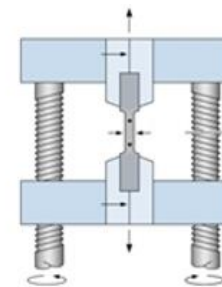
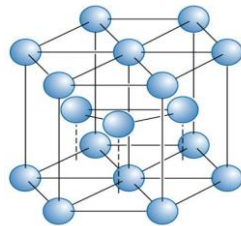
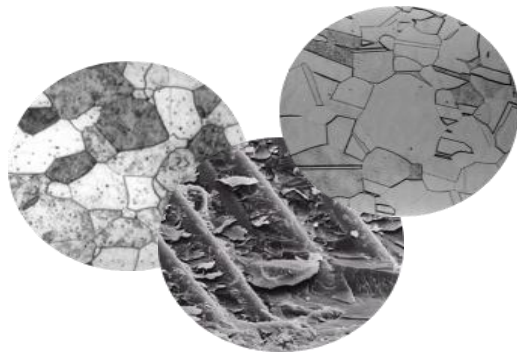


SMM0333 - SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA PROJETO MECÂNICO

Ref.: Materials Selection for Materials Design
Michael F. Ashby



Apresentação do professor

- **Engenharia de Materiais** (UFSCar-1988);
- **Mestrado** em Engenharia Mecânica: Materiais e Processos, área de concentração: Metalurgia Física e Mecânica de Fratura (Unicamp-2008);
- **Doutorado** em Engenharia Metalúrgica e de Materiais: área de concentração: Metalurgia Física, Transformação de Fases (EPUSP-2012);
- **Pós-doutorado** em Engenharia de Materiais: Propagação de trinca por fadiga, em aço API5LX70, em meio de etanol (UFSCar, 2017);
- **Experiência industrial (1991-2013): 22 anos em indústrias de vários segmentos: automotiva, equipamentos de óleo & gás, movimentação, mineração, eólica, siderurgia e hidromecânicos;**
- **Professor da EEL-USP de 2013 a 2016;**
- **Professor da EESC-USP, desde 2016;**

Trabalhando com aços há 30 anos: Metalurgia Física/Transformação de fases relacionadas à propriedades mecânicas, Análise de falhas.

• **Qualificações: Ensaio de ultrassom (ASNT-1997) e Supervisor de radioproteção (CNEN-2003)**

Assuntos que serão tratados

- **Introdução:** importância da seleção de materiais;
- **Metodologia** de projeto;
- **Função, material, Forma e Processo;**
- **Materiais de engenharia** e algumas propriedades;
- **Mapas** de propriedades dos materiais;
- **Método de Ashby** para seleção de materiais;
- **Índice de desempenho;**
- Seleção de **Processos;**
- Seleção considerando **custo.**

Metodologia das aulas não presenciais:

- **As aulas serão gravadas e postadas no e-disciplinas (moodle);**
- **Os slides também serão postados no moodle, em pdf;**
- **Dúvidas devem ser enviadas para o e-mail:
jmarcomini@usp.br**

Bibliografia

- **ASHBY, M. F. Materiais selection in mechanical design. Oxford, Pergamon Press, 1992;**
- FERRANTE, M. Seleção de materiais, Editora Universitária EDUFSCar, 1996;
- TELLES, P. C. S. Materiais para Equipamentos de Processo. Ed. Interciência, 4º Ed., 1989;
- BRESCIANI, F., E. Seleção de Materiais Metálicos. Ed. da UNICAMP, 2º Ed.

Critério Avaliação

A média final (MF) será calculada a partir de:

$$\mathbf{MF = (NP+NT)/2}$$

NP: nota da 1ª Prova. **NT:** nota de trabalho

PROVA: 20/10

Trabalho em grupo

- Uma vez que é possível a realização de comunicação via internet, entre os alunos,
- Montar grupos de 4 componentes, no máximo;
- O trabalho deve conter um máximo de 15 páginas digitadas e não manuscritas;
- Enviar em pdf;
- Inserir o nome dos componentes na capa do trabalho;
- Quem não tiver o nome no trabalho não terá nota;
- O trabalho deverá chegar no e-mail: jmarcomini@usp.br, até às **17h do dia 24/11.**

Trabalho

- Seleção de material para **uma peça, dispositivo, equipamento, estrutura** real, existente ou criado por vocês, desde que seja **exequível**;
- Ou a análise crítica de **um trabalho/artigo sobre seleção** já existente;
- Qualquer tipo de trabalho a ser escolhido deve ser **baseado em métodos de seleção** de materiais, não necessariamente o do Ashby, porém **coerentes e eficientes**;
- Apresentar as **propriedades necessárias** dos materiais utilizados na fabricação, para a aplicação ;
- Apresentar **método de seleção** e materiais **selecionados**, explicando o **porquê** da escolha;
- Apresentar o **método de seleção dos processos** de fabricação e **processos selecionados**;

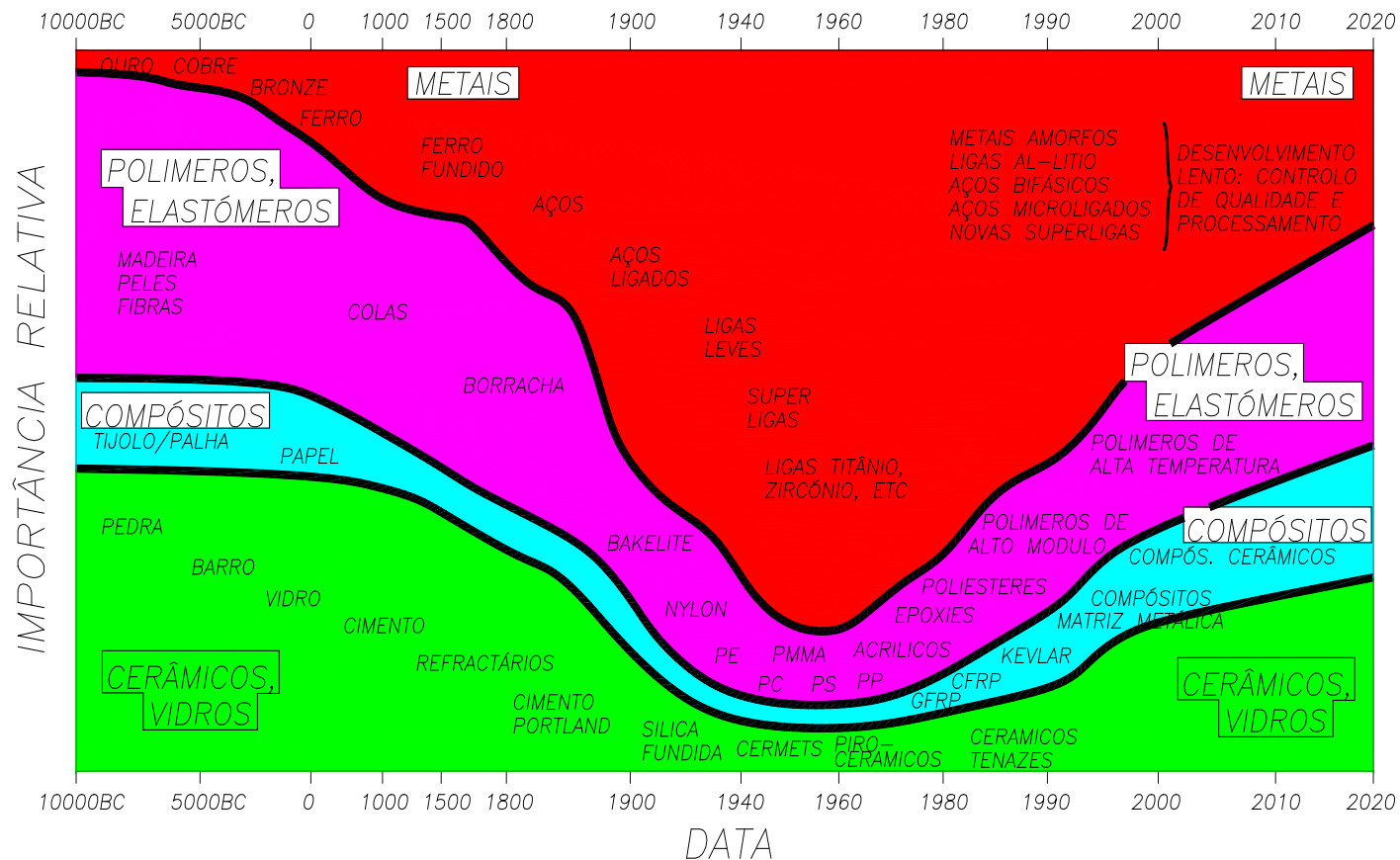
Introdução

- Design – Projeto: todo produto manufaturado necessita de um projeto;
- Para tanto é necessária a **Seleção de Materiais para Projeto Mecânico**;
- Projetar é **transformar** uma **ideia** ou **necessidade de mercado** em informações detalhadas, o que implica em decisões sobre o **material** a ser utilizado e o **processo** para fabricá-lo;
- **Necessidade** de projeto: **seleção** de um material (só no Stahlschlüssel- “chave dos aços”, em alemão, existem mais de 70.000 tipos de aço! Só aço!), ou desenvolvimento de um **novo material** permitindo a criação de um **novo produto** ou a **melhoria do mesmo**.

- Como selecionar um material?
- Deve-se acreditar apenas na experiência?
- **Experiência + teoria correta para explicar os fenômenos reais;**
- Experiência + teoria leva a geração de **PROCEDIMENTO SISTEMÁTICO**, que permite modelamento e simulação computacional e interatividade com outras ferramentas da engenharia de projeto;
- Seleção do material: material em si + condição (processamento)+ custo + qualidade + meio ambiente + segurança e saúde ocupacional;
- Problemas de projetos: não existe uma única solução correta, mas o melhor custo/benefício;

Evolução dos Materiais de Engenharia

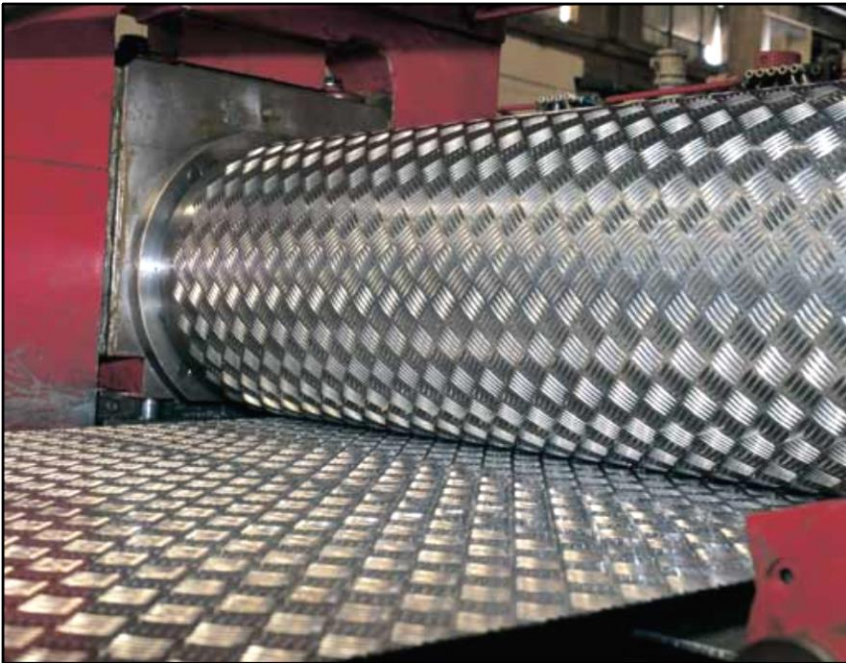
- Inicialmente, a história do Homem foi dividida em etapas denominada pelos materiais usados (idade da **pedra**, **bronze**, **ferro**).
- Não estamos na era de um único material, mas sim na era de um imensa possibilidade deles.



**OS MATERIAIS ESTÃO PRESENTES
EM DIVERSOS PRODUTOS E ESTÃO
CADA VEZ MAIS SOFISTICADOS:
SELEÇÃO MAIS COMPLEXA EXIGE
CONHECIMENTO**



ALUMÍNIO



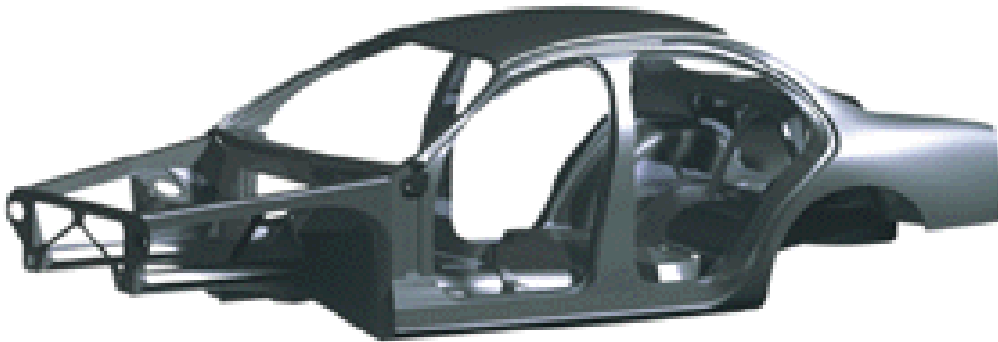
AÇOS



**Seleção de aços só pela
“chave dos aços”**



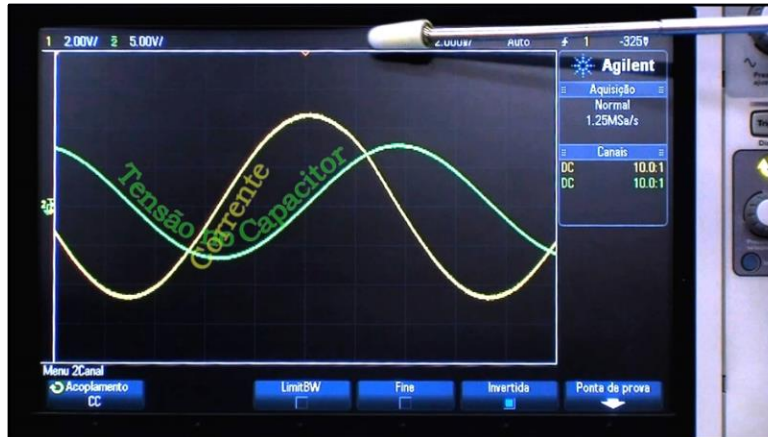
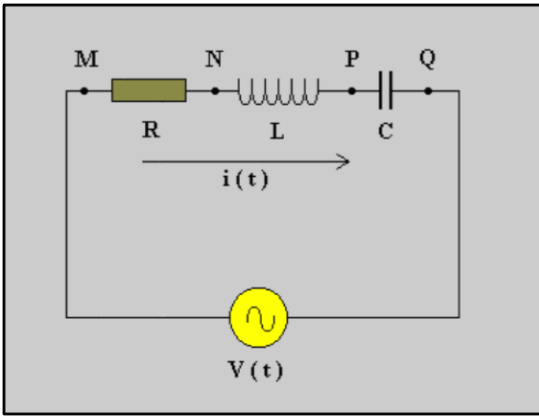
**STAHLSCHLÜSSEL
70.000 TIPOS/NORMAS**



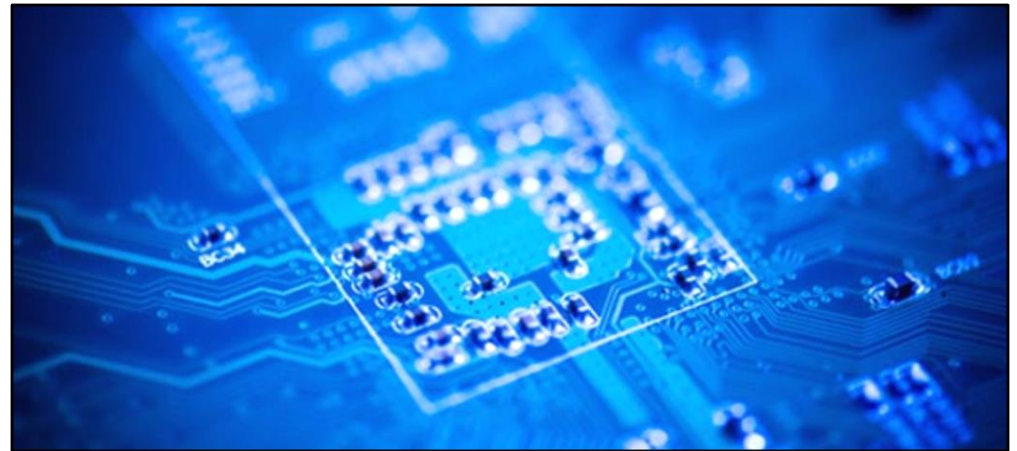
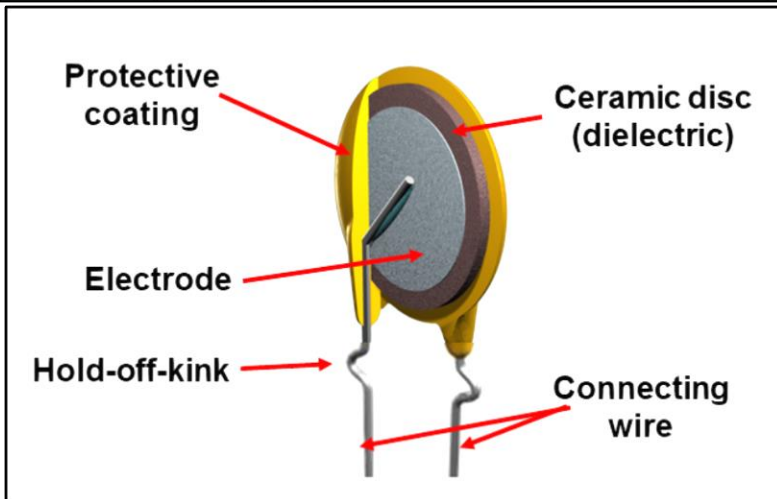
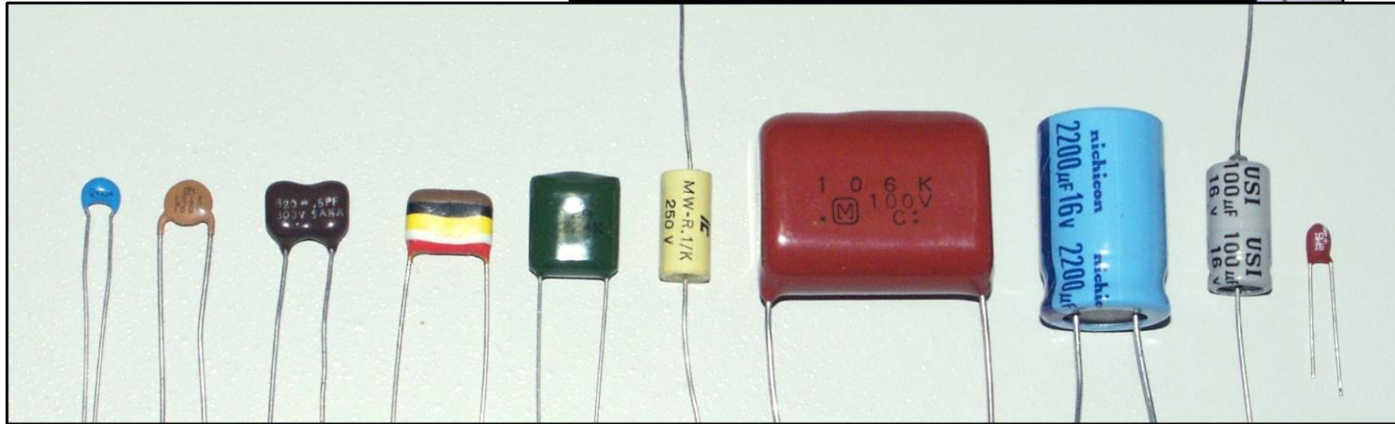


CERÂMICA

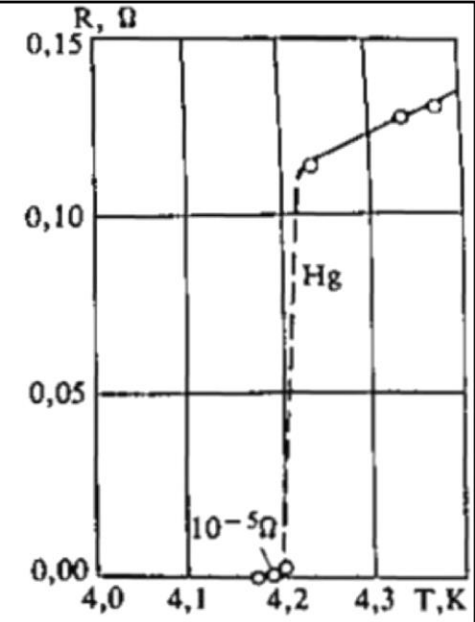
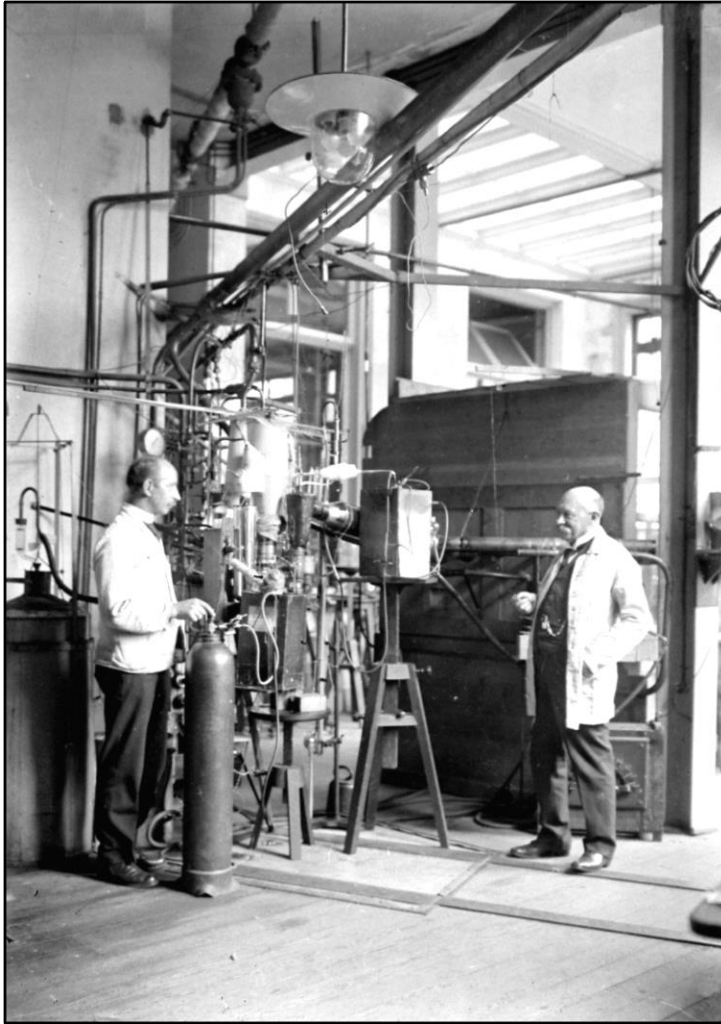




CERÂMICAS ELETRÔNICAS - CAPACITOR



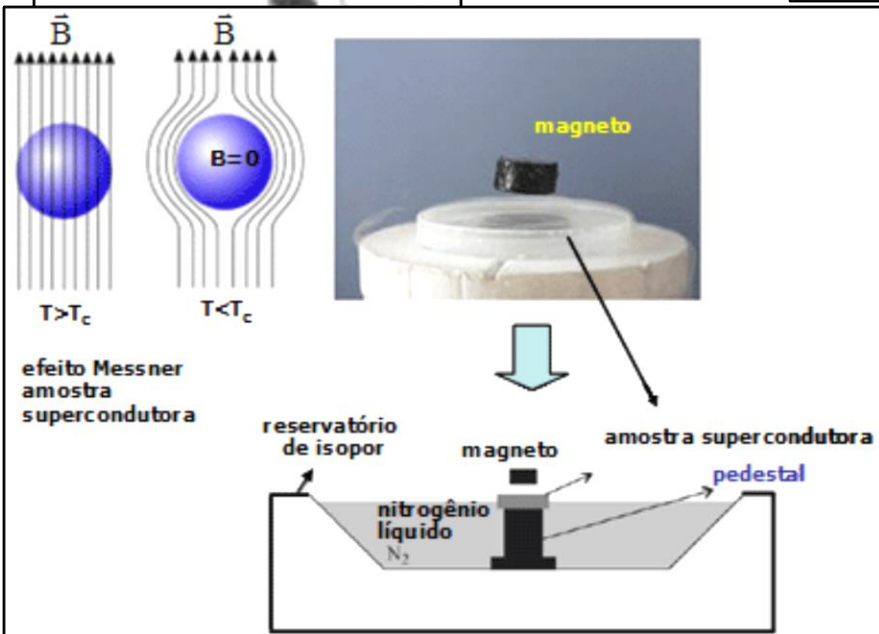
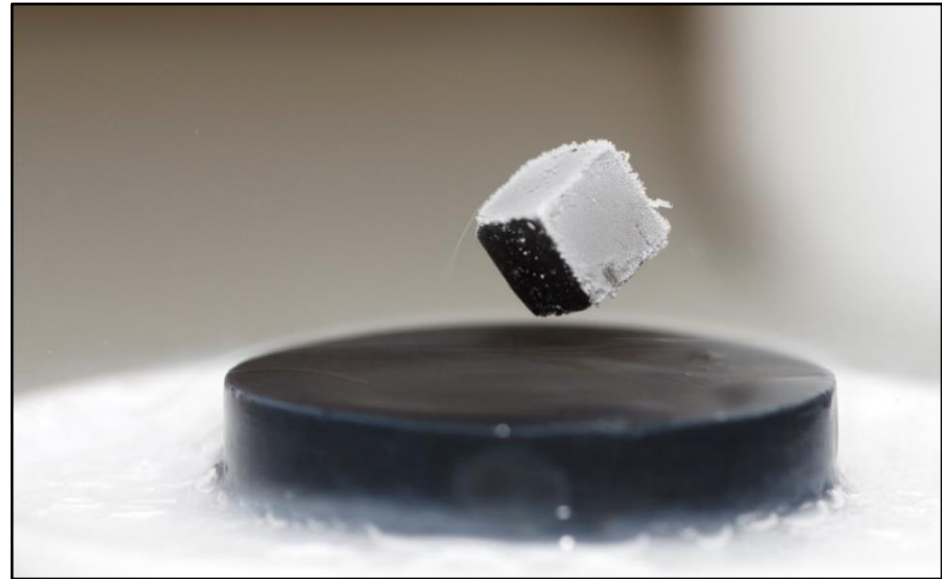
Origem dos supercondutores



Heike Kamerlingh **Onnes** desenvolveu a primeira **liquefatora de hélio (1908)**.
Selecionou o Hg para tornar **útil** seu equipamento: **líquido** à temperatura ambiente, **fácil fixação de termopares sem alterar a estrutura**.

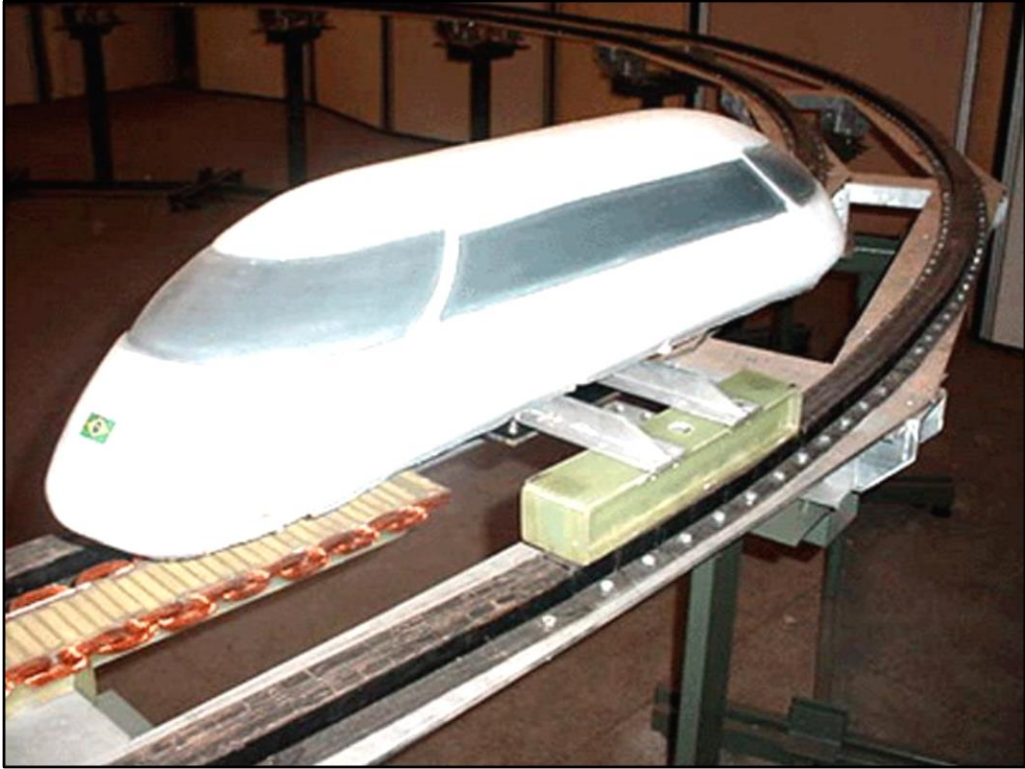
Percebeu que a **resistividade do Hg caía a zero, em torno de 4K**.

1933 Karl Walther Meissner - supercondutor expulsa o campo magnético.





**CERÂMICA
SUPERCONDUTORA**



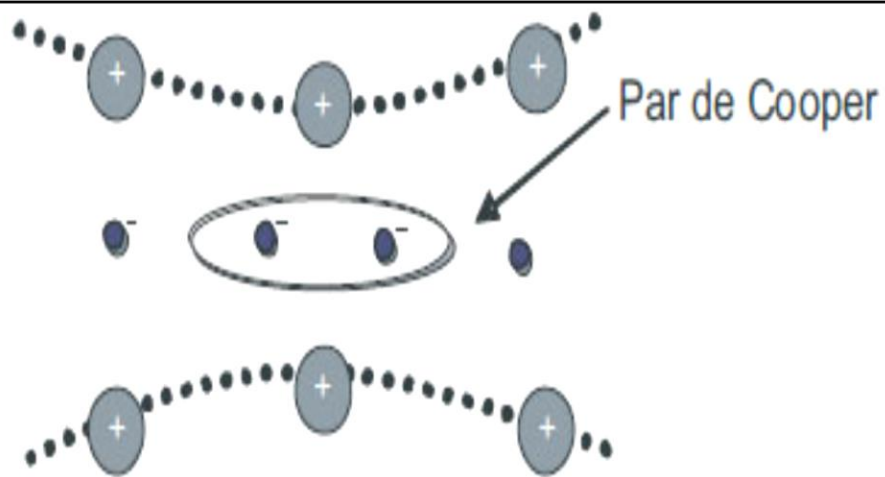
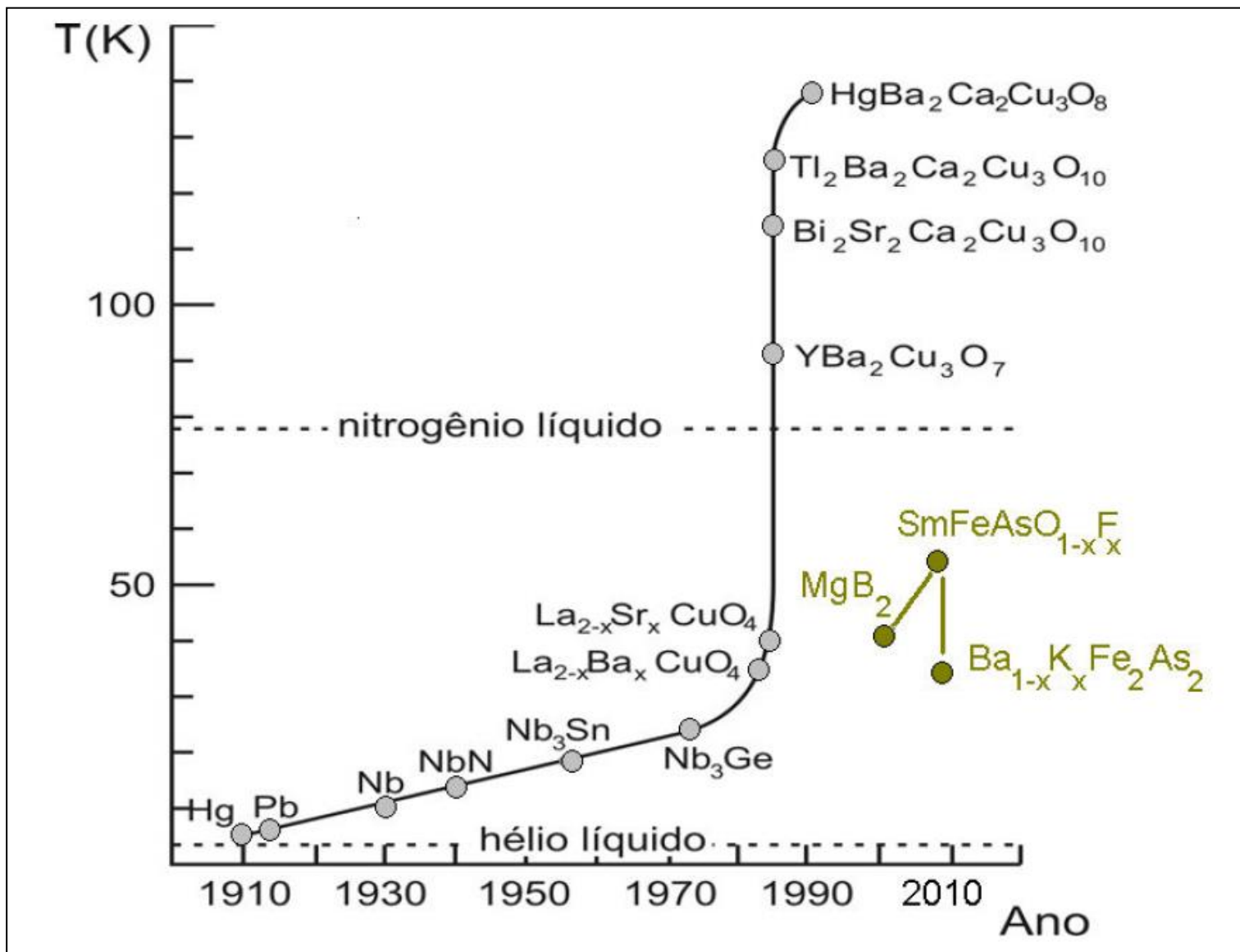


Figura 6 - Movimento do par de Cooper por uma rede cristalina. As distorções da rede são provocadas pela passagem de um elétron que acarreta na atração de outro. A distorção é o fônon emitido pelo primeiro elétron e capturado pelo segundo.



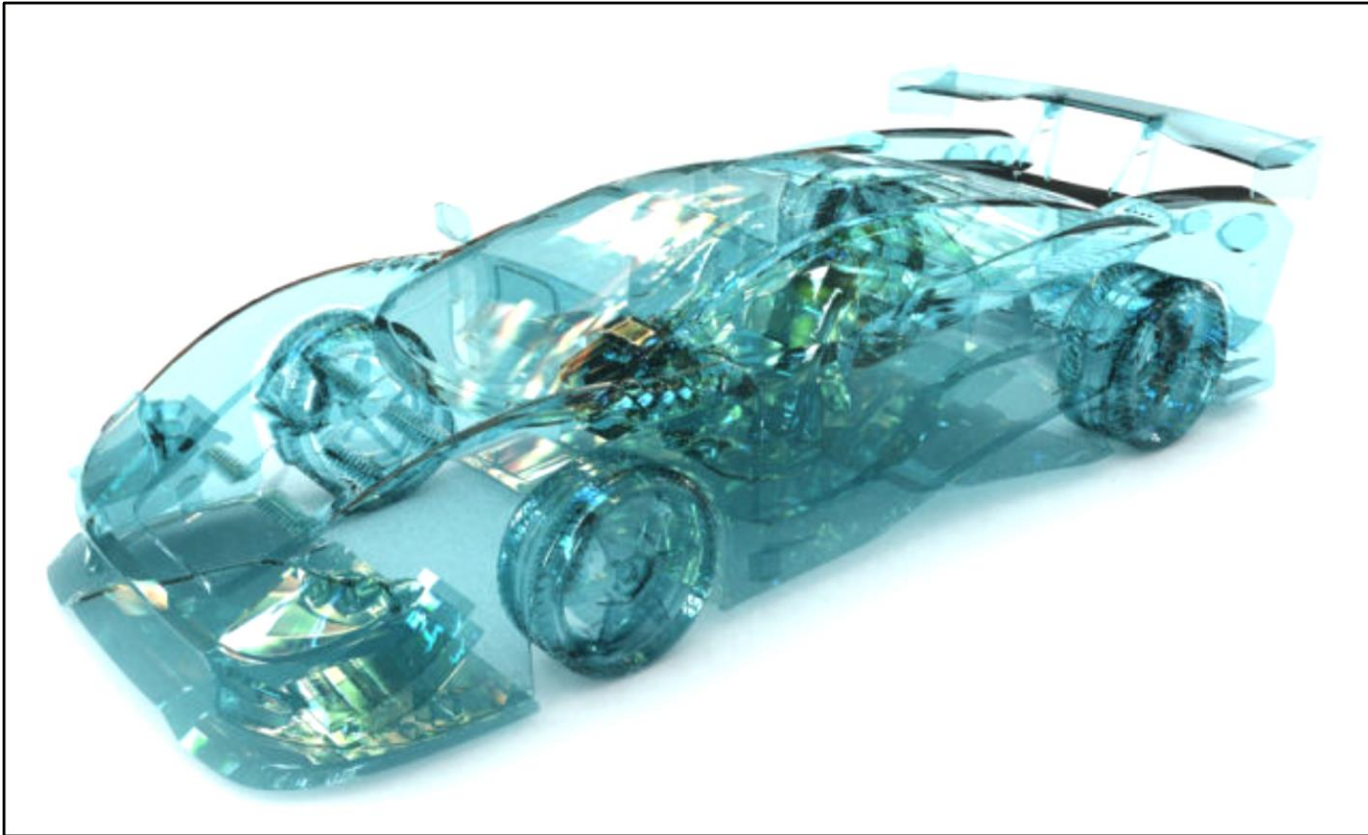
Em 1957, a explicação teórica : Teoria BCS (John Bardeen, Leon Cooper e J. Robert Schrieffer), que assume os superelétrons como os portadores de carga do estado supercondutor. Eles são formados por dois elétrons com spins e momentos lineares opostos, atraídos pelos fônons (vibrações) da rede.



Elevação da temperatura dos supercondutores com o passar do tempo: cai a teoria BCS. Seleção de teorias: equações de Einstein (?)

VIDROS

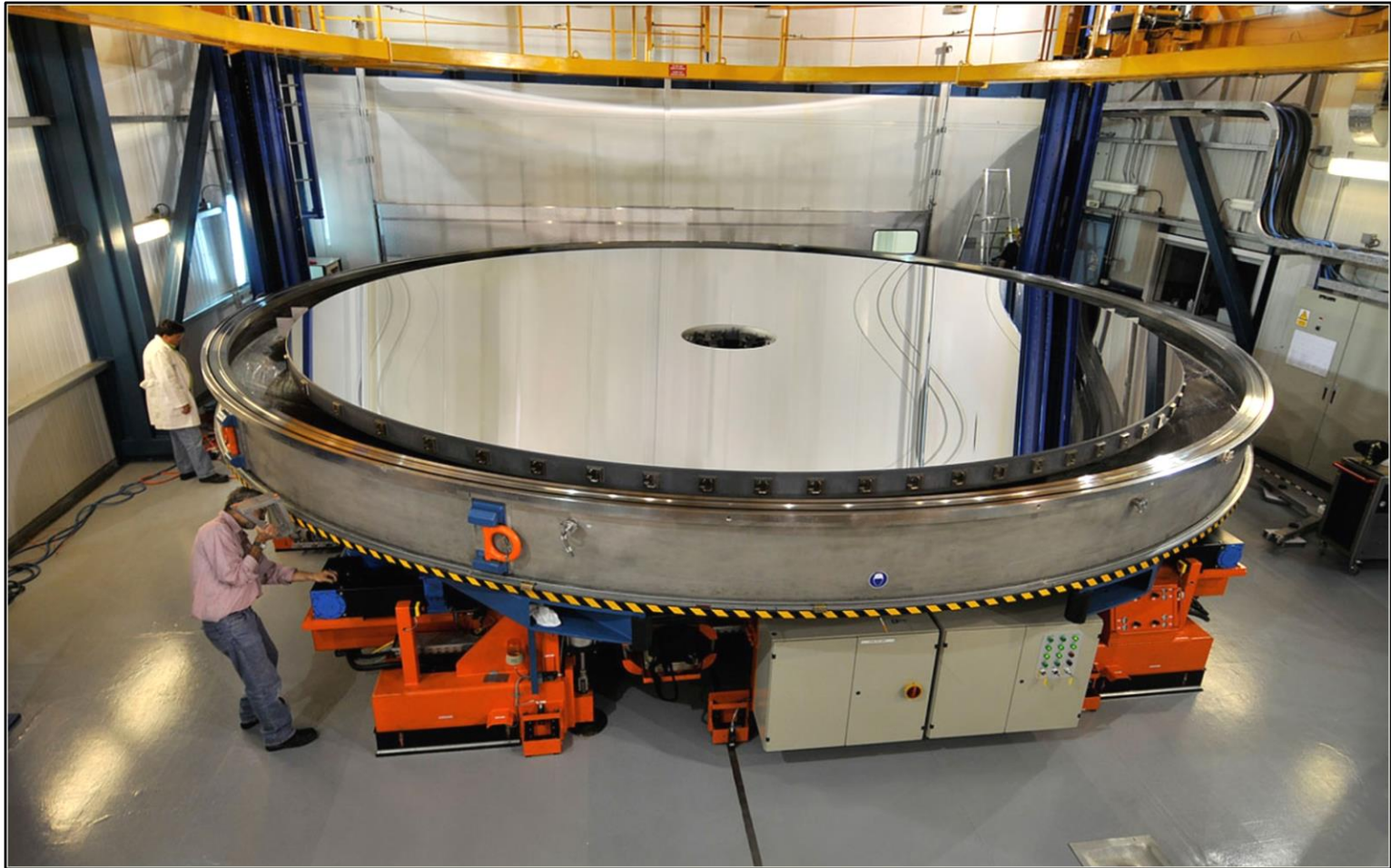
VIDROS METÁLICOS: METAL AMORFO



CERÂMICA – RESFRIAMENTO RÁPIDO – VIDROS

Seleção da formulação correta e do processo de fabricação para essa aplicação

VIDROS PARA ESPELHO DE TELESCÓPIO



ESPELHO DE 8.2 m DE DIÂMETRO - ESO

CERÂMICA – RESFRIAMENTO RÁPIDO – VIDROS

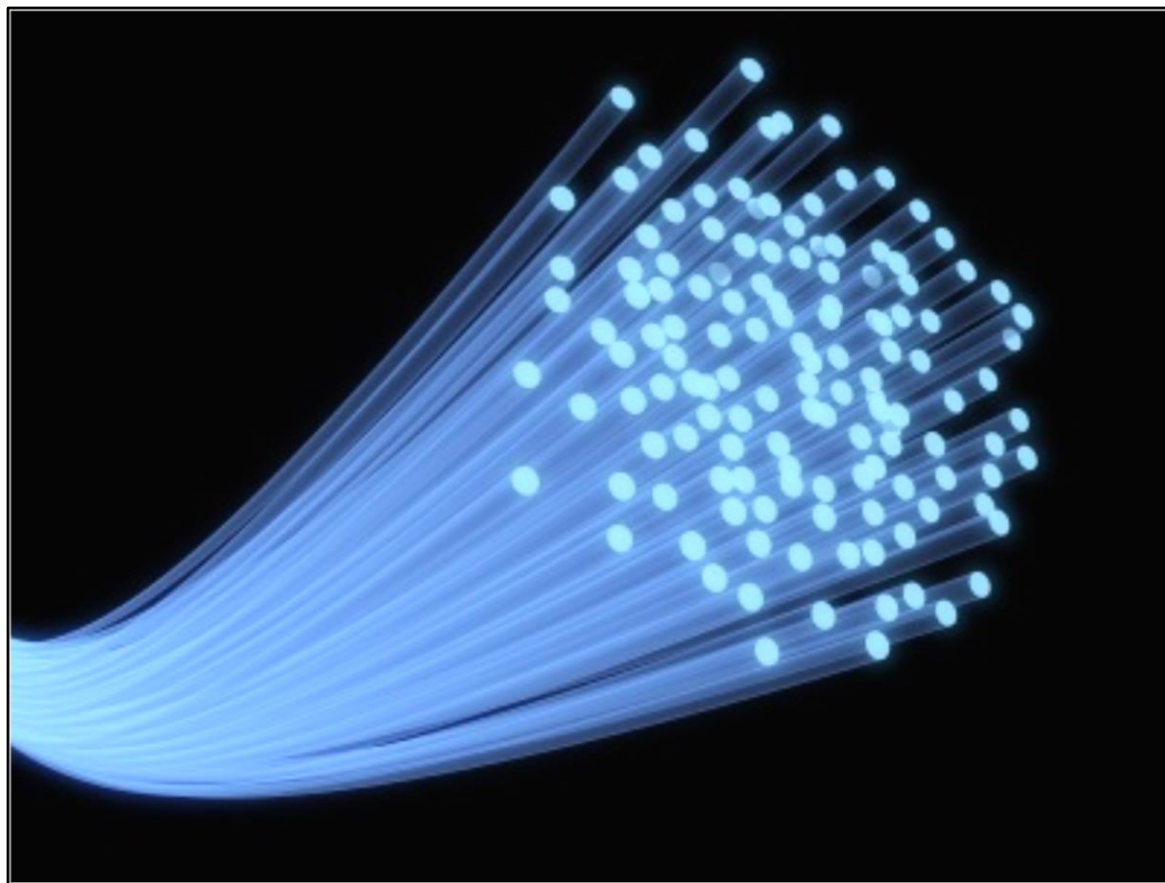
Seleção da formulação correta e do processo de fabricação para essa aplicação

VIDROS PARA ESPELHO DE TELESCÓPIO



VIDROS

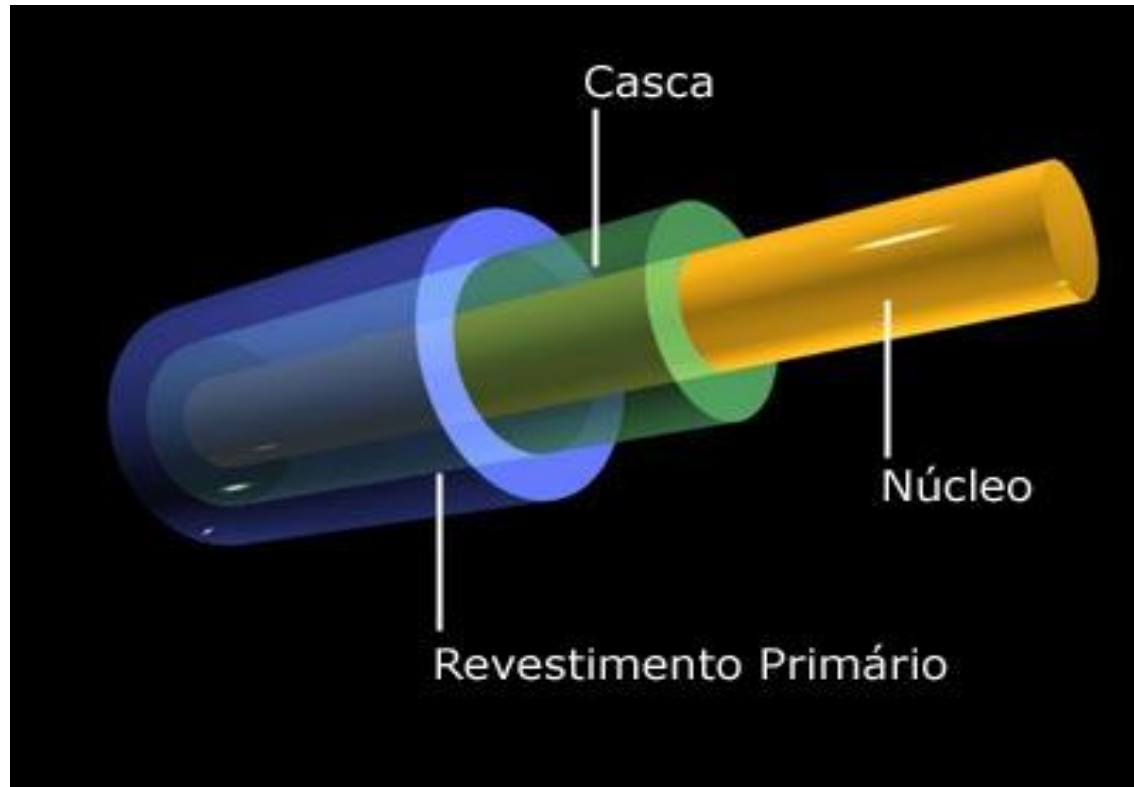
FIBRA ÓPTICA



VIDROS + POLÍMEROS

FIBRA ÓPTICA

- **Materiais dielétricos(isolantes): interferências eletromagnética;**
- **Núcleo: VIDRO;**

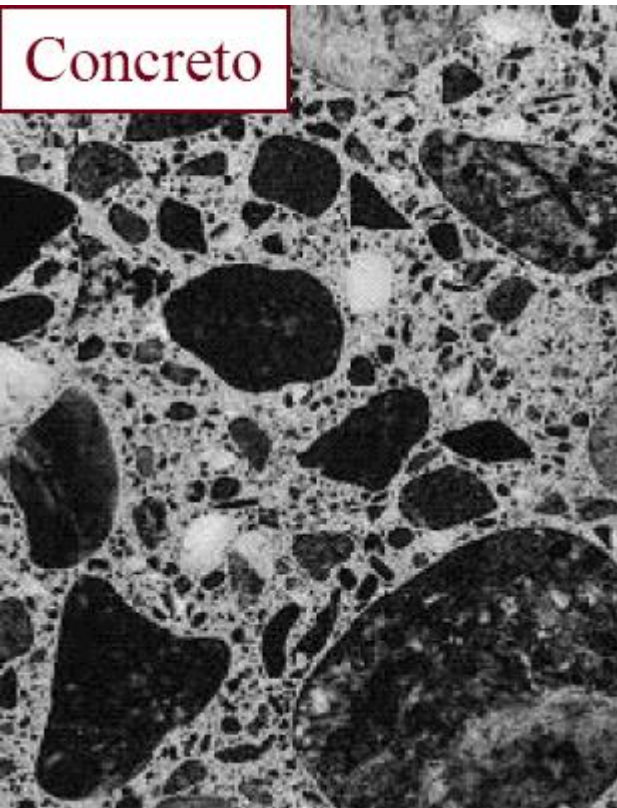


POLÍMERO

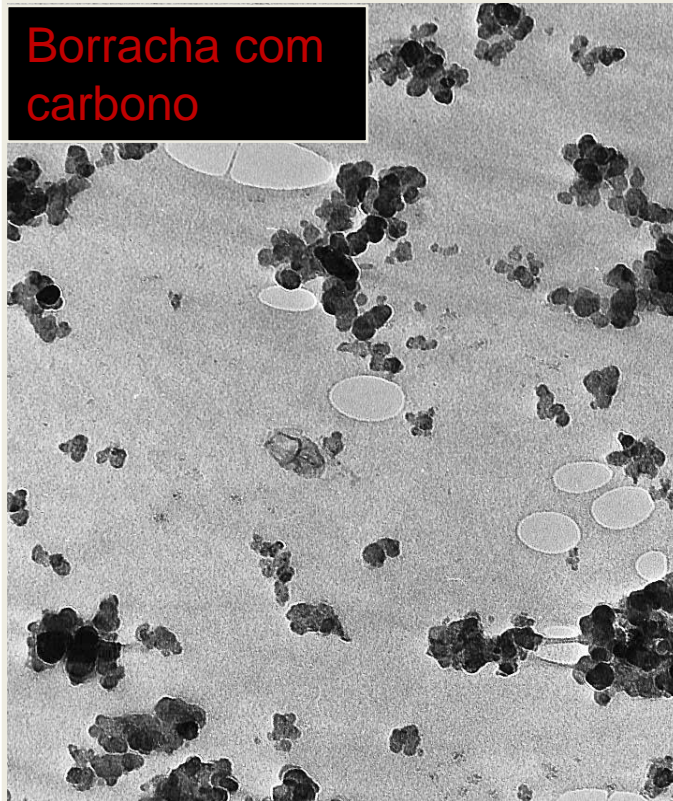


COMPÓSITOS

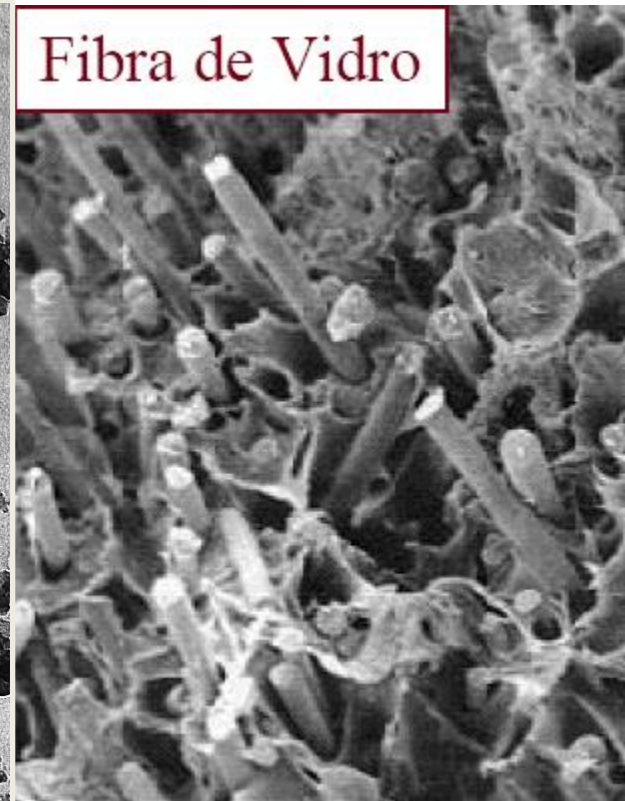
Concreto



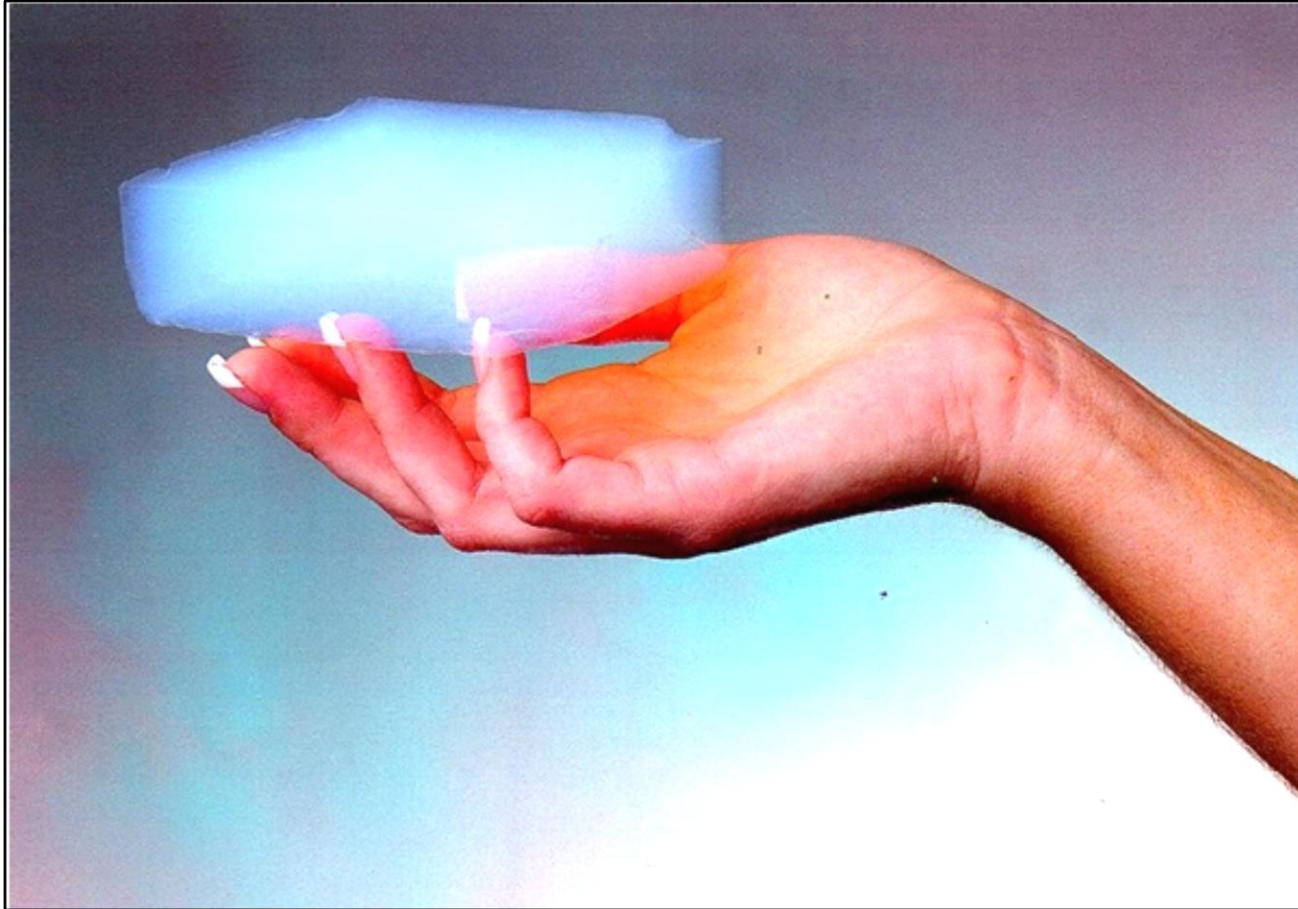
Borracha com carbono



Fibra de Vidro



ESPECIAIS

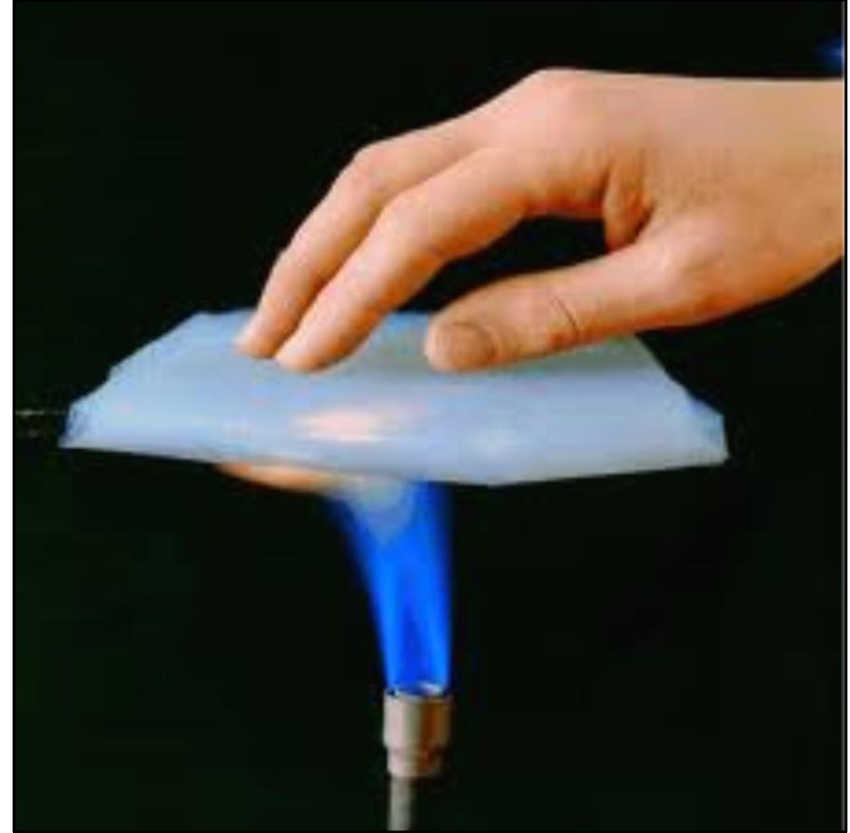
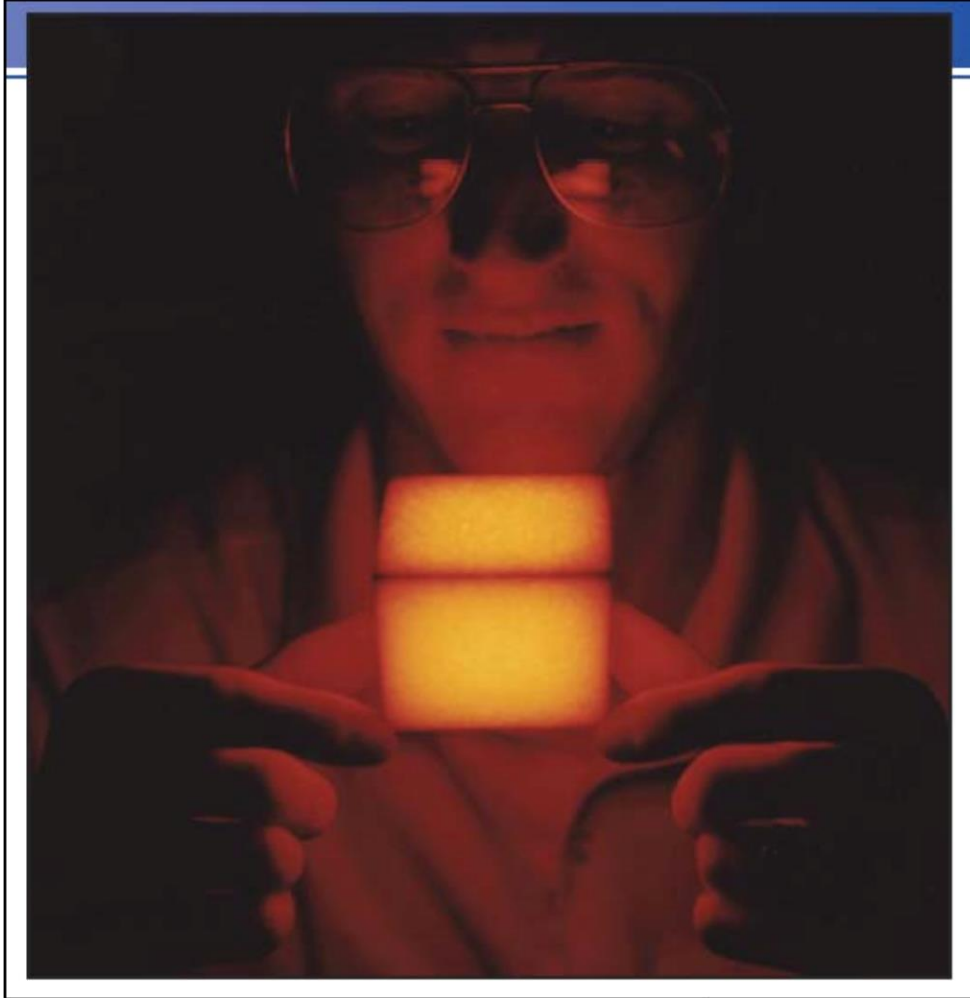


AEROGEL



STARDUST-2004

EXCELENTE ISOLANTE TÉRMICO



O aerogel foi criado por Steven Kistler, em 1931, como resultado de uma aposta com Charles Learned, para tentar substituir o líquido de gelatinas por gás, sem causar encolhimento. Trata-se de Sílica com 90% a 98% de ar. Processo complexo.

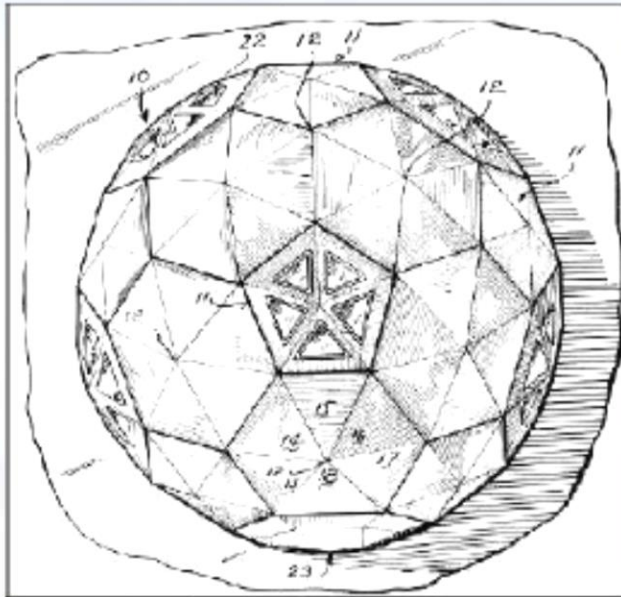
Poderia ser selecionado como material isolante, mas...

Problema era resistência mecânica (requisito de projeto para aplicações como isolante)

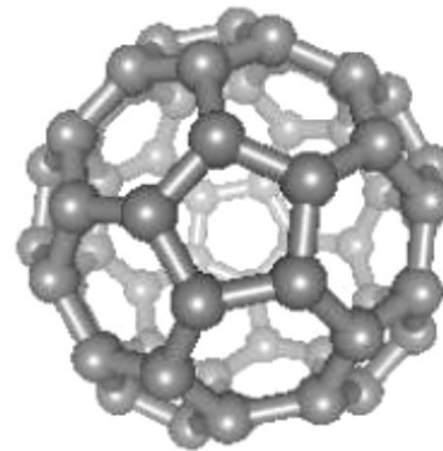
Solução introdução de nanotubos de carbono com fulerenos Buckminster.

**RICHARD BUCKMINSTER FULLER-BUCKY(1895-1983)-ARQUITETO
PATENTOU A “CÚPULA GEODÉSICA”-DÉCADA DE 60.**

Cúpula geodésica



desenho da cúpula como
aparece na patente
(www.bfi.org)



HISTÓRIA

Harold Kroto descobriu os fulerenos:

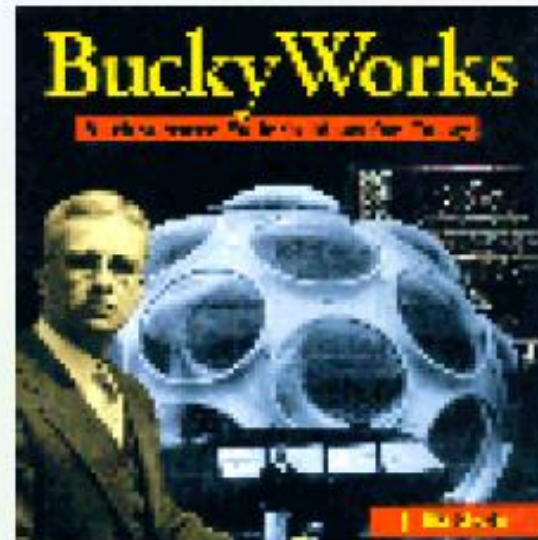


University of Sussex

e homenageou Richard Buckminster Fuller (de apelido Bucky) batizando as novas partículas de carbono de Buckminsterfullerene, ou buckyball

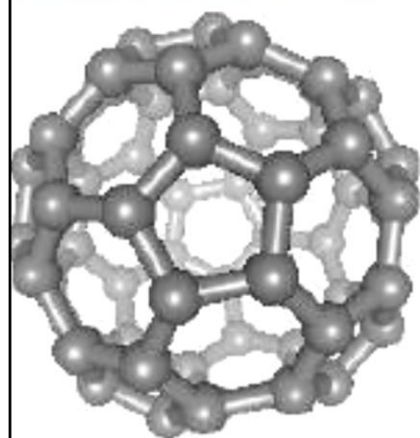
NATURE 318 (6042): 162-163, 1985

Prêmio Nobel de Química de 1996, em conjunto com Richard Smalley e Robert Curl

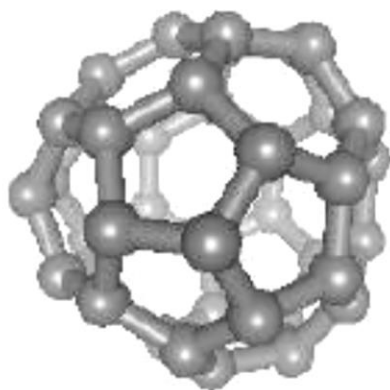


Fulerenos menores: 40 a 50 átomos de carbono

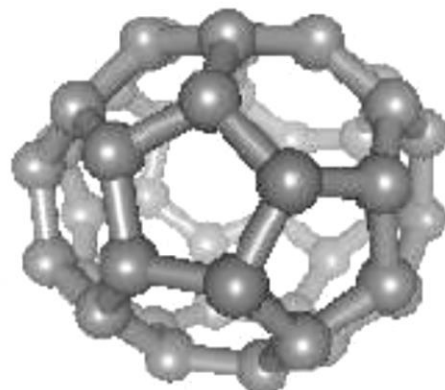
C_{60}



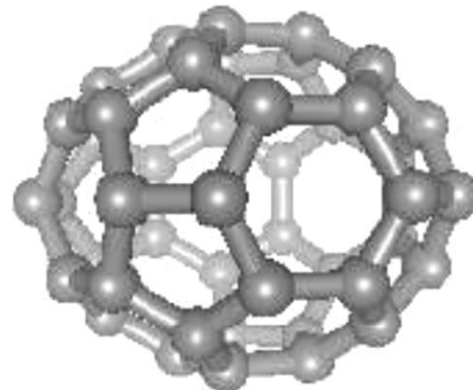
C_{40} [40]



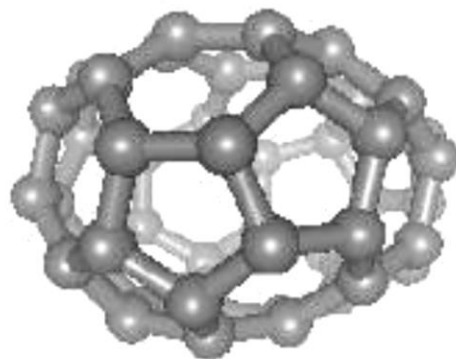
C_{42} [45]



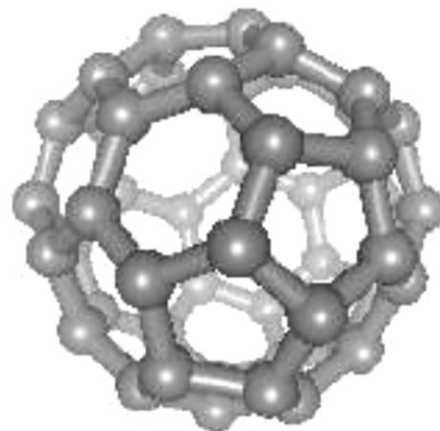
C_{44} [89]



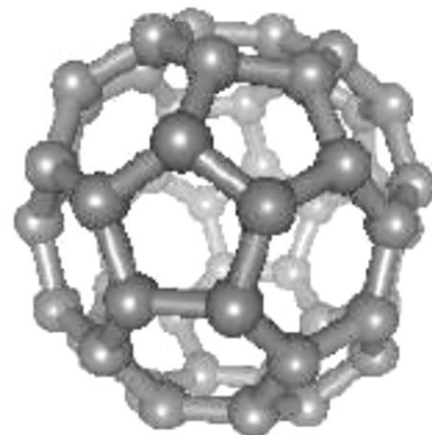
C_{46} [116]



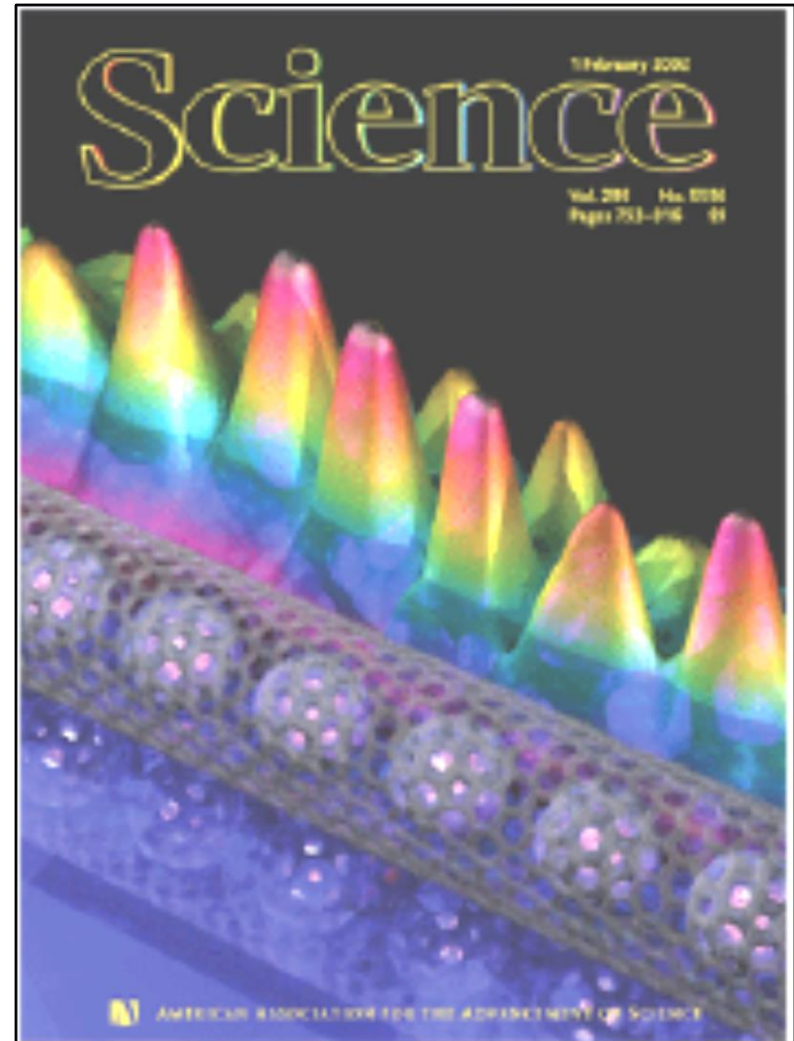
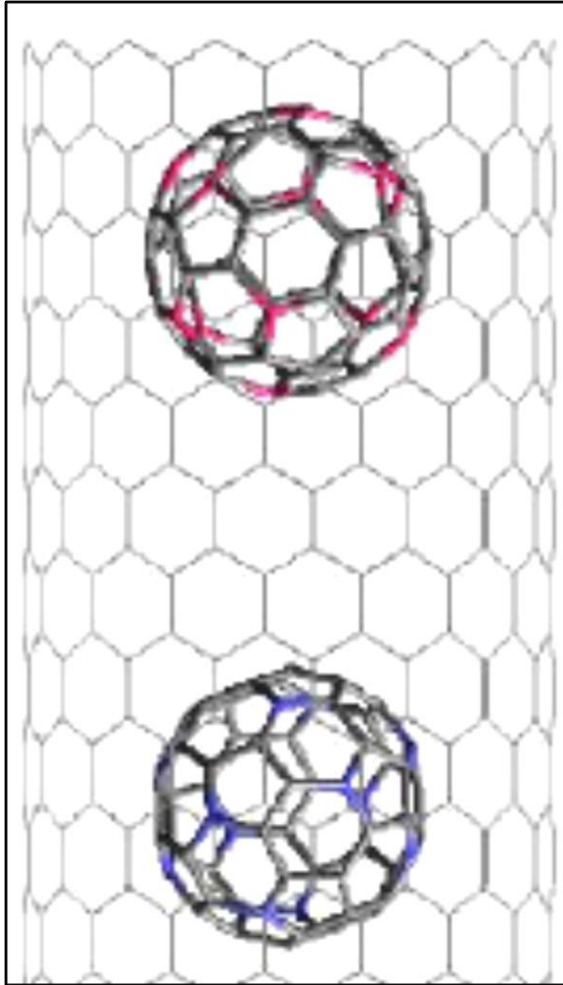
C_{48} [199]



C_{50} [271]



FULERENO + NANOTUBO DE CARBONO



RESULTADO



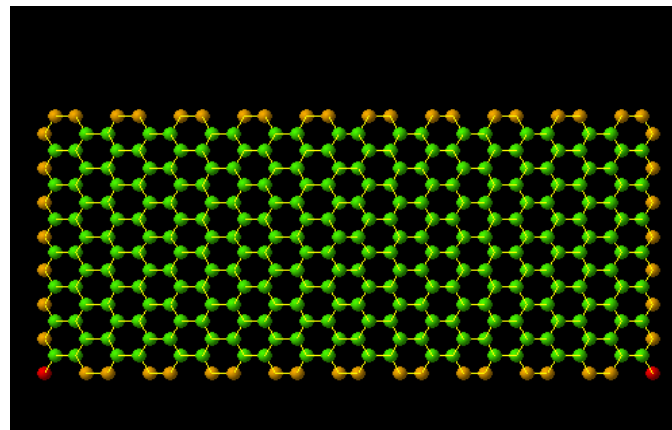
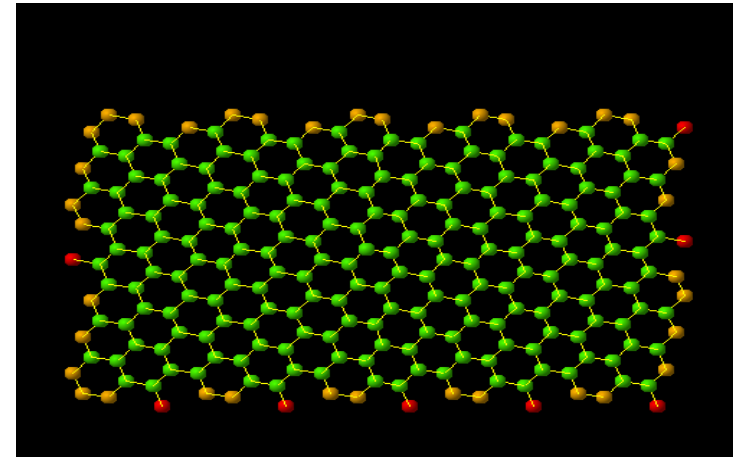
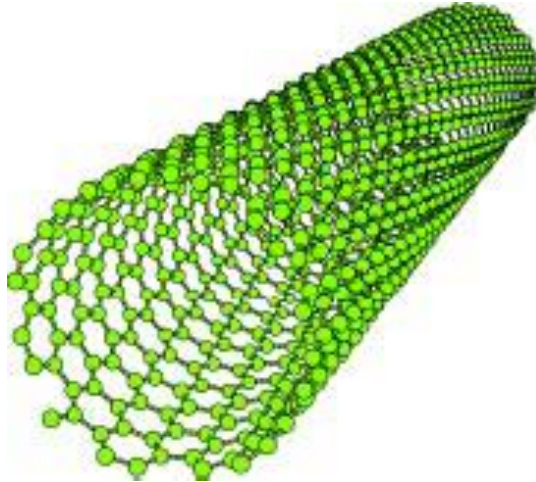
**POSSIBILITOU A SELEÇÃO DESSE MATERIAL:
APLICAÇÕES ISOLAÇÃO TÉRMICA NA
INDÚSTRIA DE O&G**



ESPECIAIS - GRAFENO

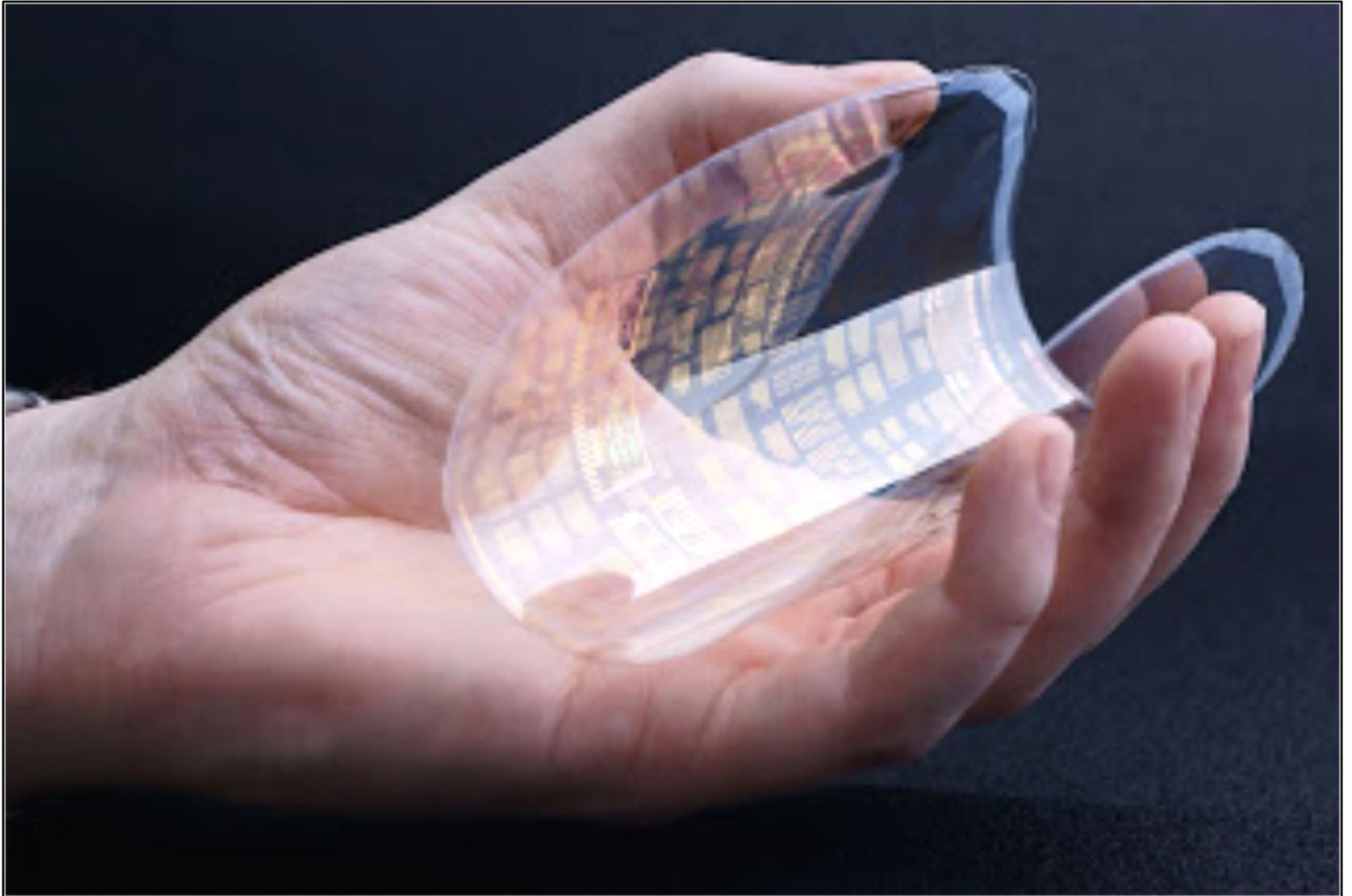
Descoberta dos Nanotubos de Carbono, 1991

1993, foi demonstrada a existência de nanotubos de única camada



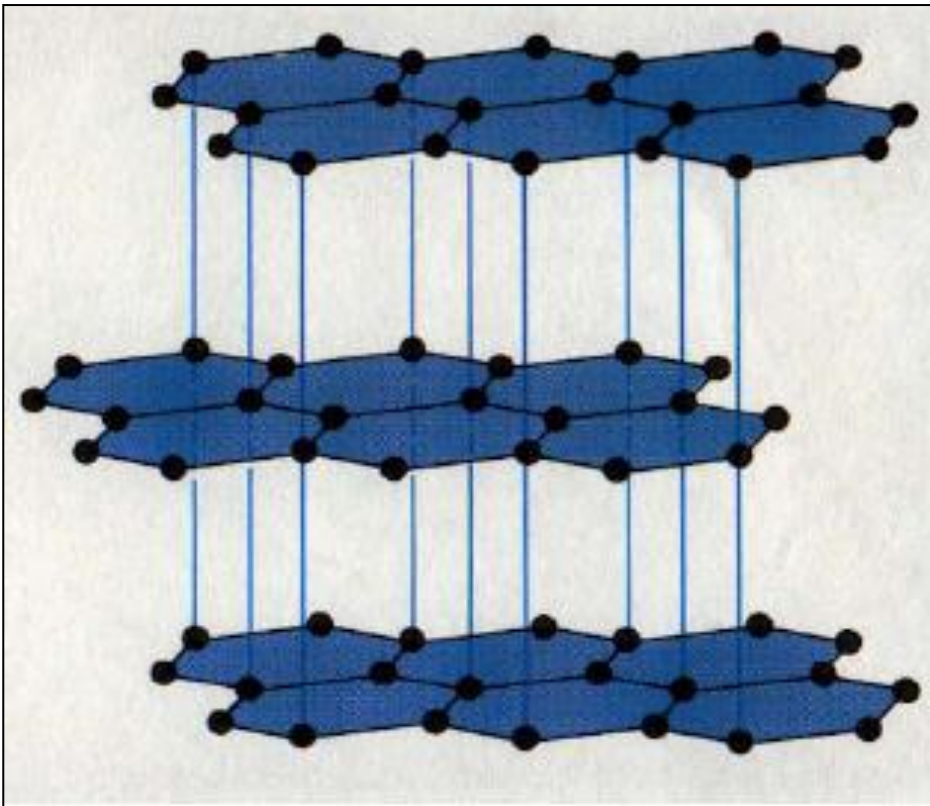
GRAFENO

ESPECIAIS – GRAFENO-MAIS UMA OPÇÃO NO ROL DE MATERIAIS COM PROPRIEDADES ESPECIAIS



ESPECIAIS - GRAFENO

Grafite



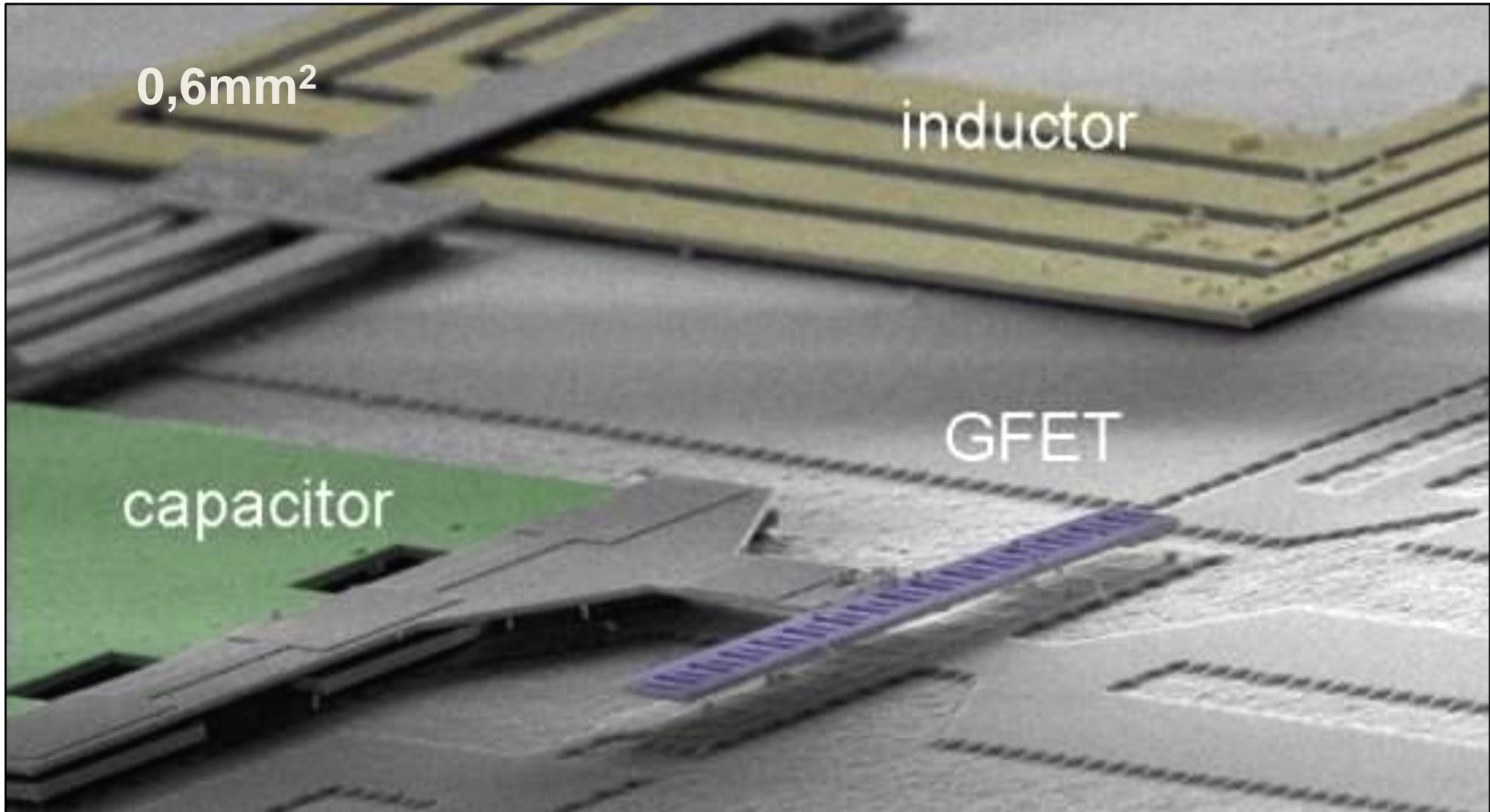
0,6mm²

inductor

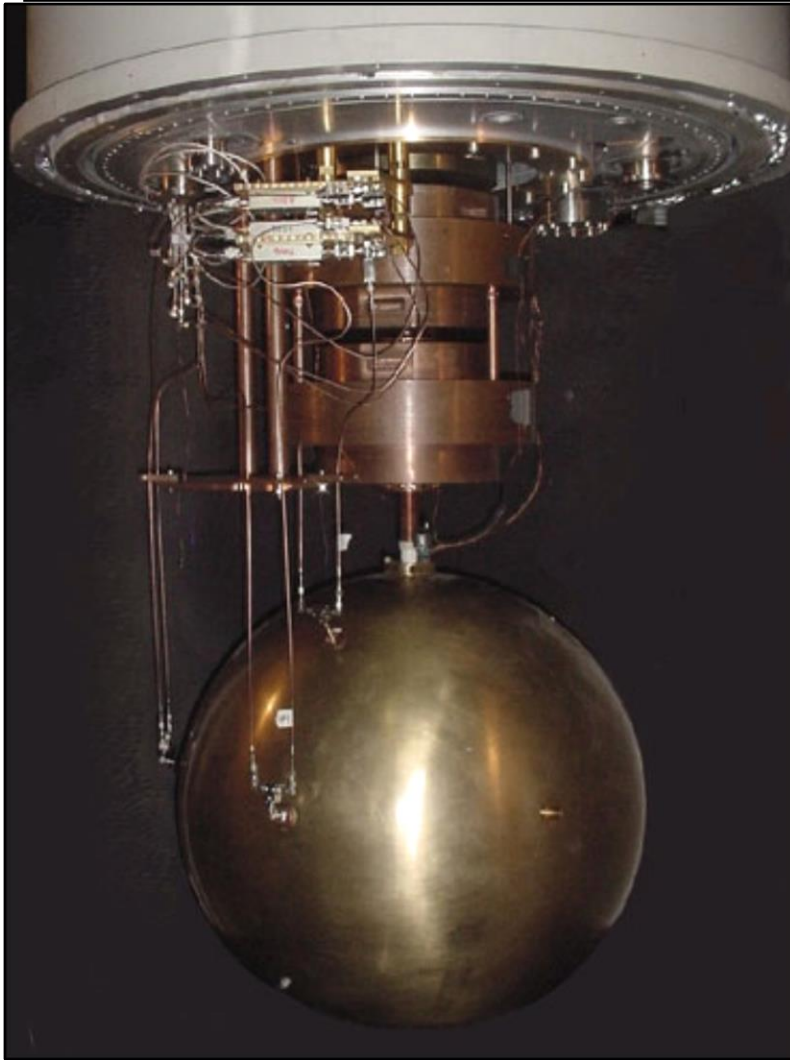
capacitor

GFET

TRANSISTOR DE GRAFENO-GFET



DETETOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS MARIO SHÖEMBERG



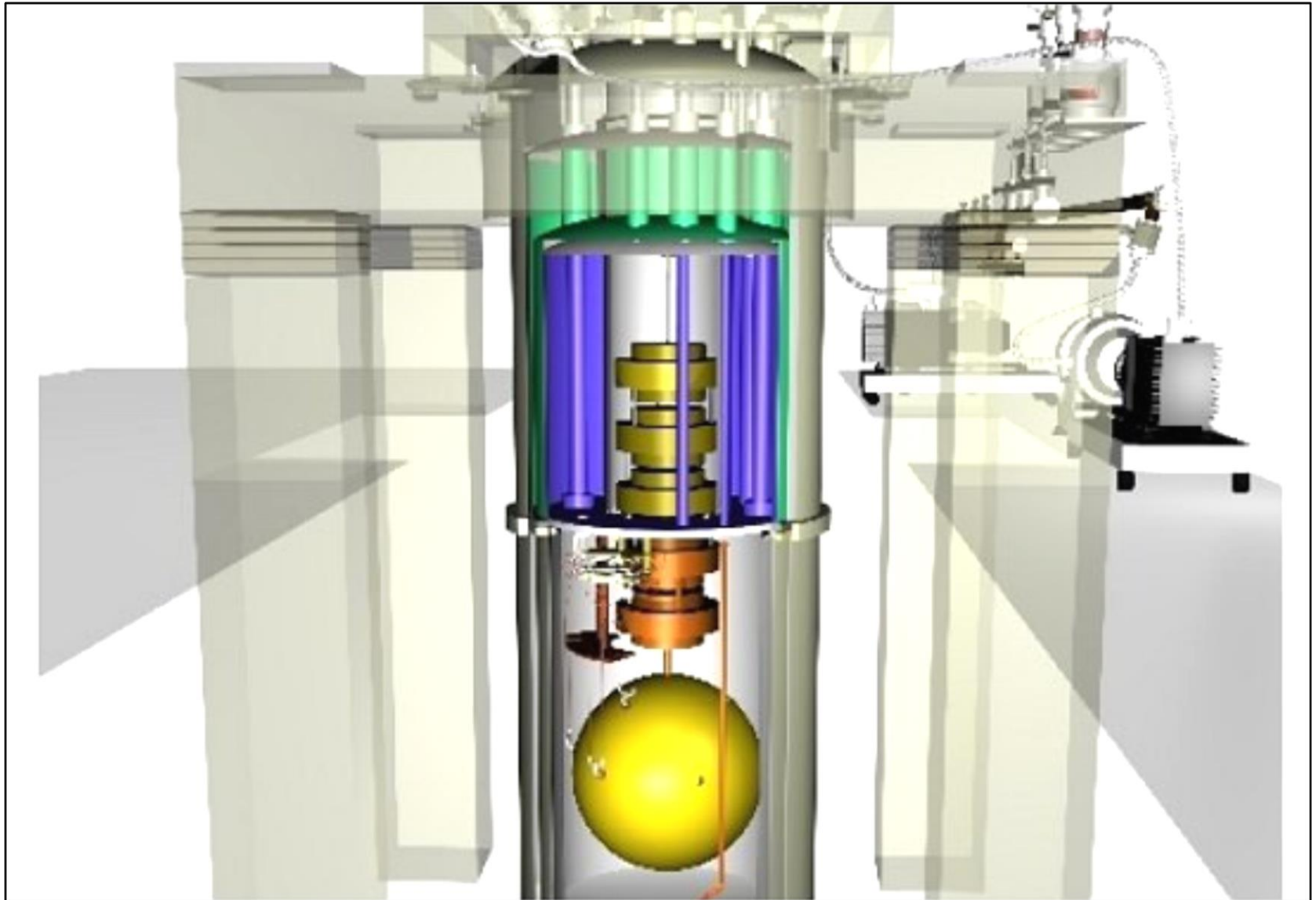
Uma esfera de CuAl(6%), com de diâmetro, cerca de 1150 mm



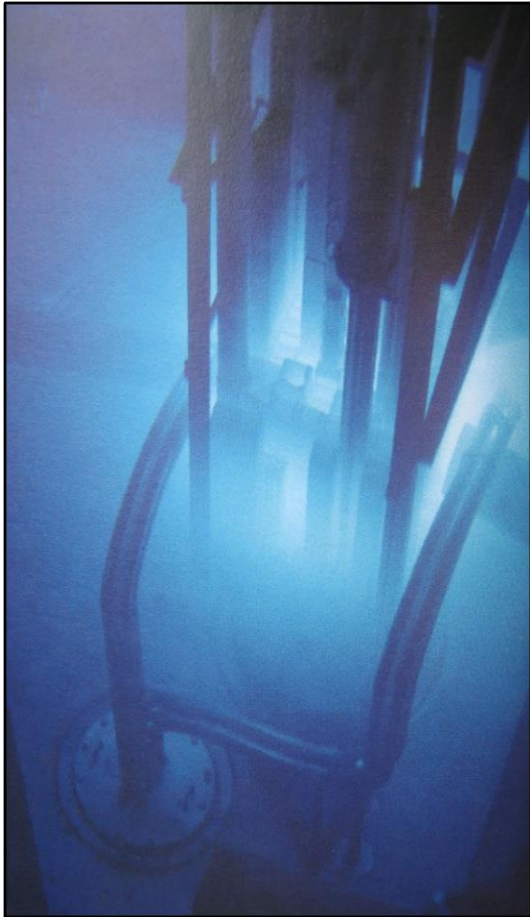
Seleção da liga e processo adequados

DETETOR DE ONDAS GRAVITACIONAIS MARIO SHÖEMBERG

Seleção de diversos materiais especiais com funções especiais



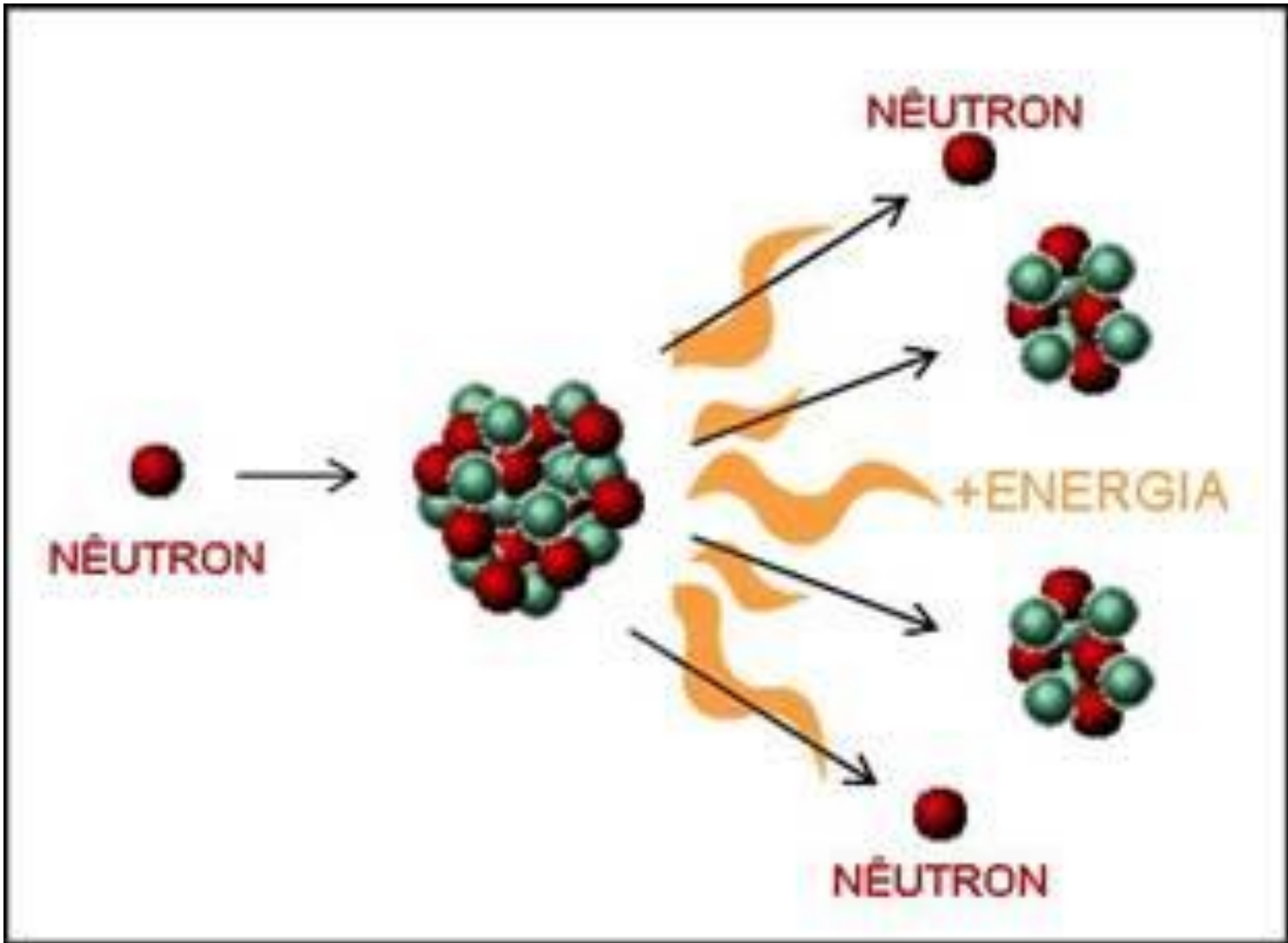
MATERIAIS PARA REATORES NUCLEARES



IPEN



**NUCLEO DO REATOR DE ANGRA
VARETAS DE ZIRCALOY 4**



NOVOS MATERIAIS - ligas ferrítico martensíticas endurecidas por dispersão de óxidos e denominadas ODS EUROFER para uso estrutural

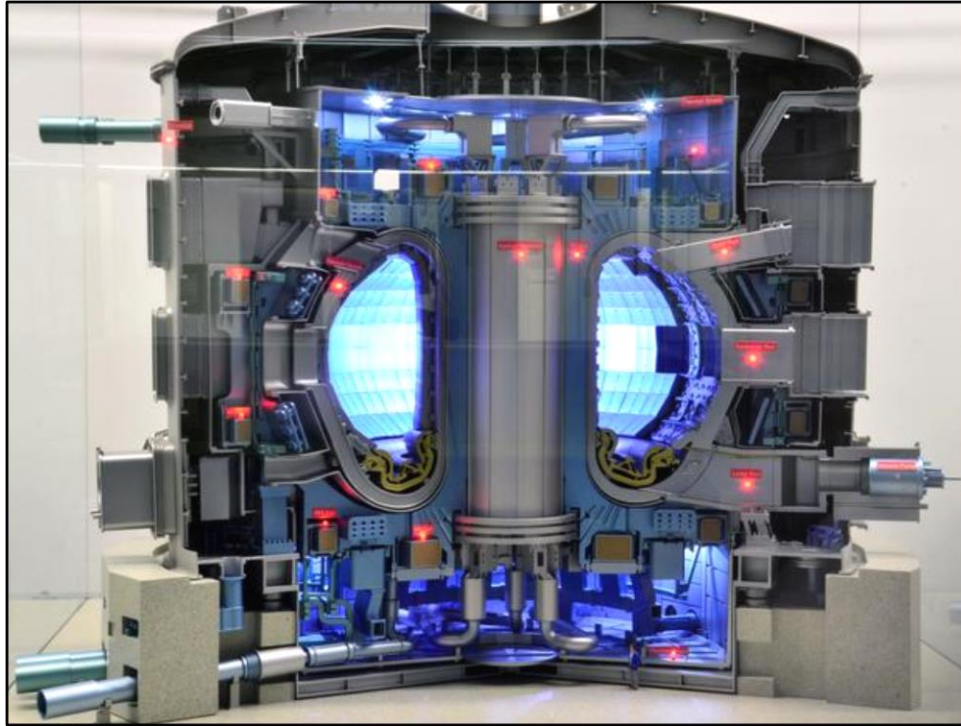


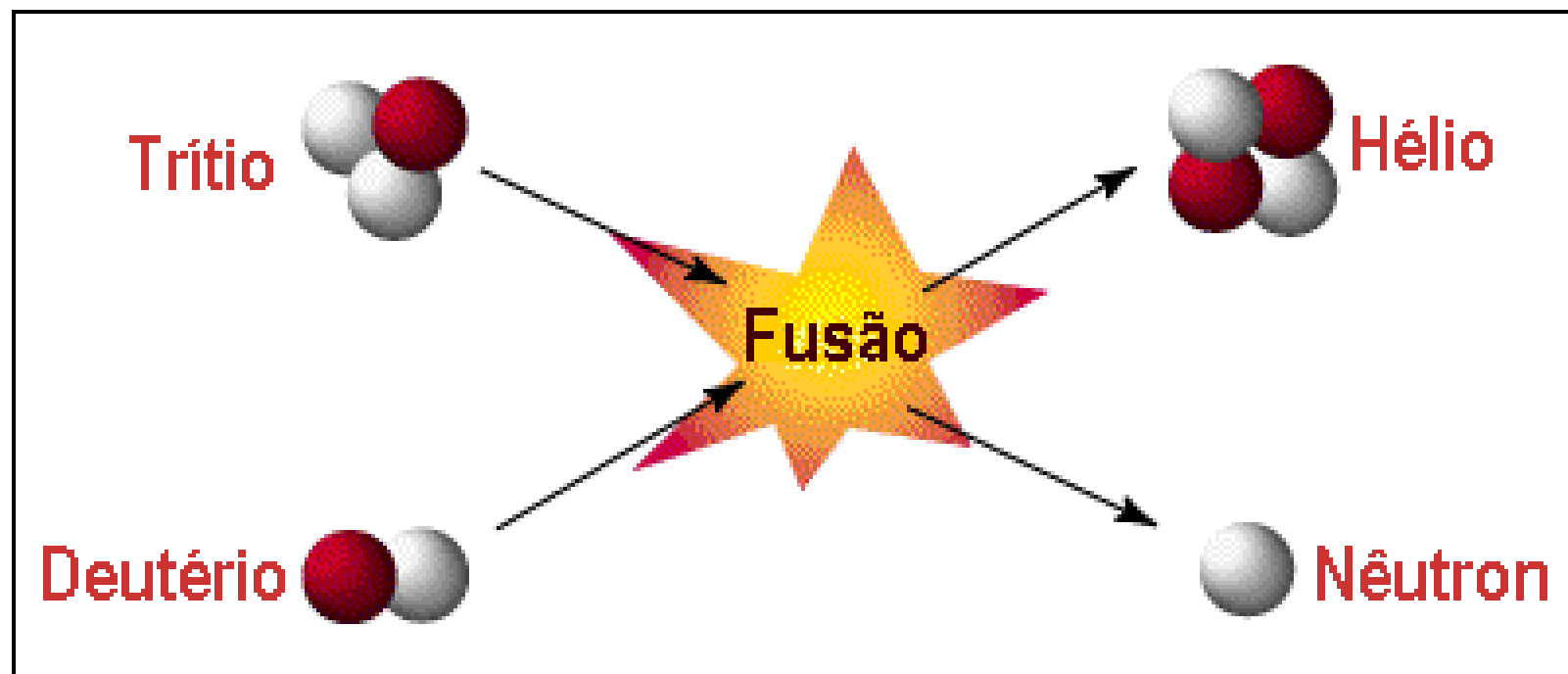
Figura 9 - Vista do interior de um Tokamak – o mais bem sucedido mecanismo para confinar plasma a altas temperaturas.

Materiais existentes não resistiram à seleção para propriedades especiais como resistência a danos por radiação/temperatura.



Temperatura superfície
central

5785 K
 1.5×10^7 K



Seleção de materiais para satélites



Seleção das ligas “*Shape Memory*” Ni-Ti para a propriedade de memória de forma por transformação martensítica, necessária à essa aplicação.



EXPERIMENTO

LIGAS “SHAPE MEMORY” Ni-Ti

Transformação de fase

<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/memory.movies.html>



A super-elasticidade leva à seleção desse material para outras aplicações como limas endodônticas



APLICAÇÃO – ASA ADAPTÁVEL

LIGAS “SHAPE MEMORY” Ni-Ti

Super-elasticidade

<http://www.smaterial.com/SMA/sma.html>

Materials para tubulações
(tubos, válvulas, conexões
e acessórios de tubulação)

Metais ferrosos

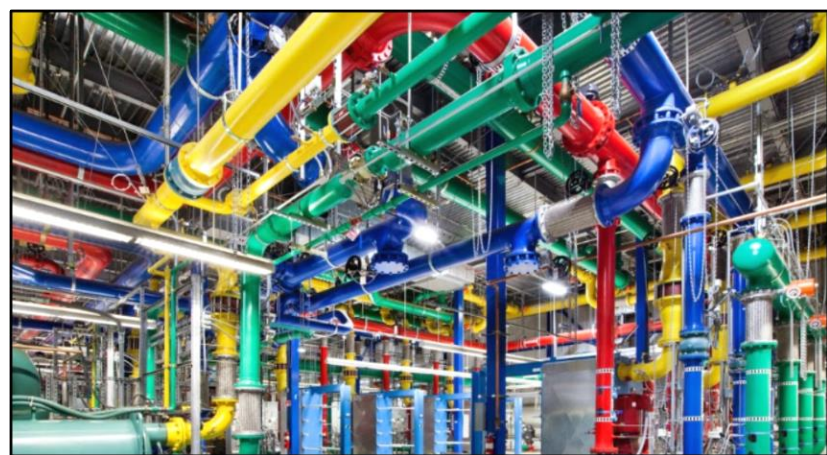
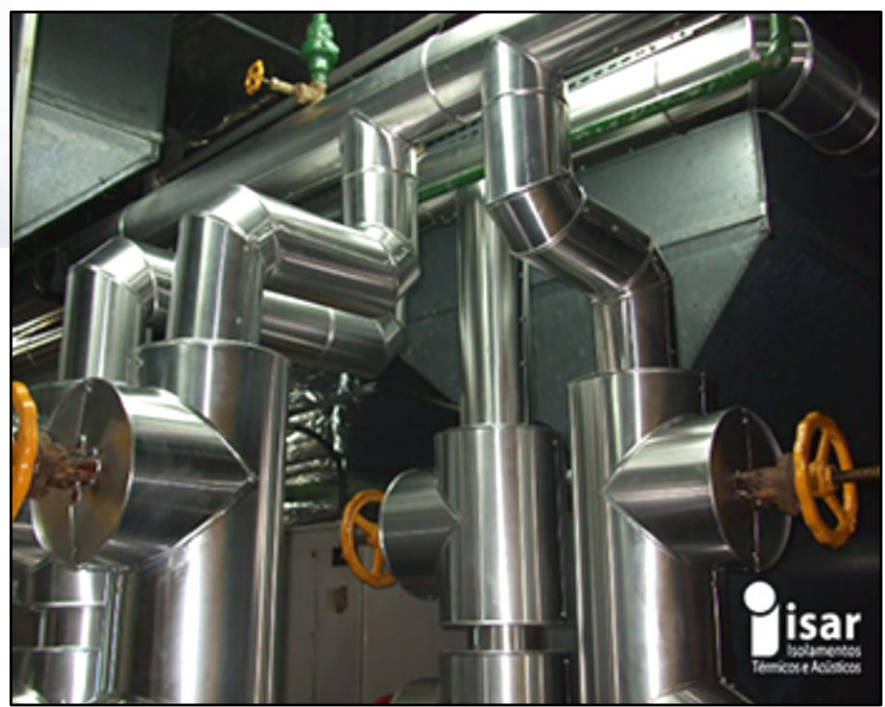
- Aços-carbono
- Aços-liga
- Aços inoxidáveis
- Ferros fundidos
- Ferro maleável
- Ferro forjado
- Ferros-ligados

Metais não-ferrosos

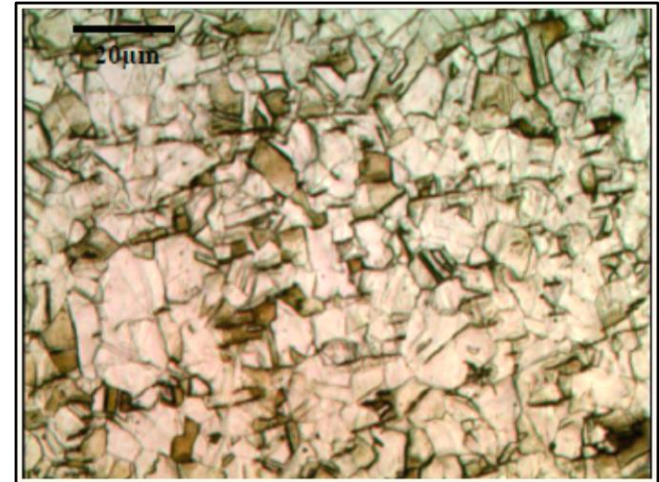
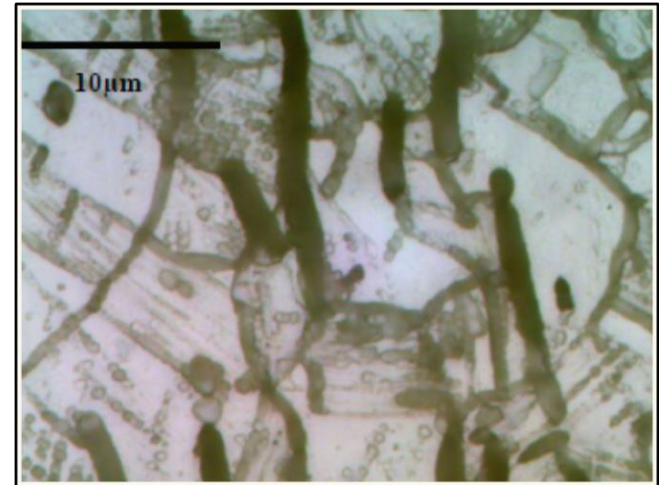
- Cobre e ligas
- Alumínio e ligas
- Chumbo e ligas
- Níquel e ligas
- Titânio, zircônio e ligas

Materials não-metálicos

- Materials plásticos
- Concreto armado
- Cimento-amianto
- Barro vidrado
- Vidro, cerâmica
- Borrachas



SELEÇÃO DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO 316L - FILTROS DE ÁGUA DO MAR –NAVIOS-PLATAFORMA



MARCOMINI, J.B. & DEL REY, V.-TRABALHO SOBRE EFEITO DA
CONFORMAÇÃO A FRIO NA SENSITIZAÇÃO- SELEÇÃO DO MELHOR
PROCESSO

**REVESTIMENTO
DE CILINDRO
POR SOLDAGEM,
COM LIGA
ESPECIAL.**

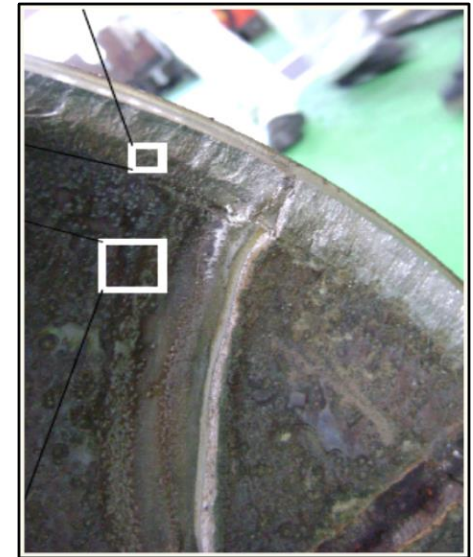


**MATERIAL BASE
AÇO AISI 4340**



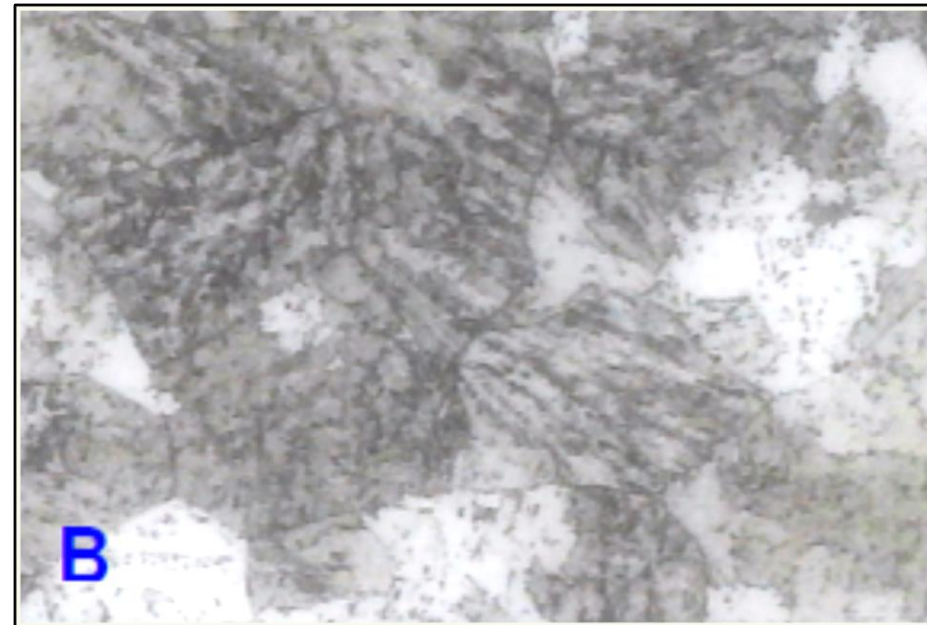
**MARCOMINI, J.B.
ANÁLISE DE FALHAS**

MELTING
LINE



**CILINDRO
“CASTER” PARA
ALUMÍNIO.**

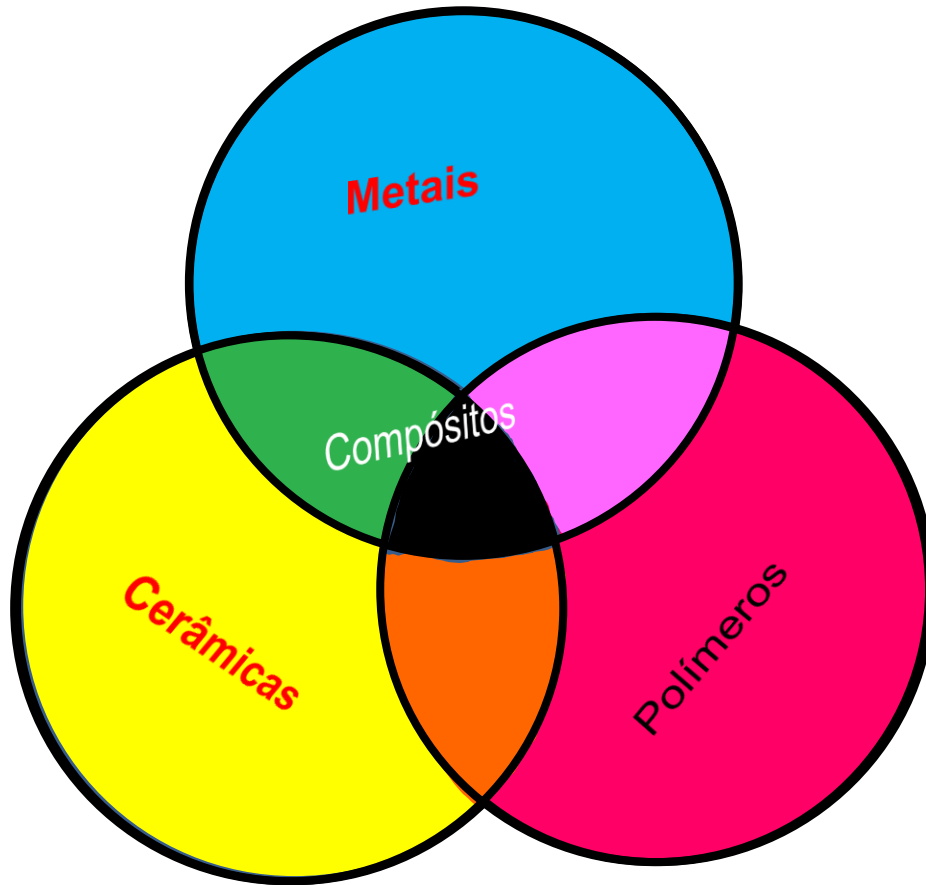
**PARA CADA CAMADA/PROPRIEDADE FOI SELECIONADO UMA
COMPOSIÇÃO**



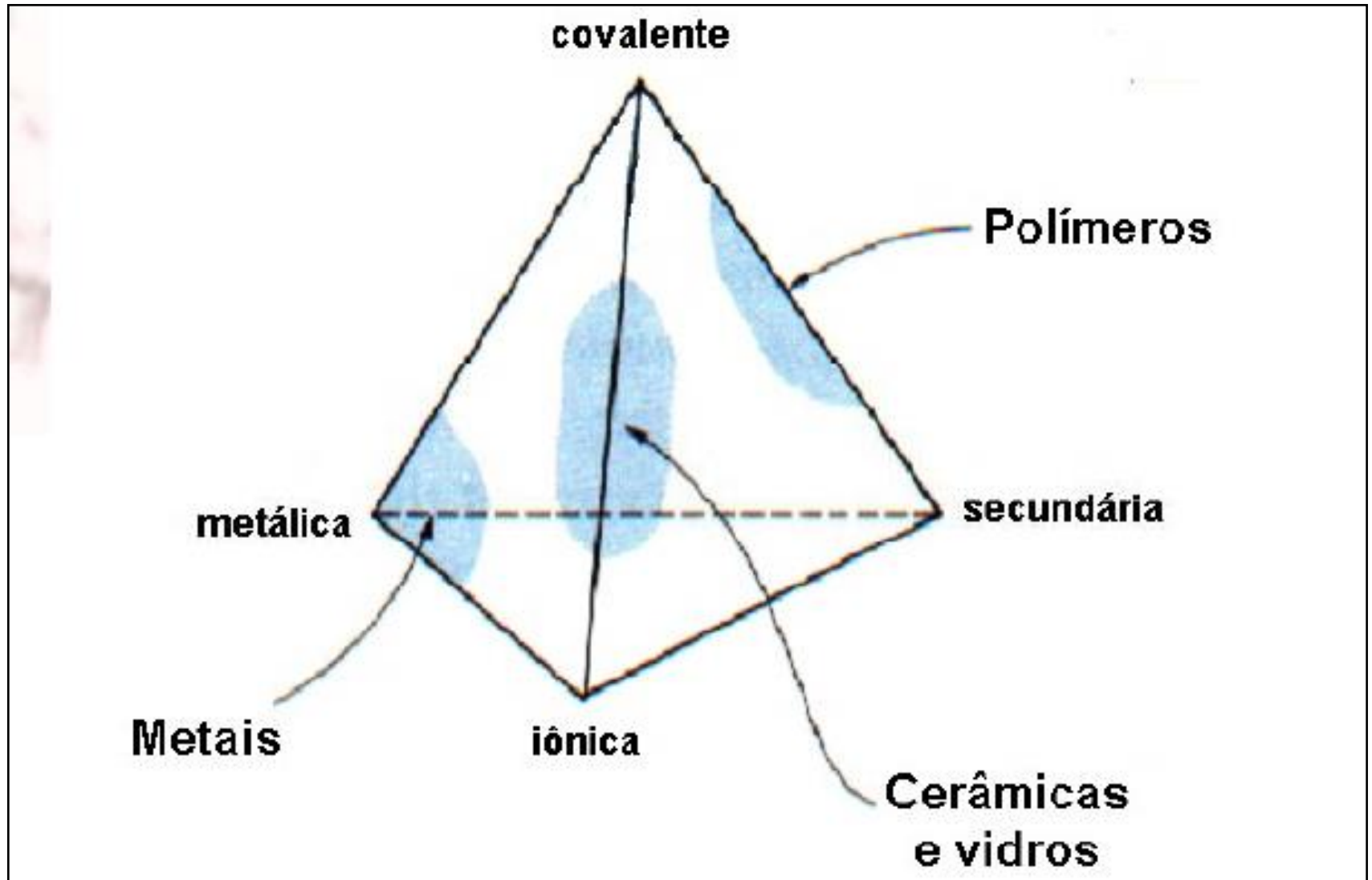
**CURVAS DE EQUIPAMENTO
PETROQUÍMICO, FABRICADA COM
AÇO ASTM A 387 GR.11, CL.2-
1,25Cr-0,5Mo.**

**MARCOMINI, J.B.- ANÁLISE DE
FALHAS**

Classificação dos Materiais



Classificação dos Materiais-Ligação Química-1^a classificação



Conclusões

- A **quantidade** de materiais de engenharia é **muito grande**, portanto, o **conhecimento** de ciência dos materiais e de suas especificidades (metalurgia física, física de polímeros, cerâmica física) é **importante** para a seleção;
- A seleção de um material é **mais complexa** e sem um **procedimento sistemático**, o engenheiro pode ser tentado a escolher um material “tradicional” para a aplicação;
- A escolha de **materiais conhecidos** é **conservadora**, mas dependendo do caso é a melhor escolha e muitas vezes é a realidade das empresas;
- É muito importante na fase inicial do projeto, examinar o menu completo de materiais, não rejeitar opções meramente pelo fato de não estar familiarizado.