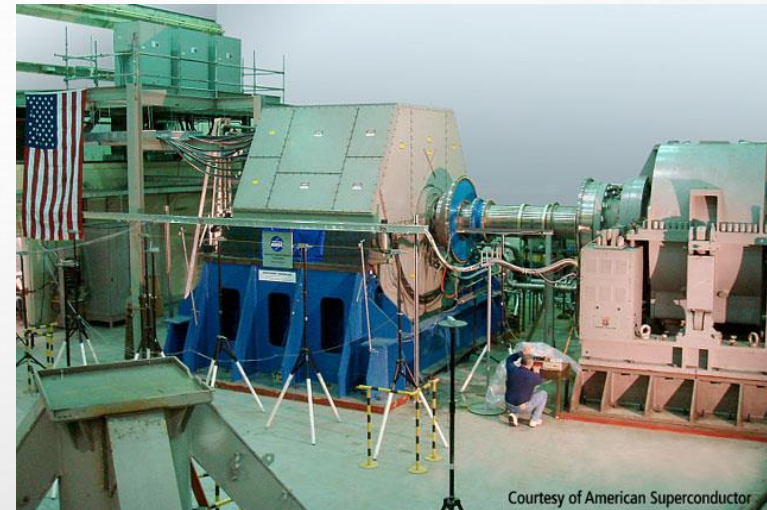
MOTORES

Motor de cobre



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

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



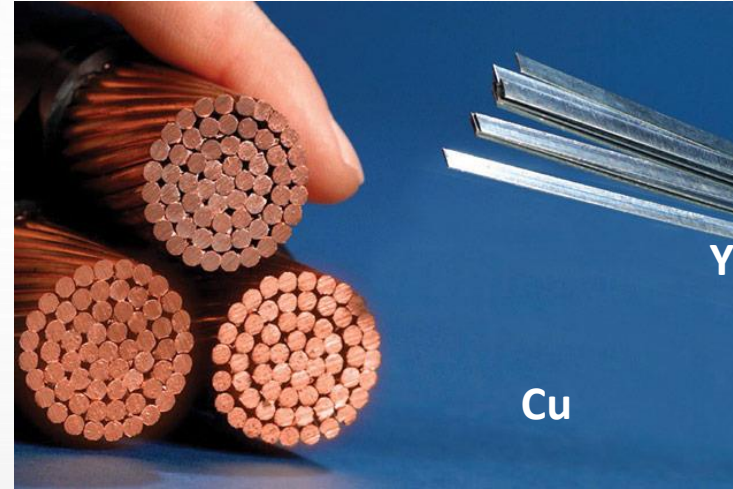
<http://www.superconductorweek.com/free-content-photo-gallery>

- 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



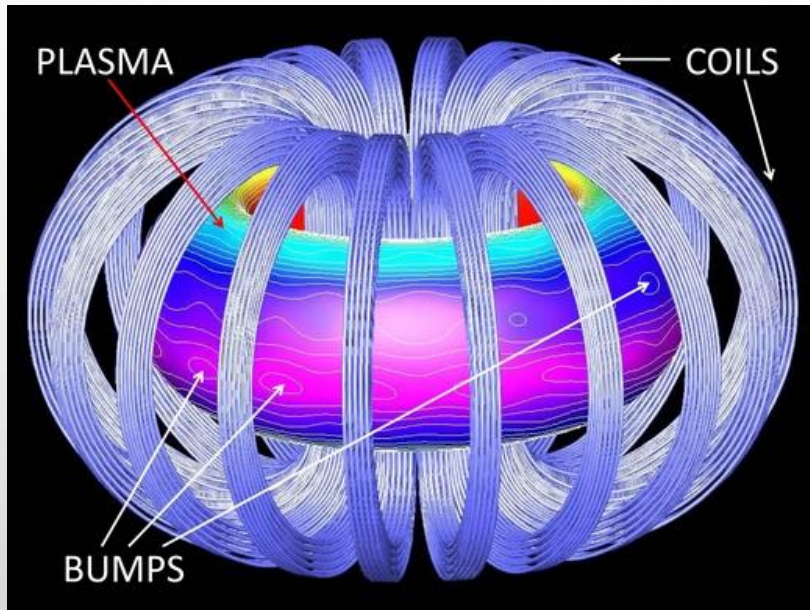
<http://www.amsc.com/products/htswire/LIPAHTSCableProjectBrief.html>



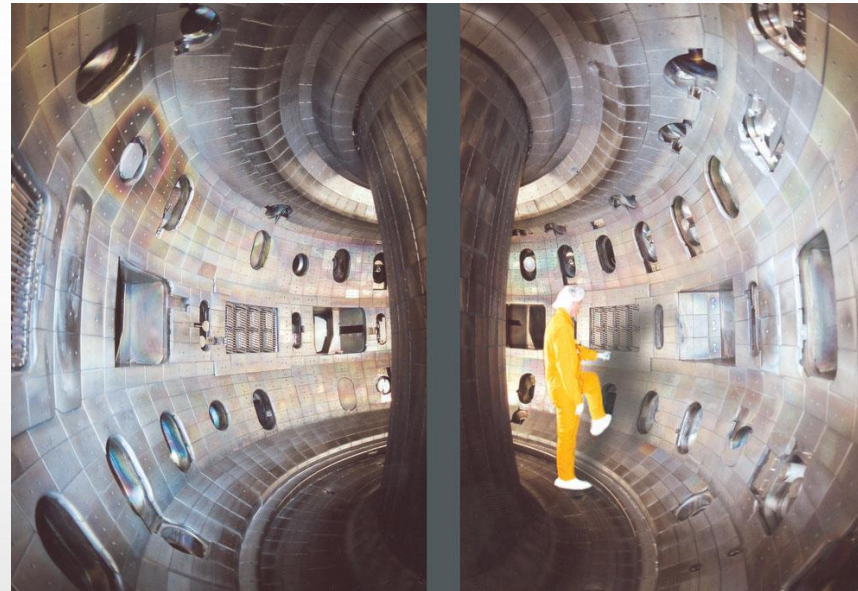
<http://www.superconductorweek.com/free-content-photo-gallery>

- 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



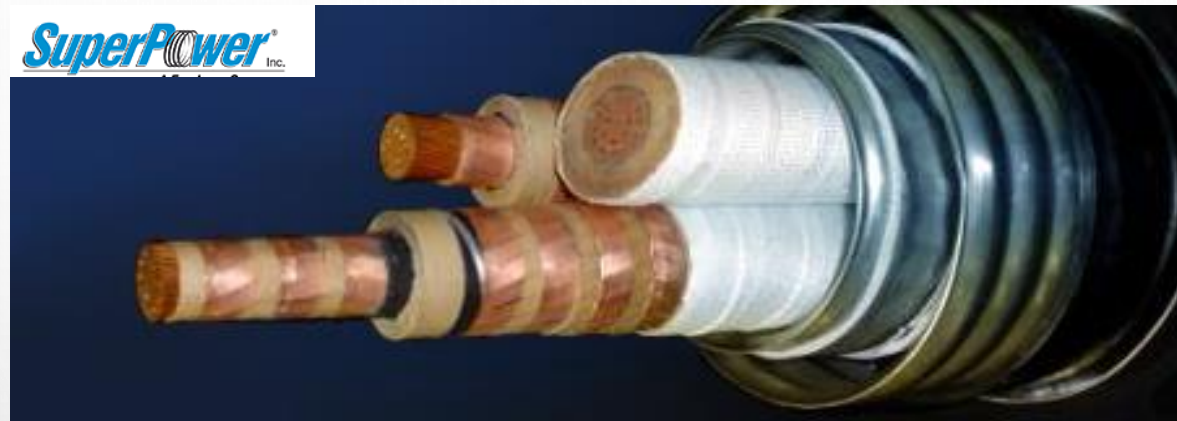
http://blogs.knoxnews.com/munger/2010/01/fields_for_fusion.html



<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

SuperPower[®]
Inc.

A Furukawa Company