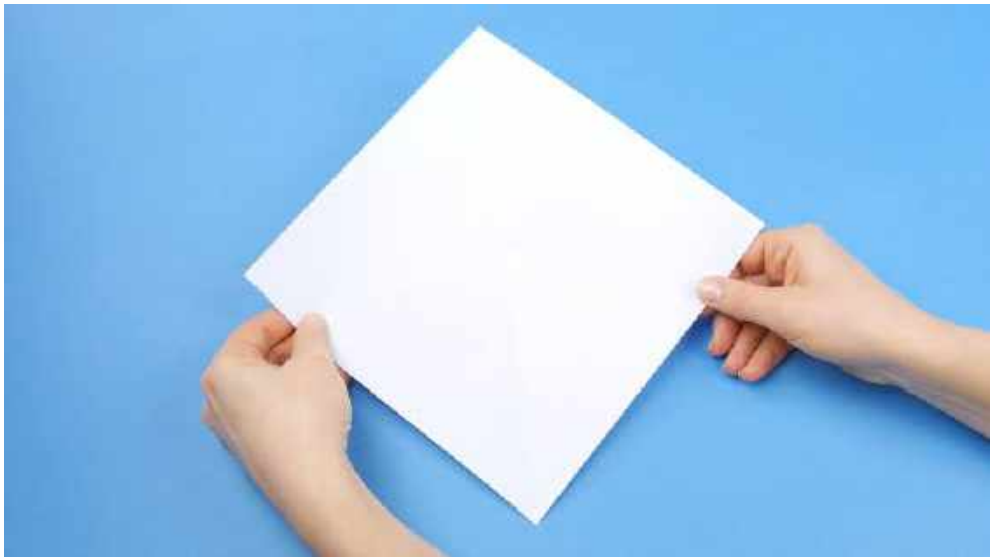
Grafeno: a física na ponta de um lápis?

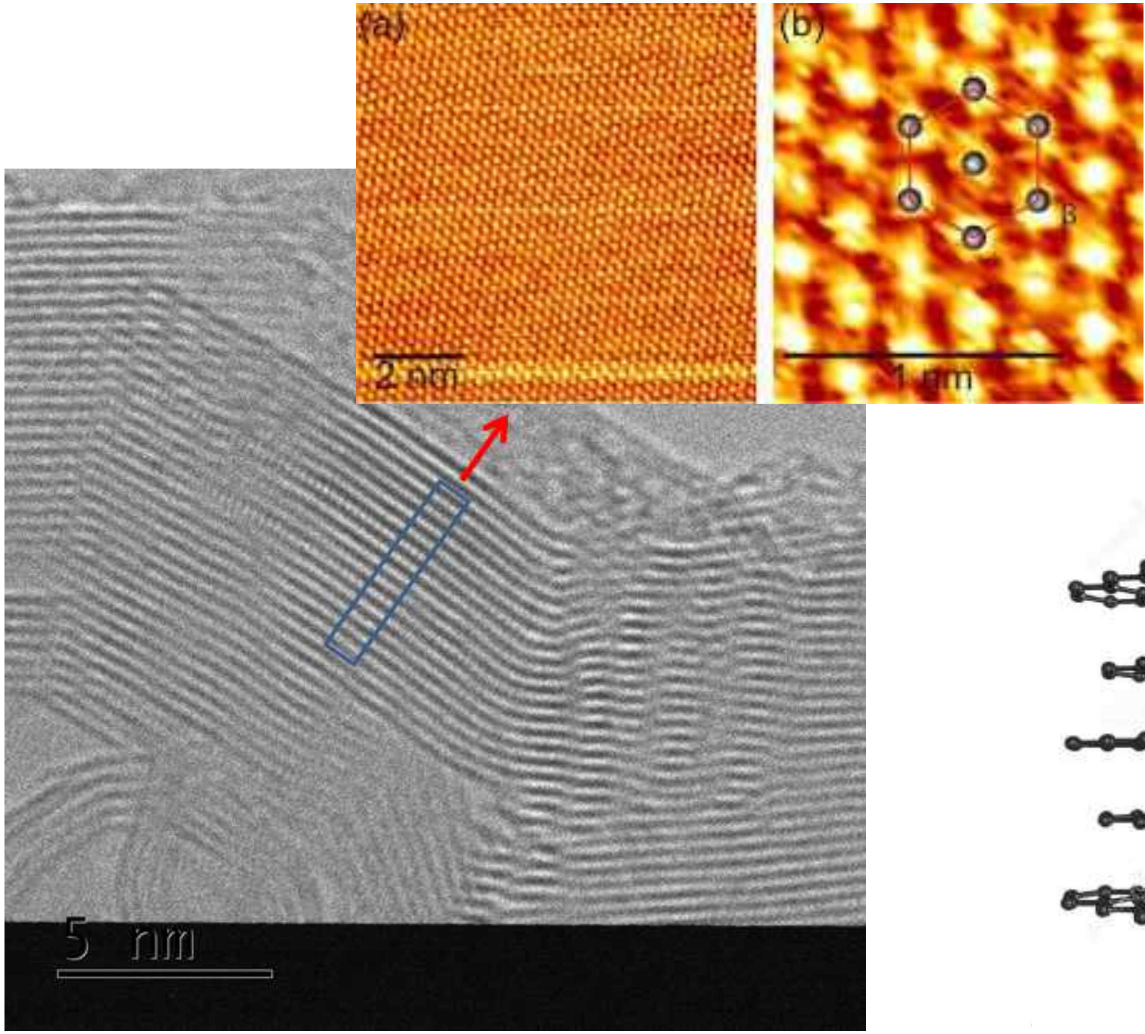
Marcos A. Pimenta

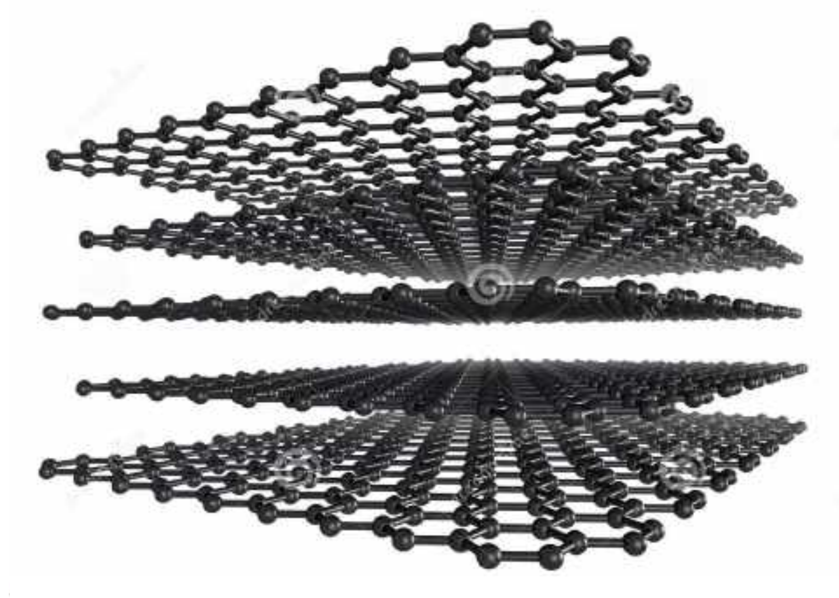
Departamento de Física, UFMG

O **grafeno** é uma folha de **grafite** de espessura atômica

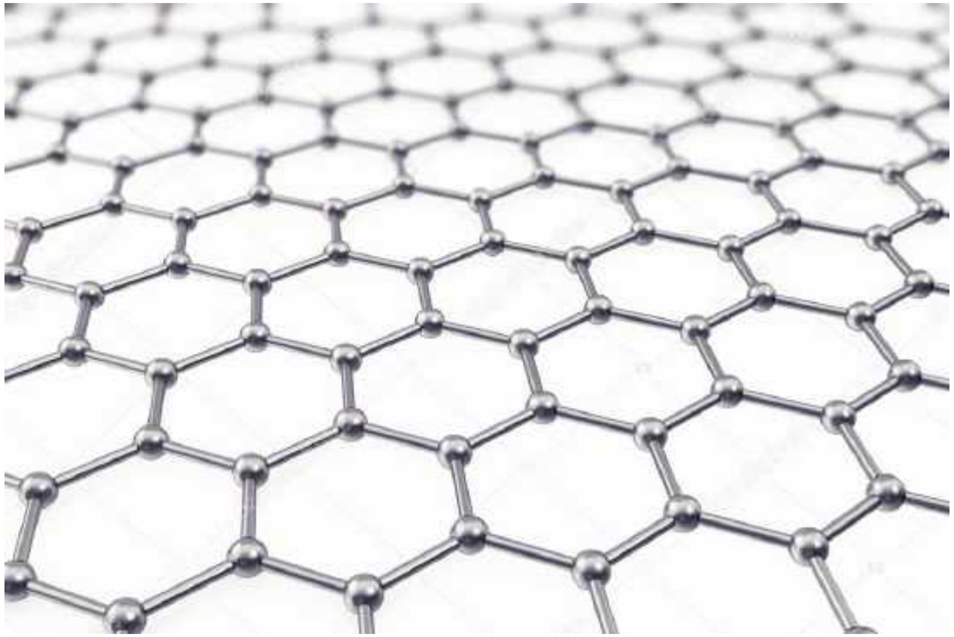


O **Grafite** é formado por camadas de **átomos de carbono** dispostos numa estrutura hexagonal





O grafeno é uma única camada atômica formada por átomos de carbono



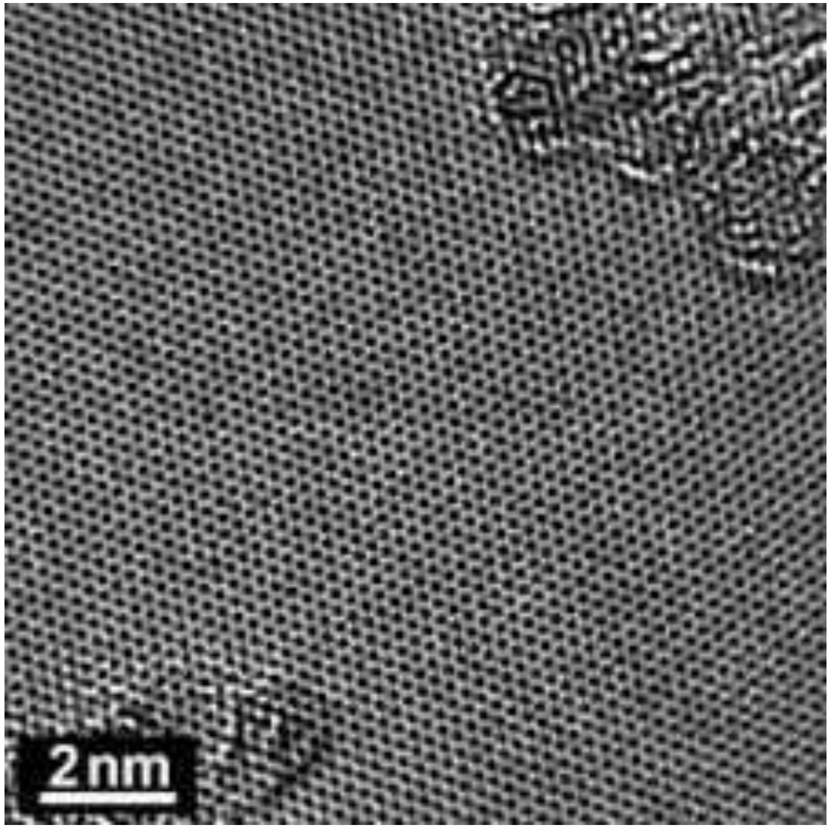
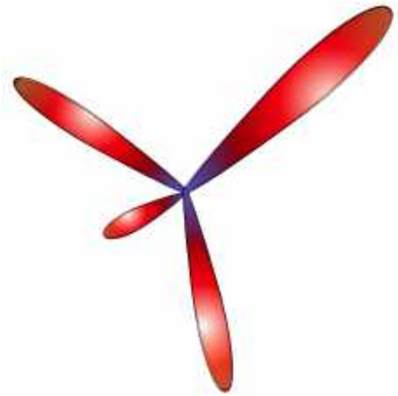


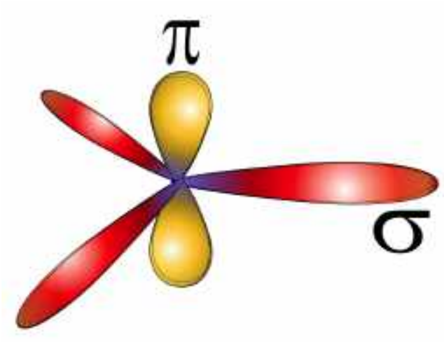
Imagem de microscopia
eletrônica de alta resolução

Carbono – 6 elétrons - $1s^2$, $2s^2$, $2p^2$

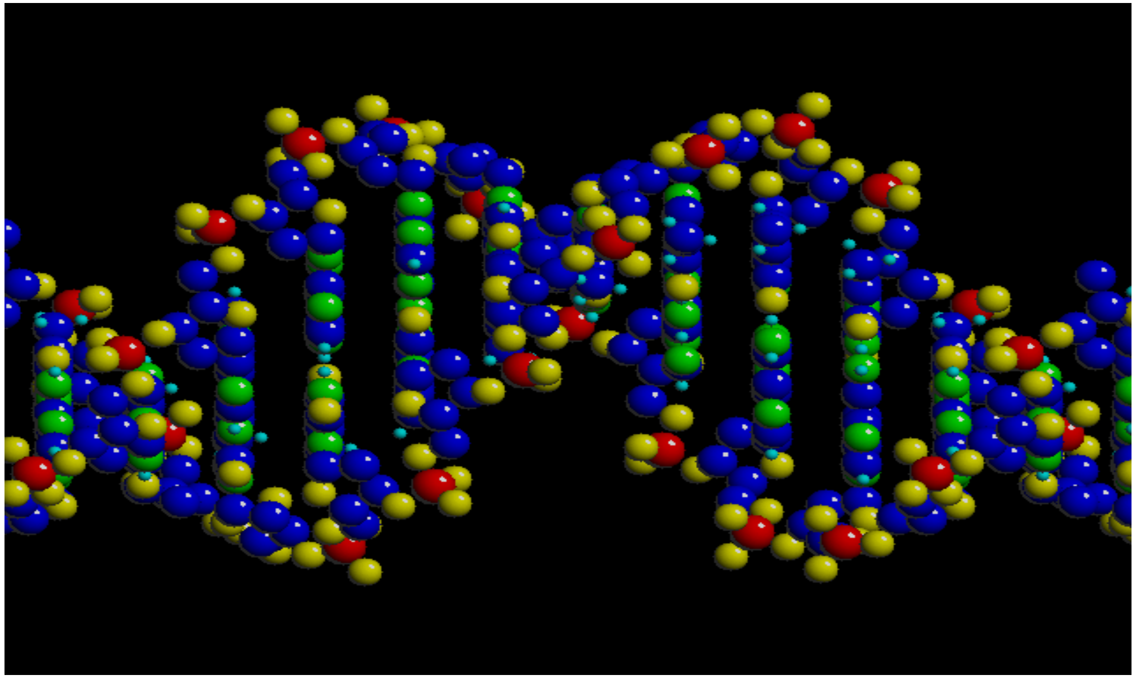
sp^3



sp^2



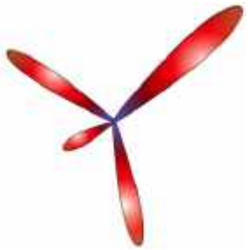
sp

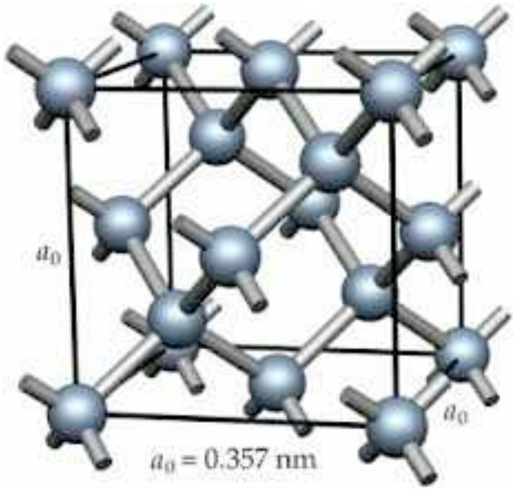


Materiais de carbono

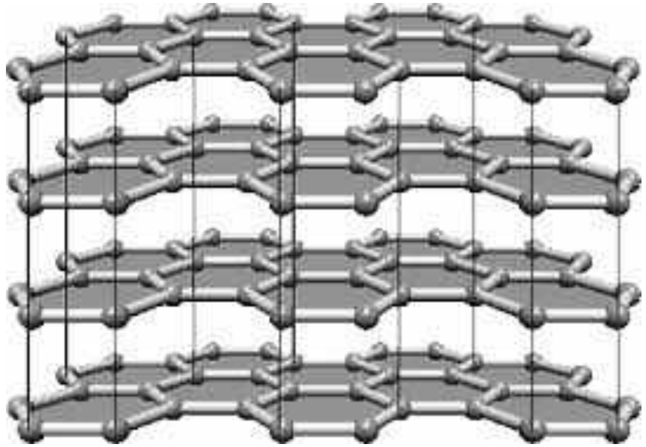
Diamante

sp^3

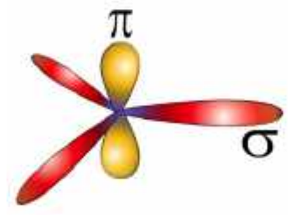




Grafite



sp^2

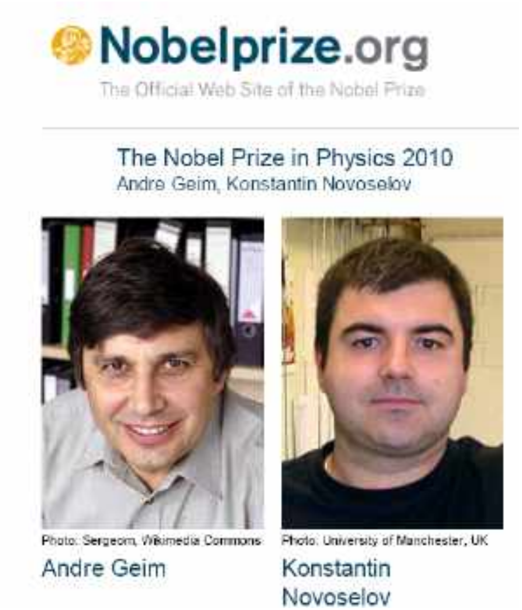


Mecânicas: o grafite é o material mais rígido e o diamante é o mais duro.

Térmicas: o diamante e o grafite têm a maior condutividade térmica, e apresentam o mais alto ponto de fusão.

Elétricas: o diamante é isolante e o grafite é condutor de eletricidade

O grafeno

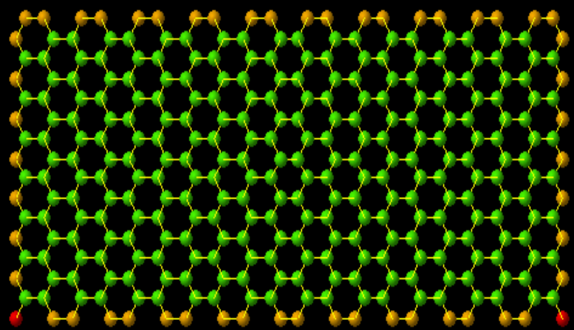

Nobelprize.org
The Official Web Site of the Nobel Prize
The Nobel Prize in Physics 2010
Andre Geim, Konstantin Novoselov
Photo: Sergeom, Wikimedia Commons
Andre Geim
Photo: University of Manchester, UK
Konstantin Novoselov

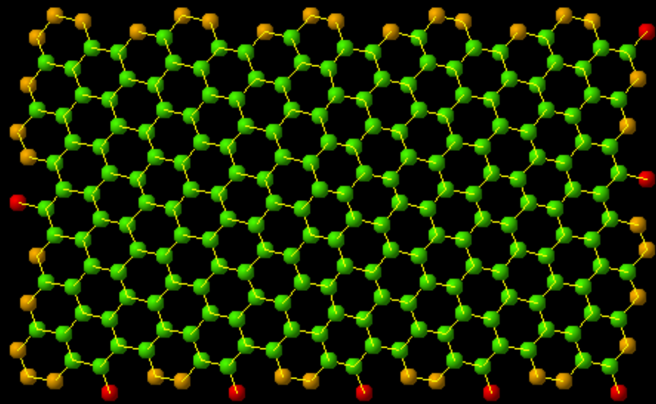

Grafeno

Nanotubo de Carbono

Sumio Iijima, *Nature*, 354, 56 (1991)

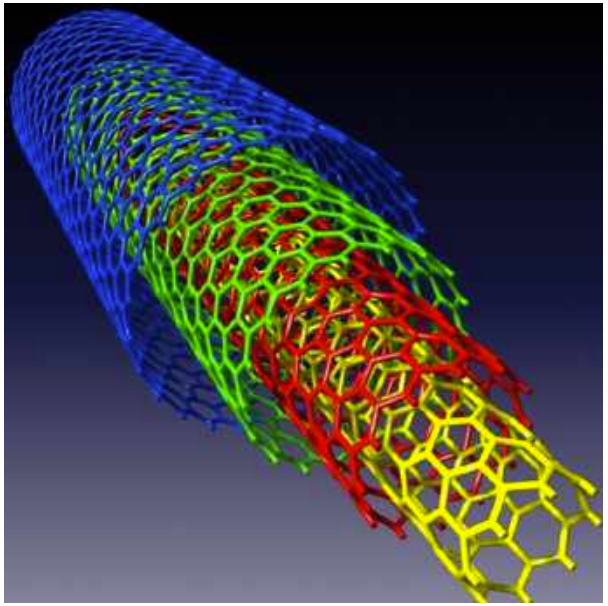
Grafeno enrolado na forma de um cilindro com diâmetro médio de 1 nm.

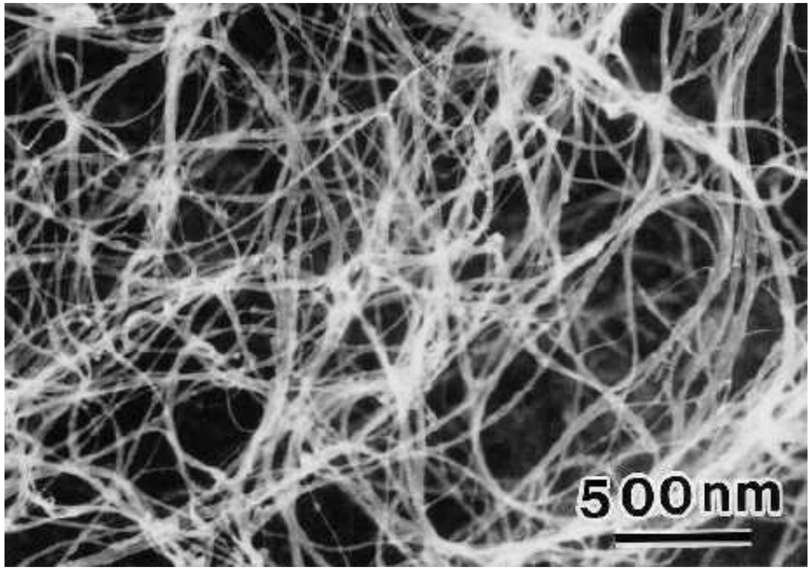


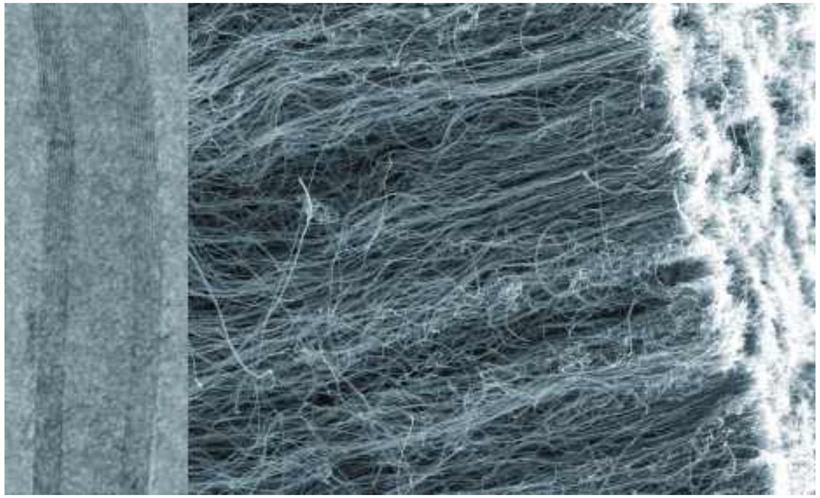


Os nanotubos podem ser metálicos ou semicondutores dependendo unicamente de como a folha de grafeno é enrolada.

Nanotubos de carbono (nanotubos de grafeno)





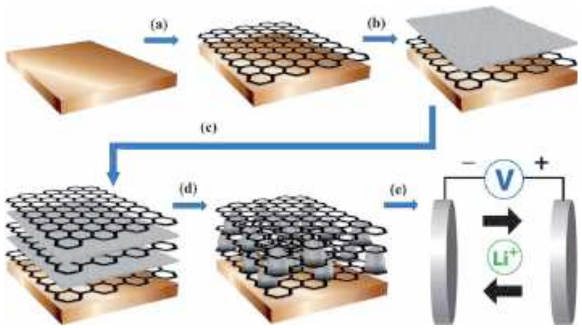


O grafeno é um material bi-dimensional

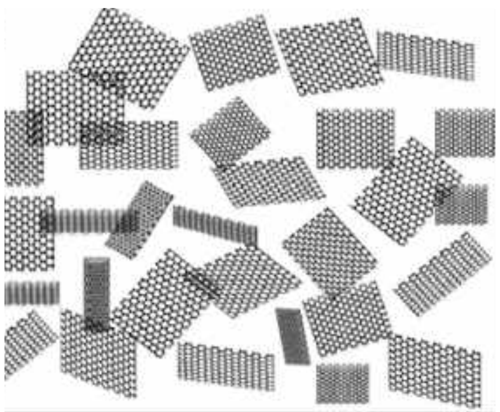
- Não tem volume
- Todos os átomos estão na superfície

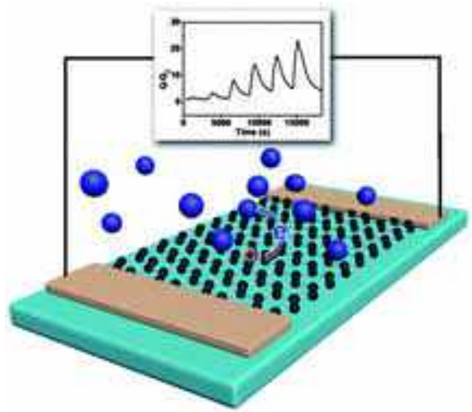
1 g de grafeno tem a área de 1300 m^2

- Misturas muito homogêneas
- Armanenamento de gases e cargas
- Sensores de gases, químicos e biológicos



Anodos de bateria de ion Li





Sensor de gases

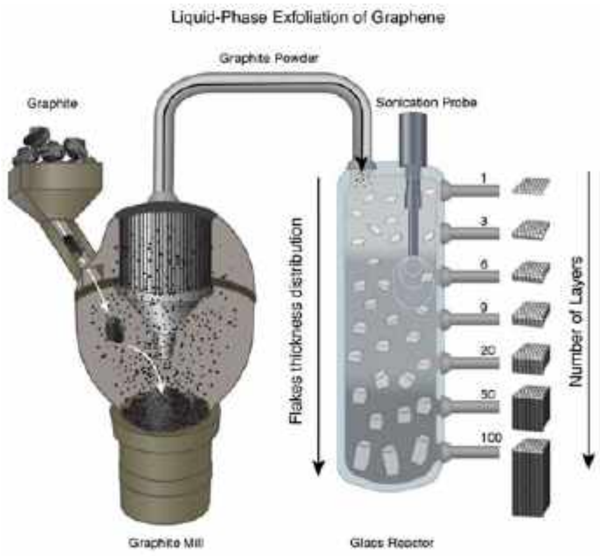
Grafeno: fatos e mitos

MATERIALS SCIENCE

502 | NATURE | VOL 562 | 25 OCTOBER 2018

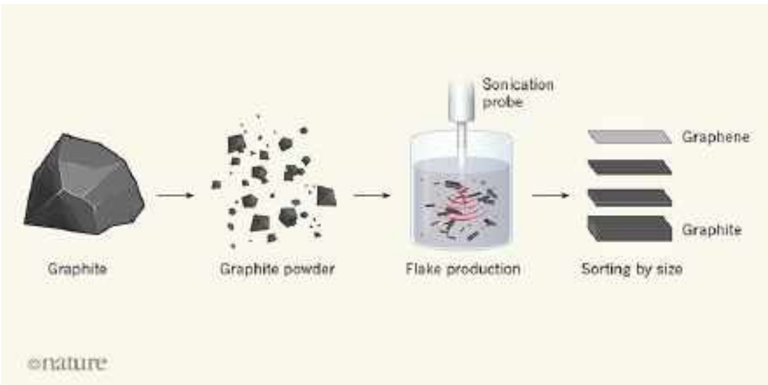
The war on fake graphene

The material graphene has a vast number of potential applications — but a survey of commercially available graphene samples reveals that research could be undermined by the poor quality of the available material.



Solution in fight against fake graphene

Date:
November 13, 2018
Source:
National University of Singapore
Summary:
A new study has uncovered a major problem - a lack of graphene production standards has led to many cases of poor quality products from suppliers. Such practices can impede the progress of research that depend fundamentally on the use of high-quality graphene.



Nanoscienc

ANNIC 2019: 5th e

Oct 09, 2018

Beware the fake graphene

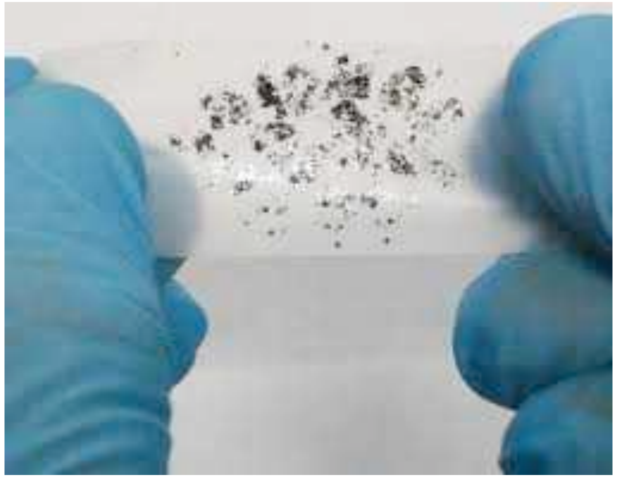
(*Nanowerk Spotlight*) Peter Bøggild over at DTU just published an interesting opinion piece in *Nature* titled "The war on fake graphene".

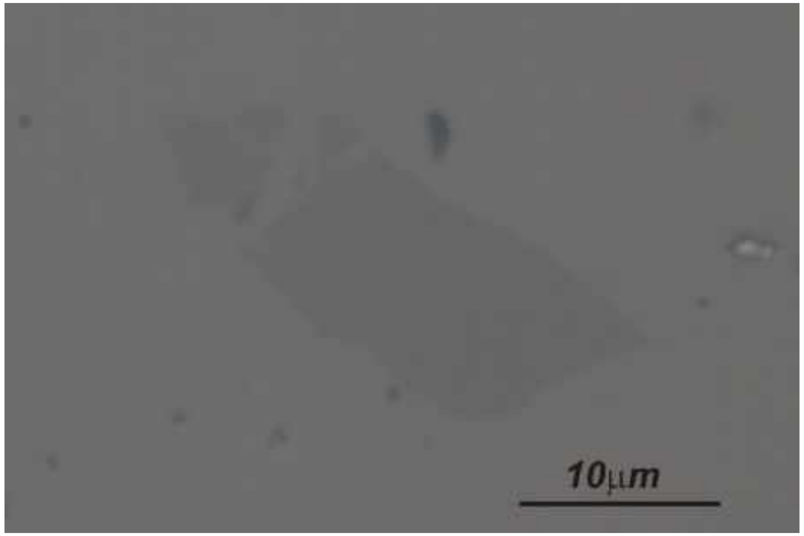
The piece refers to a paper published in *Advanced Materials* ("The Worldwide Graphene Flake Production") that studied graphene purchased from 60 producers around the world.

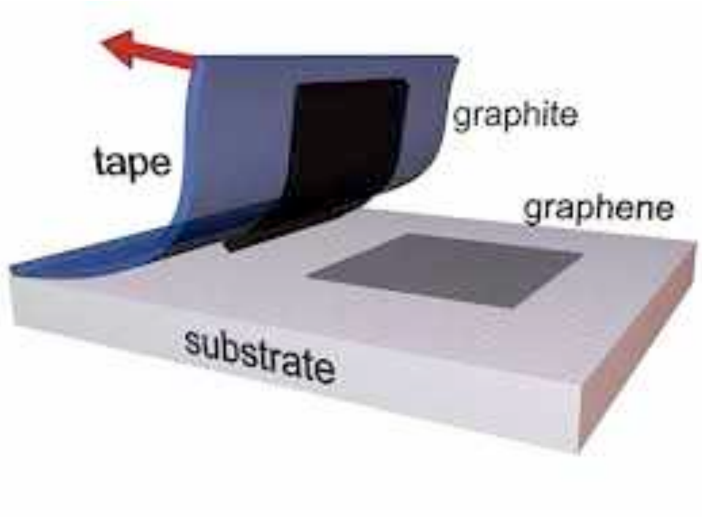
Como produzir o grafeno?

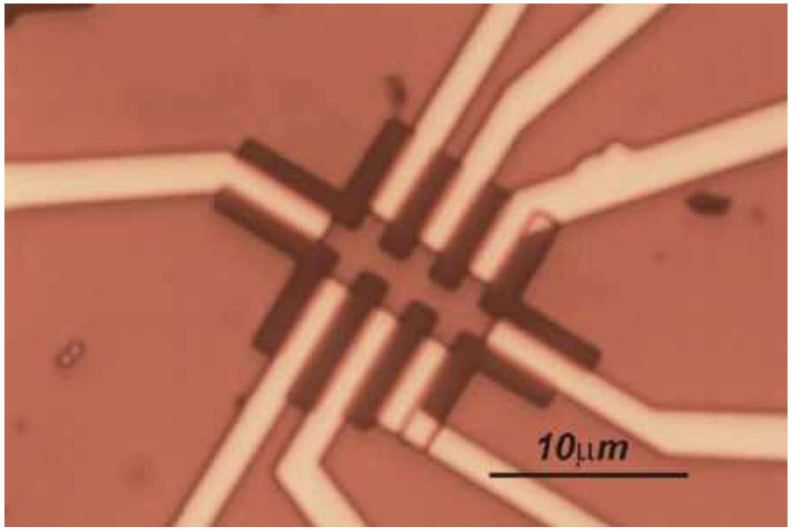
Grafeno: esfoliação mecânica de grafite

Novoselov e Geim, 2004

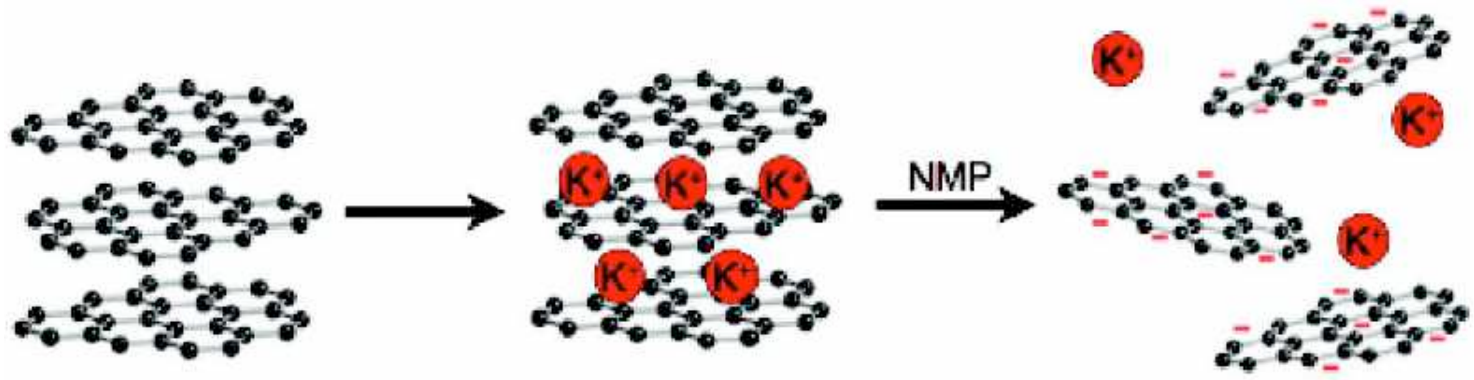




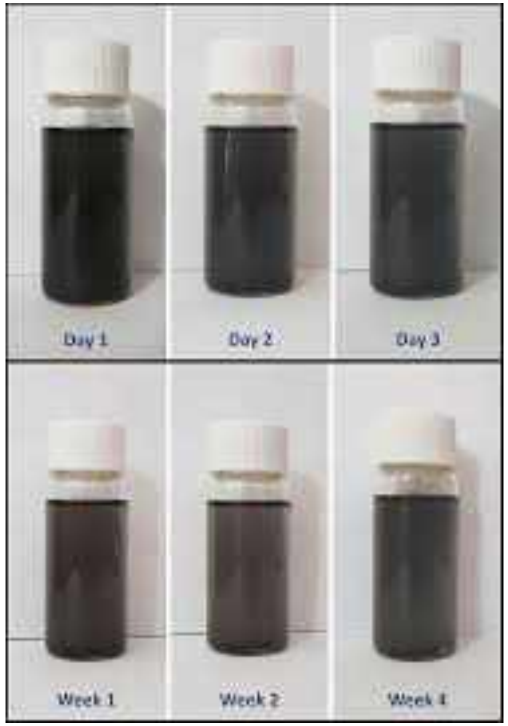




Grafeno: esfoliação química de grafite

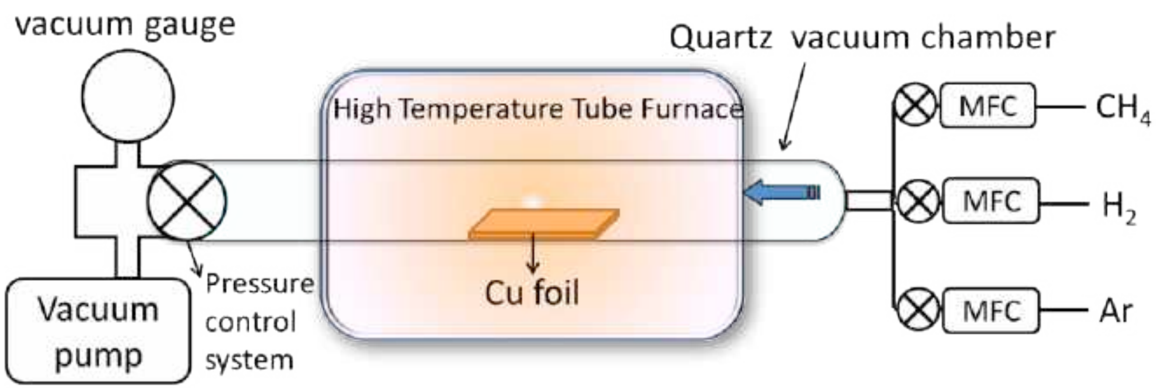


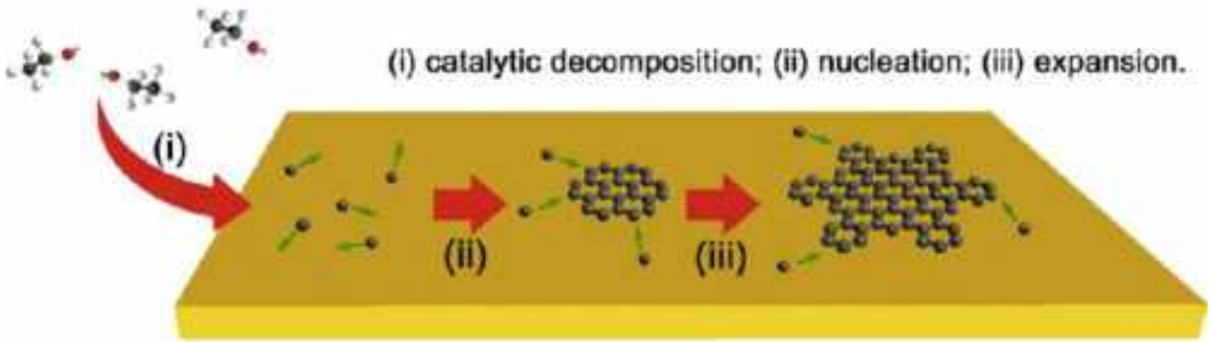
Esfoliação química



Tensão de cisalhamento

Produção de grafeno por deposição química da fase vapor (CVD)





Produção de nanotubos de carbono na UFMG

2000

Prof. Luiz Orlando Ladeira
Produção de nanotubos por arco elétrico.

2003

Produção de nanotubos por CVD.

2017

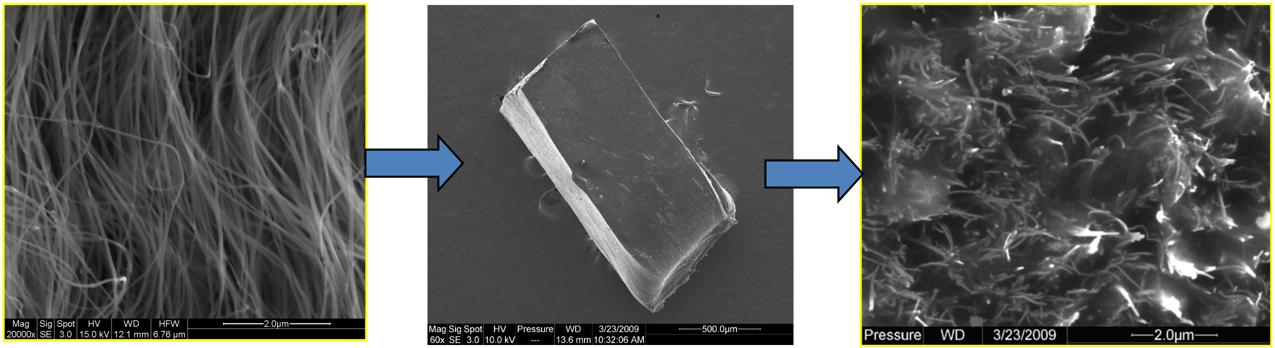
CTNANO UFMG
CENTRO DE TECNOLOGIA EM NANOMATERIAIS E GRAFENO

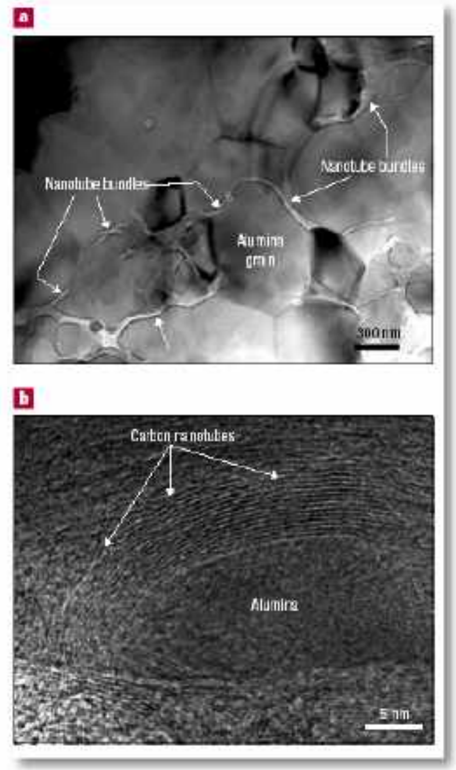
Para que serve o grafeno?

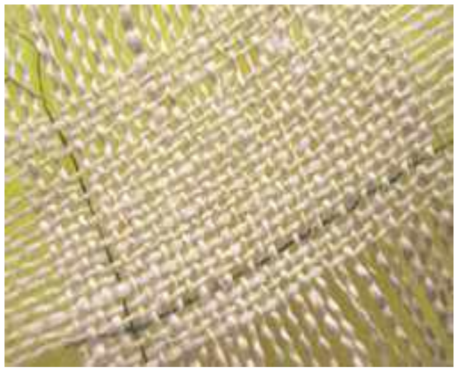
Aplicações

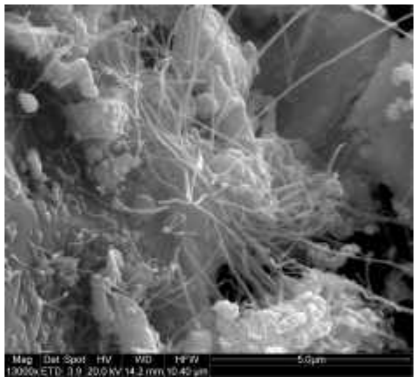
- **Eletrônicas**: Alta mobilidade eletrônica, baixo ruido, frequências de 100 GHz, sensores, eletrônica analógica
- **Ópticas**: filmes condutores transparentes, absorvedores saturaveis
- **Mecânicas**: materiais compósitos rígidos e resistentes, NEMS sensores de pressão
- **Térmicas**: aumento da condutividade térmica de materiais compósitos
- **Energia**: supercapacitores, baterias

Nanocompósitos: mistura de grafeno ou nanotubos com materiais convencionais (polímeros, cerâmicas, etc.) propriedades mecânicas, térmicas, eletricas, etc.







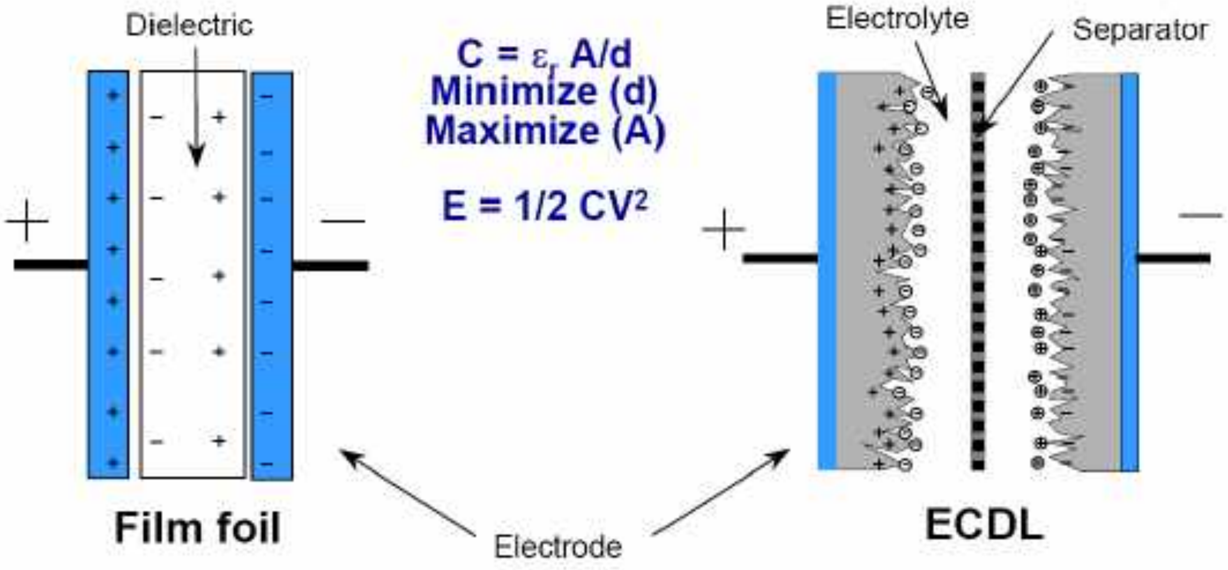


	Aço	Grafeno
E(GPa)	200	1000
T(GPa)	0.4	130

Grafeno em super e ultra capacitores

Ultracapacitors are:

- A 100-year-old technology, enhanced by modern materials
- Based on polarization of an electrolyte, high surface area electrodes and extremely small charge separation
- Known as Electrochemical Double Layer Capacitors and Supercapacitors

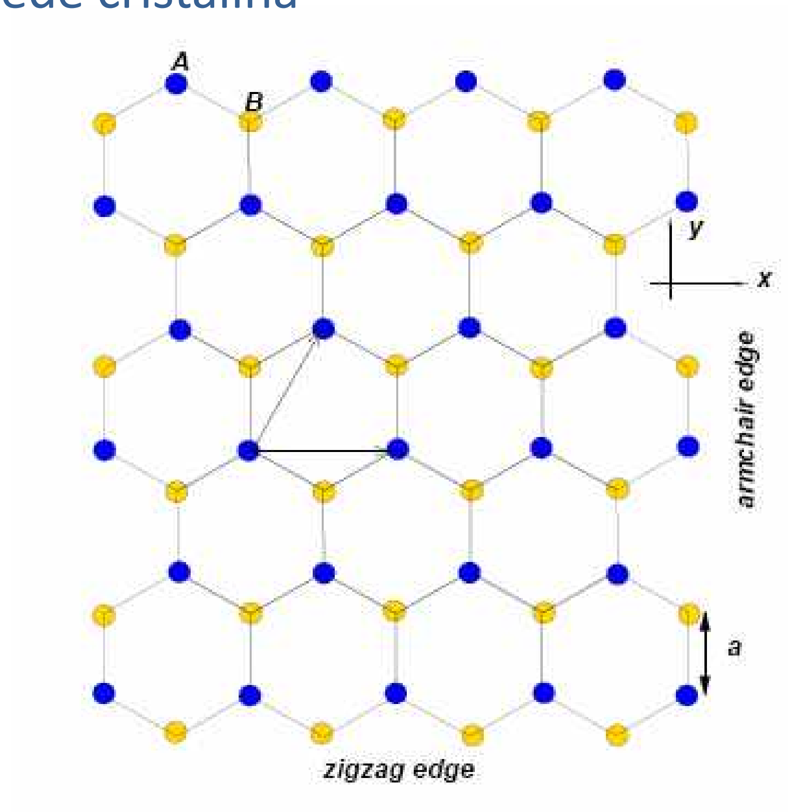


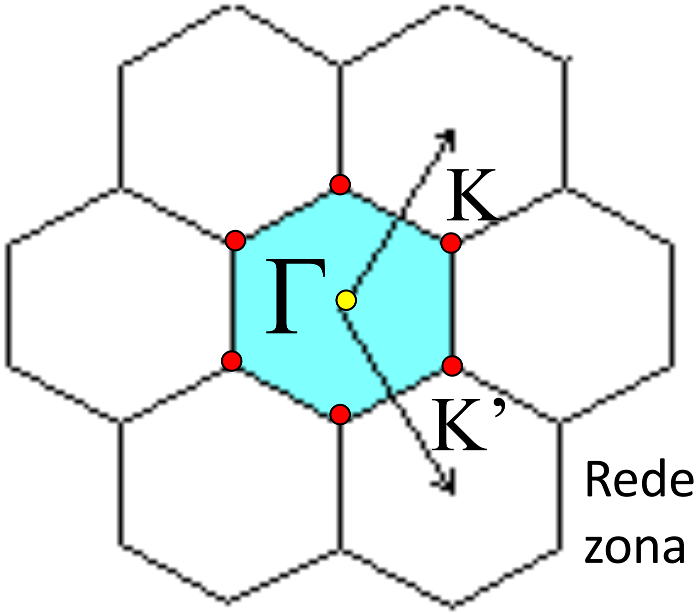
Adapted from Maxwell ppt ieee.scv Jan2005

Os elétrons no grafeno

Bandas de energia dos eletrons no grafeno

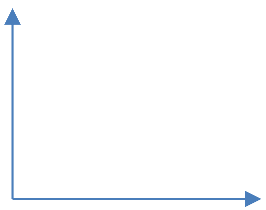
Rede cristalina



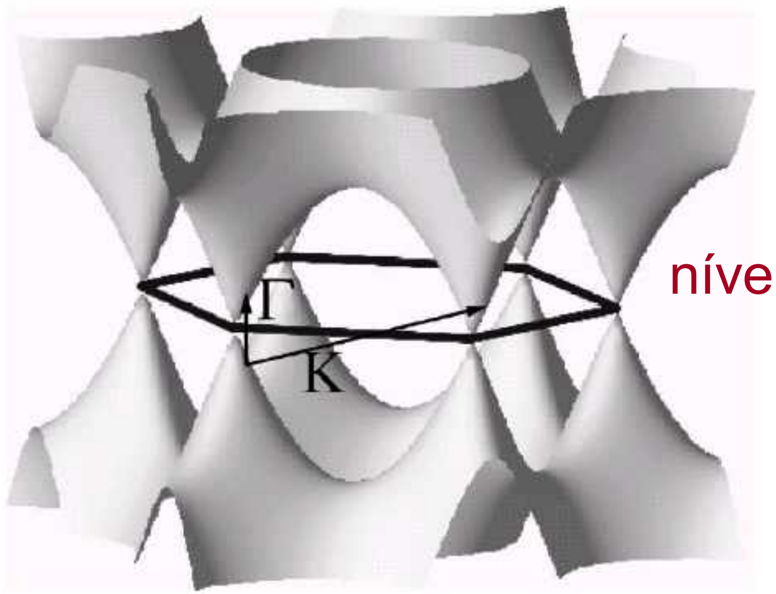


Rede recíproca e zona de Brilloin

Energia



Vetor de onda



nível de Fermi

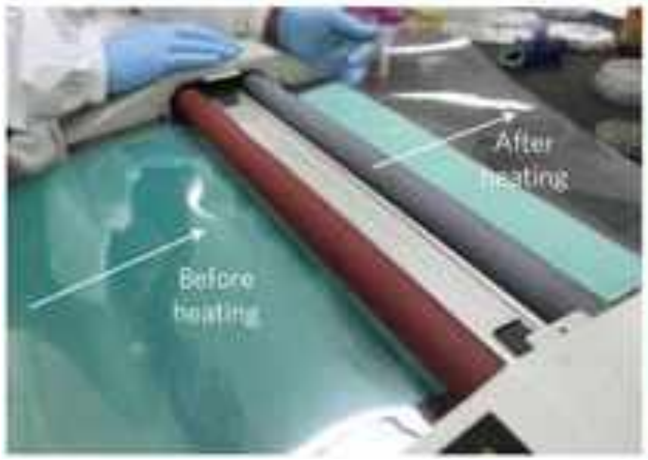
Cada camada de grafeno absorve 2,3% da luz

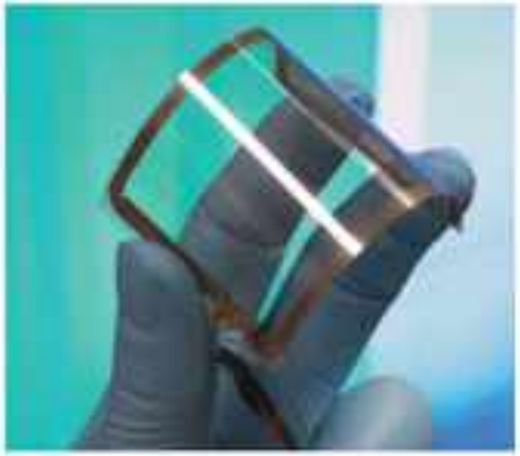
$$\pi\alpha \approx 2.3\%$$

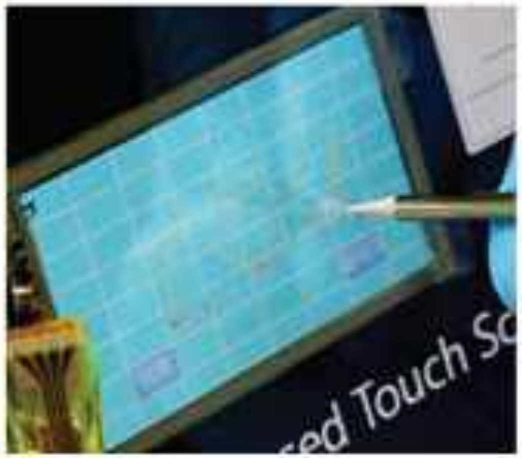
$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$$

Constante de estrutura fina

Eletrodos condutores transparentes



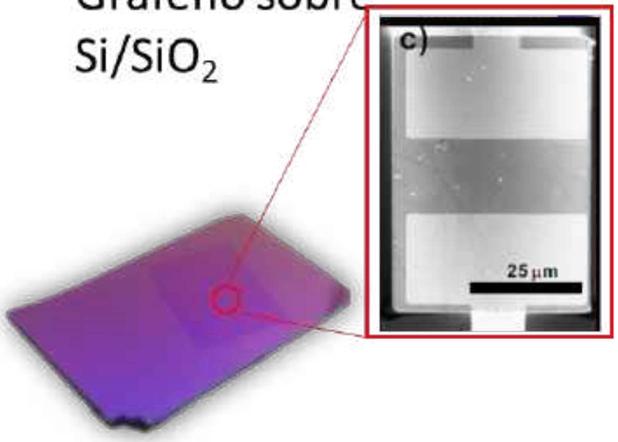


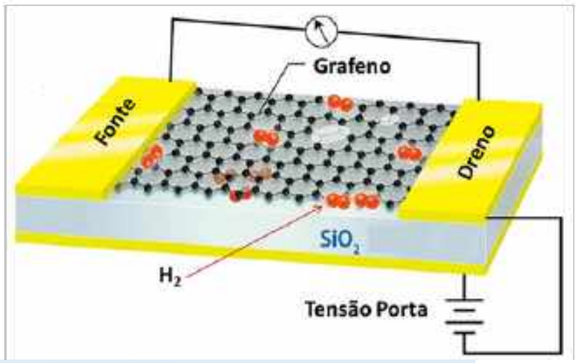


Sensores de gases de grafeno

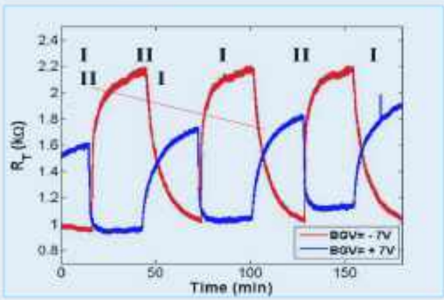
Rodrigo G. Lacerda e colaboradores (UFMG)

Grafeno sobre Si/SiO_2



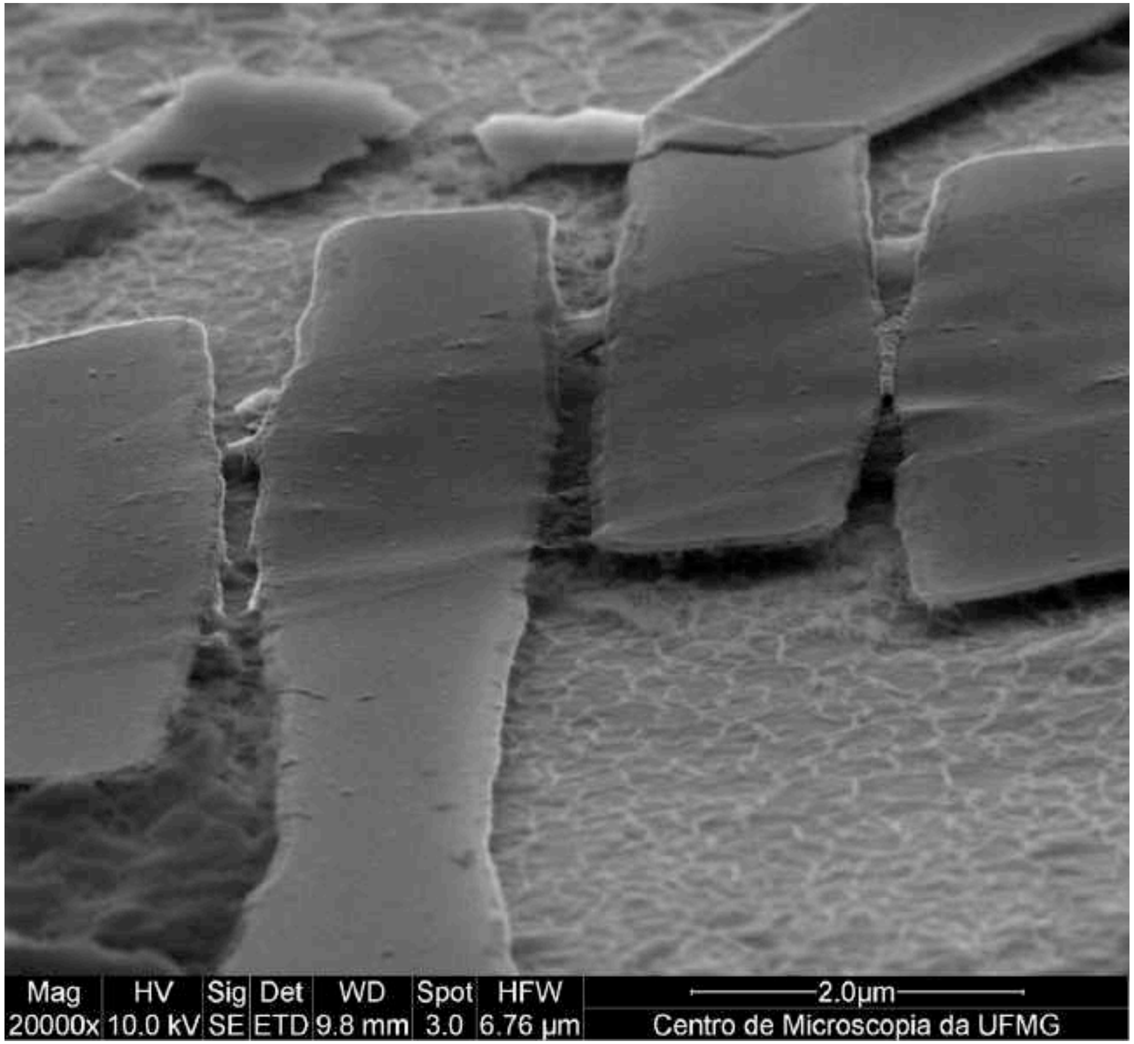


Sensor de H_2

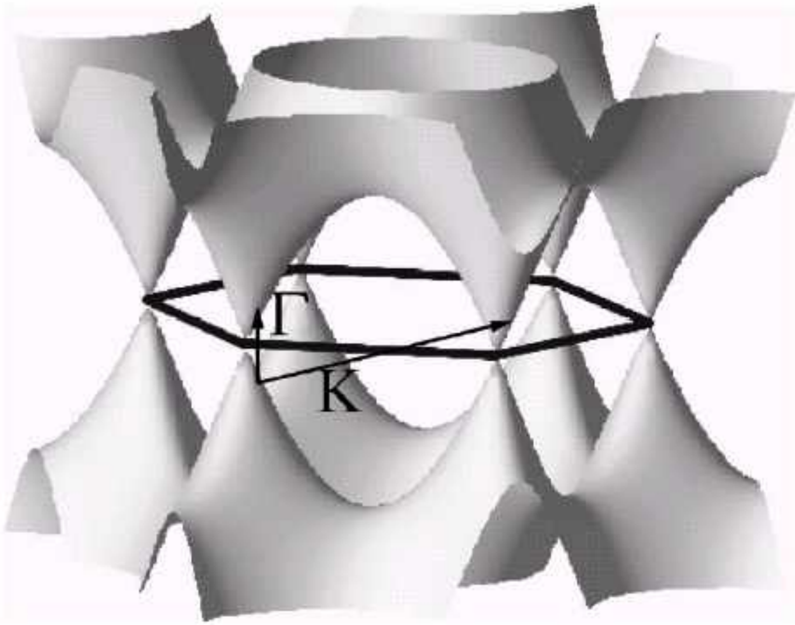


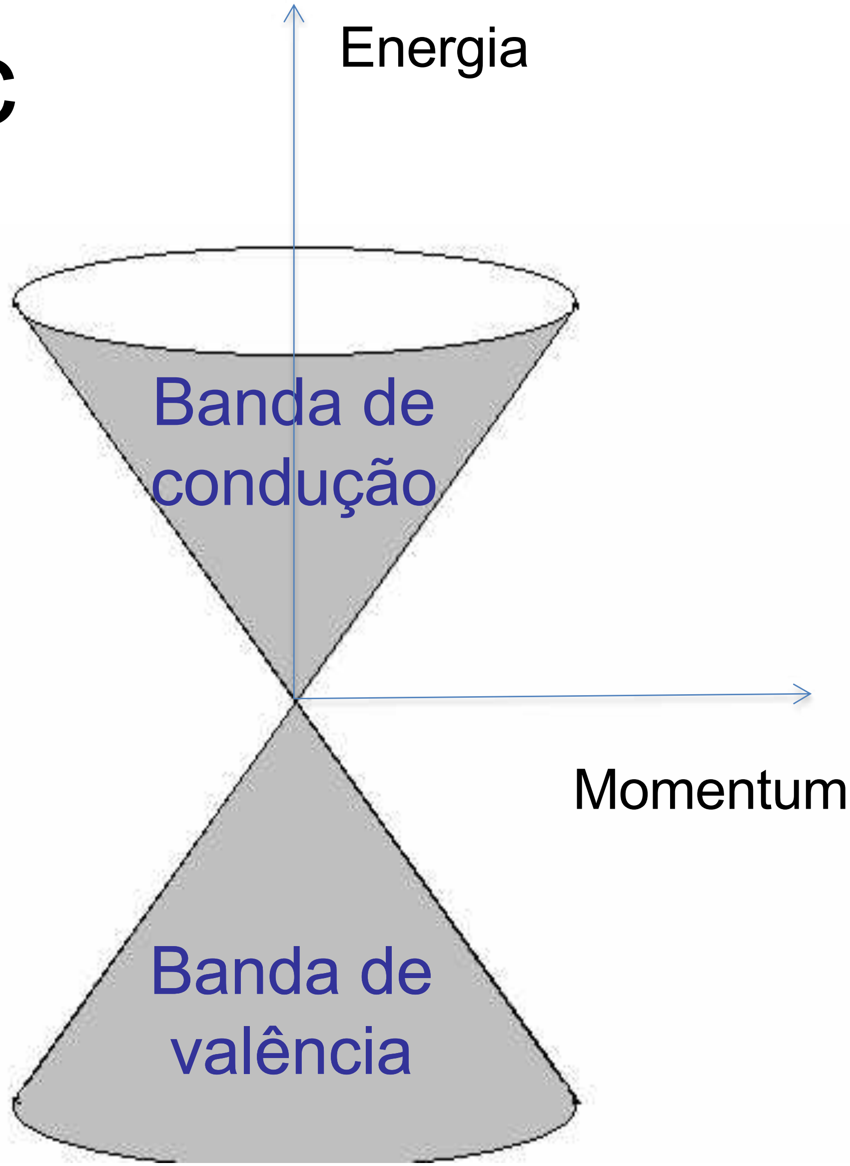
I - Argon
II - H_2 Exposure

PATENTE: BR 10 2016 027167 3



O Cone de Dirac

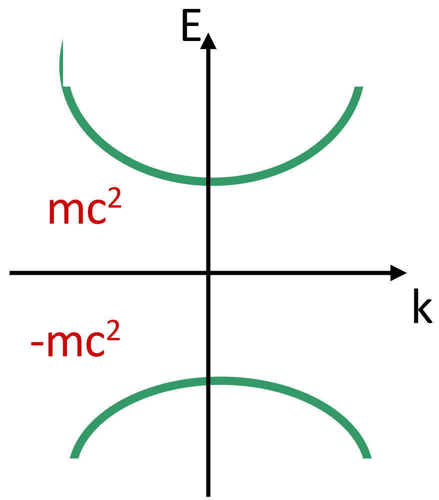




Equação de Dirac: partícula spin 1/2

$$\begin{bmatrix} mc^2 & 0 & c\hbar k_z & c\hbar(k_x - ik_y) \\ 0 & mc^2 & c\hbar(k_x + ik_y) & -c\hbar k_z \\ c\hbar k_z & c\hbar(k_x - ik_y) & mc^2 & 0 \\ c\hbar(k_x + ik_y) & -c\hbar k_z & 0 & mc^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Psi \\ \overline{\Psi} \\ \Phi \\ \overline{\Phi} \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} \Psi \\ \overline{\Psi} \\ \Phi \\ \overline{\Phi} \end{pmatrix}$$

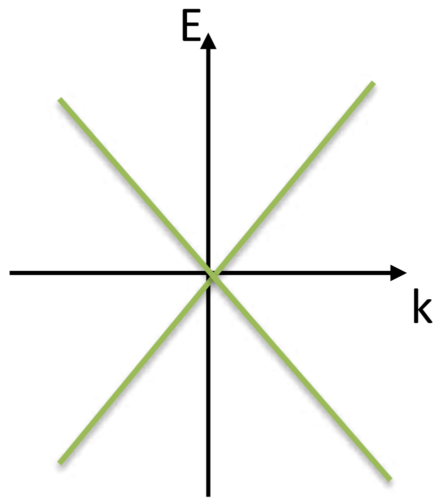
$$E = \pm\sqrt{m^2c^4 + \hbar^2k^2c^2}$$



Equação de Dirac: partícula spin 1/2

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & c\hbar(k_x - ik_y) \\ 0 & 0 & c\hbar(k_x + ik_y) & 0 \\ 0 & c\hbar(k_x - ik_y) & 0 & 0 \\ c\hbar(k_x + ik_y) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Psi \\ \overline{\Psi} \\ \Phi \\ \overline{\Phi} \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} \Psi \\ \overline{\Psi} \\ \Phi \\ \overline{\Phi} \end{pmatrix}$$

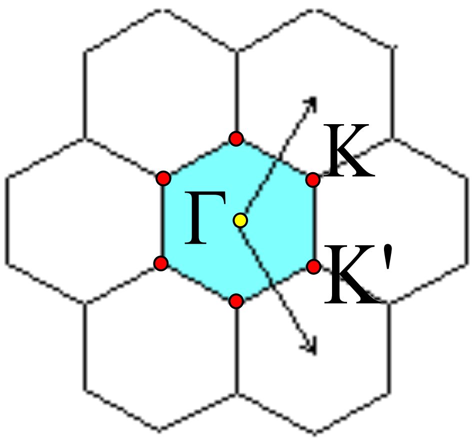
$$E = \pm c\hbar k$$

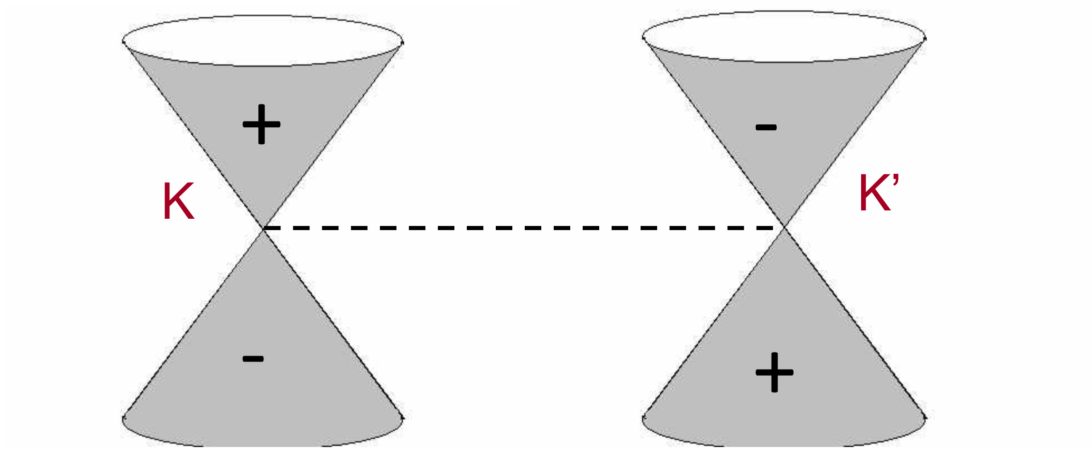


Monocamada de grafeno

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & v_F\hbar(k_x - ik_y) \\ 0 & 0 & v_F\hbar(k_x + ik_y) & 0 \\ 0 & v_F\hbar(k_x - ik_y) & 0 & 0 \\ v_F\hbar(k_x + ik_y) & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Psi_A^K \\ \Psi_B^K \\ \Psi_A^{K'} \\ \Psi_B^{K'} \end{pmatrix} = E \begin{pmatrix} \Psi_A^K \\ \Psi_B^K \\ \Psi_A^{K'} \\ \Psi_B^{K'} \end{pmatrix}$$

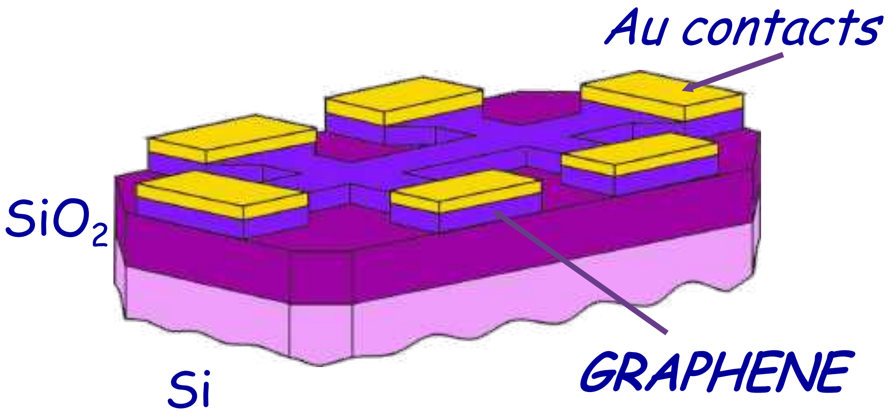
$$E = \pm v_F \hbar k$$

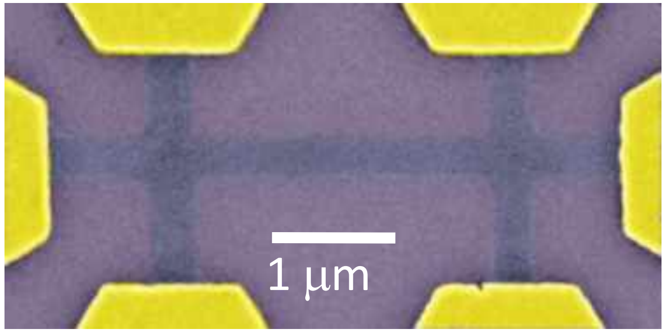


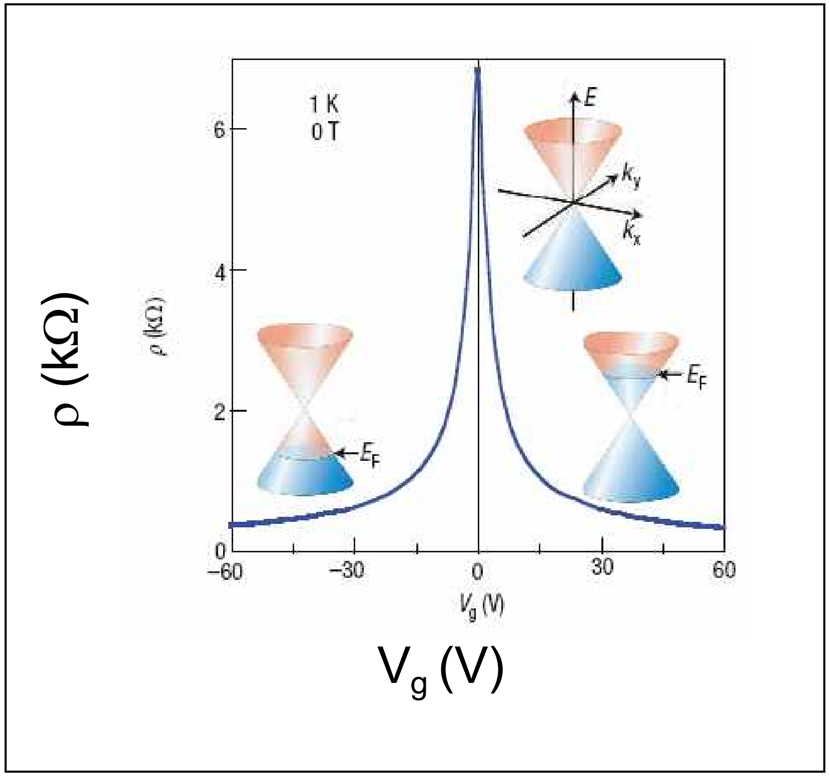


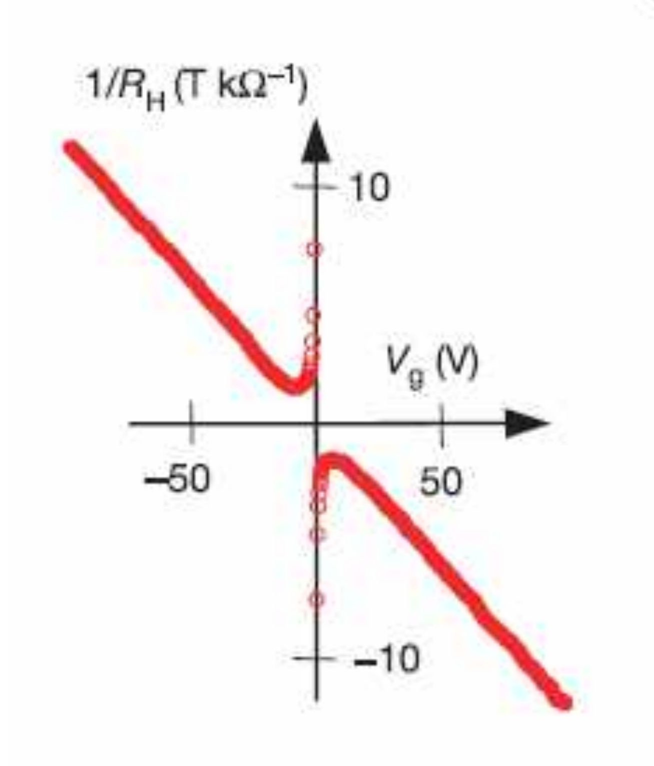
Time inversion symmetry

Dispositivos eletrônicos de grafeno



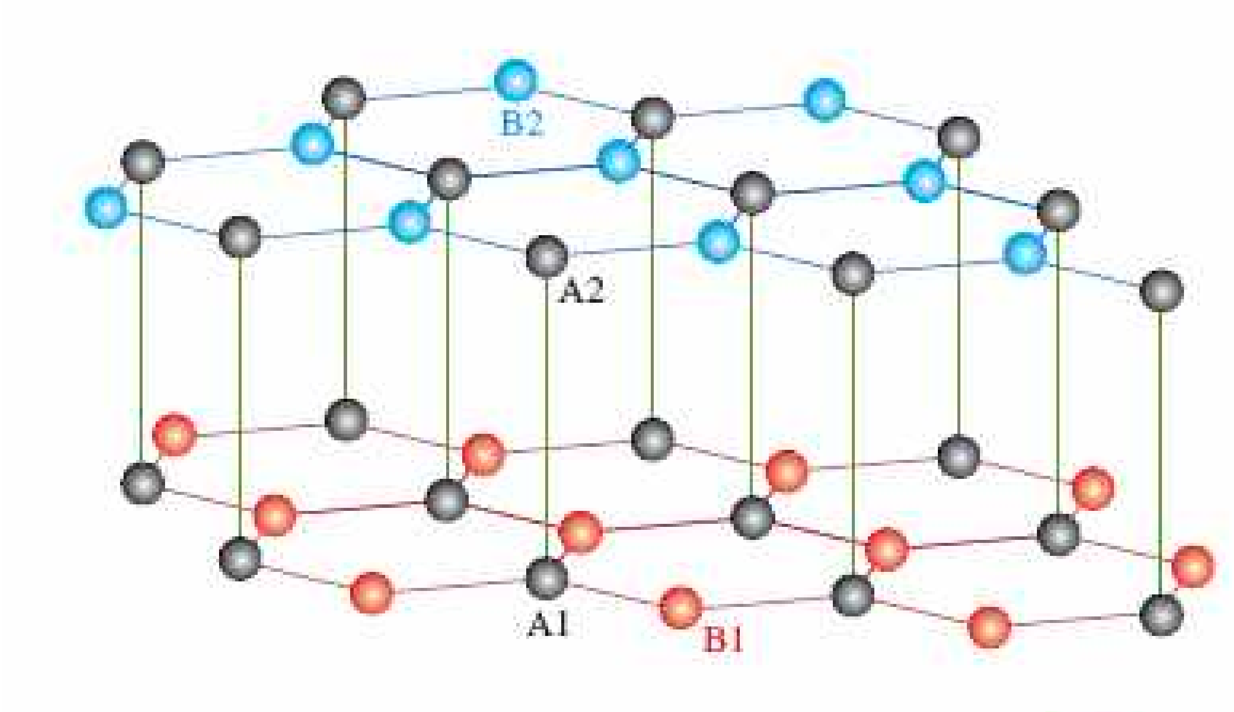




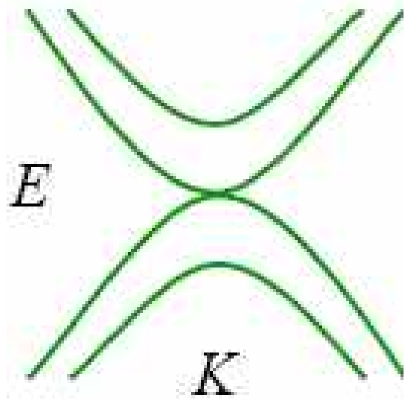


Novoselov et al, Science **306**, 666 (2004)

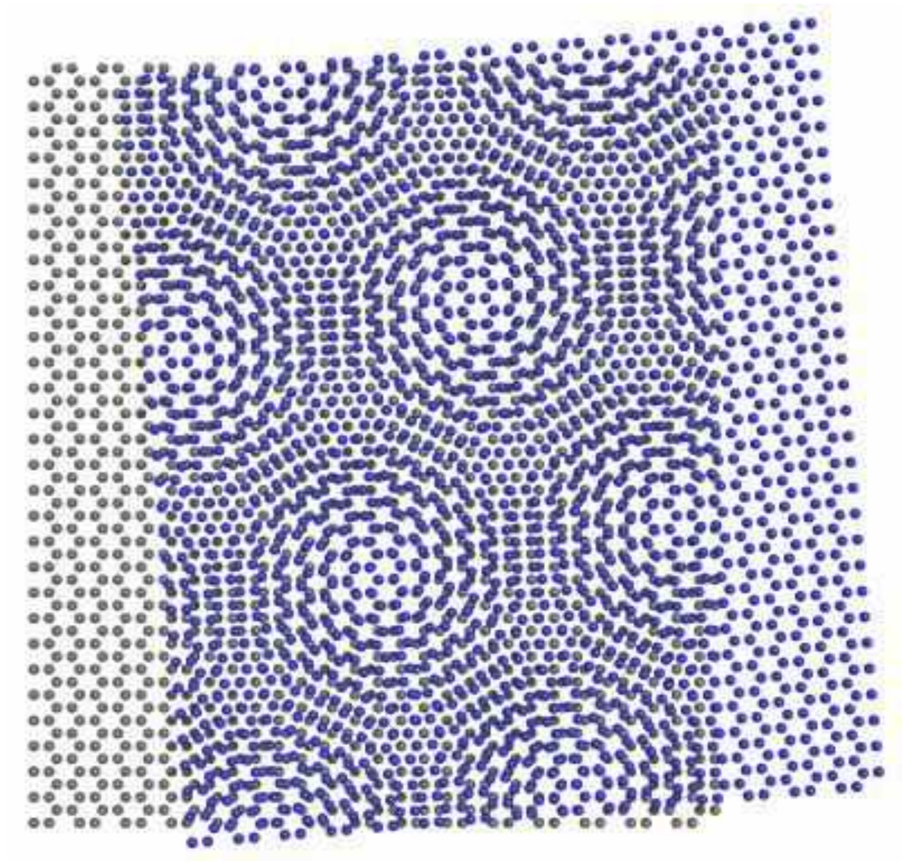
Bicamada de grafeno

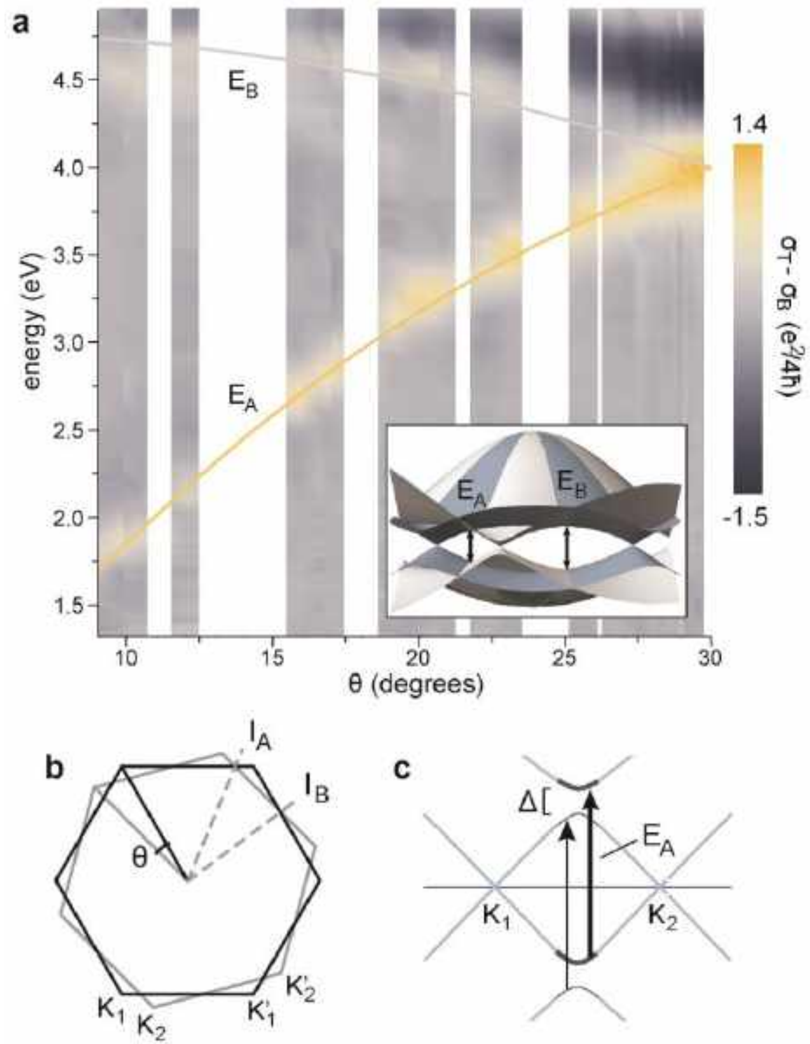


$$H = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{\hbar^2}{2m}(k_x - ik_y)^2 \\ -\frac{\hbar^2}{2m}(k_x + ik_y)^2 & 0 \end{pmatrix}$$



Bicamadas de grafeno rodadas
(Twisted bilayer graphene)



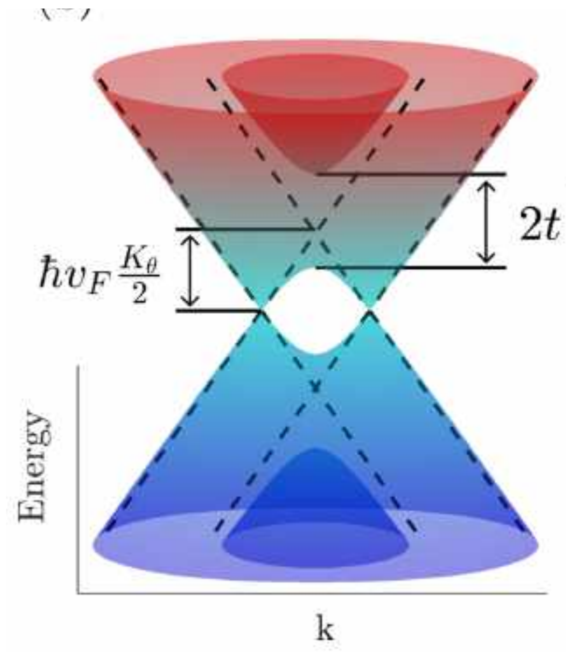


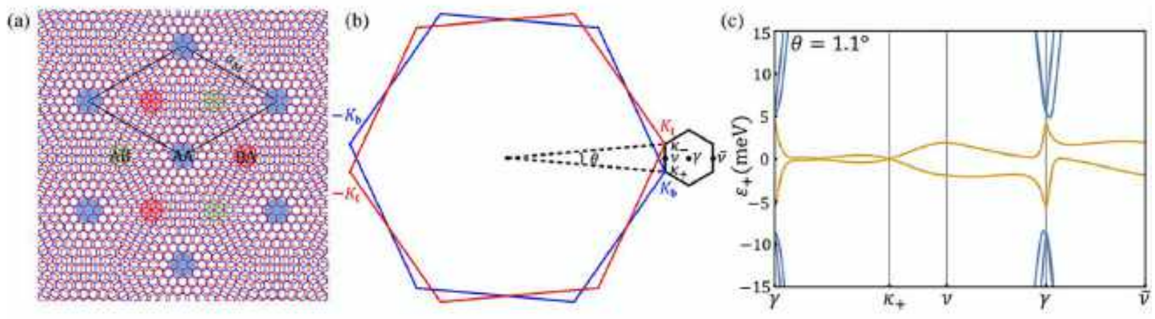
Havener *et al*., NanoLetters 14, 3353 (2014)

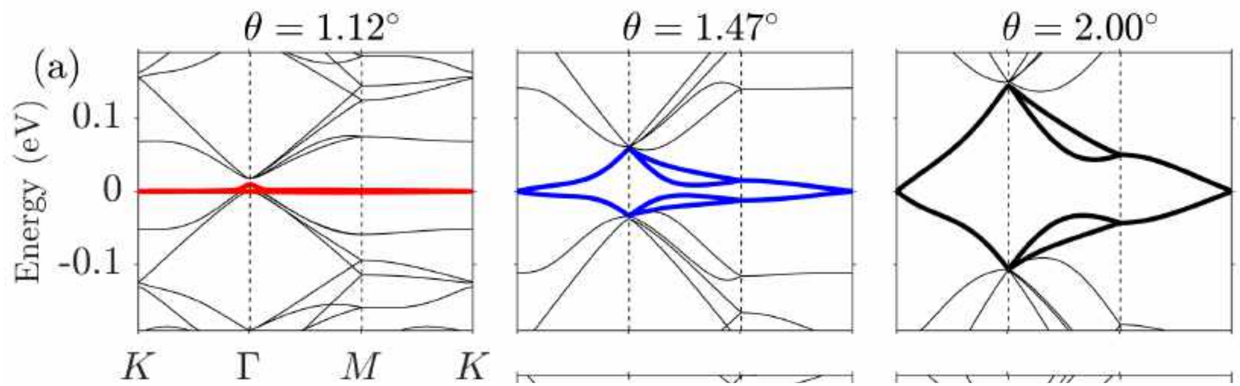
Supercondutvidade em bicamadas de grafeno rodadas de um ângulo mágico

P. Jarillo-Herrero

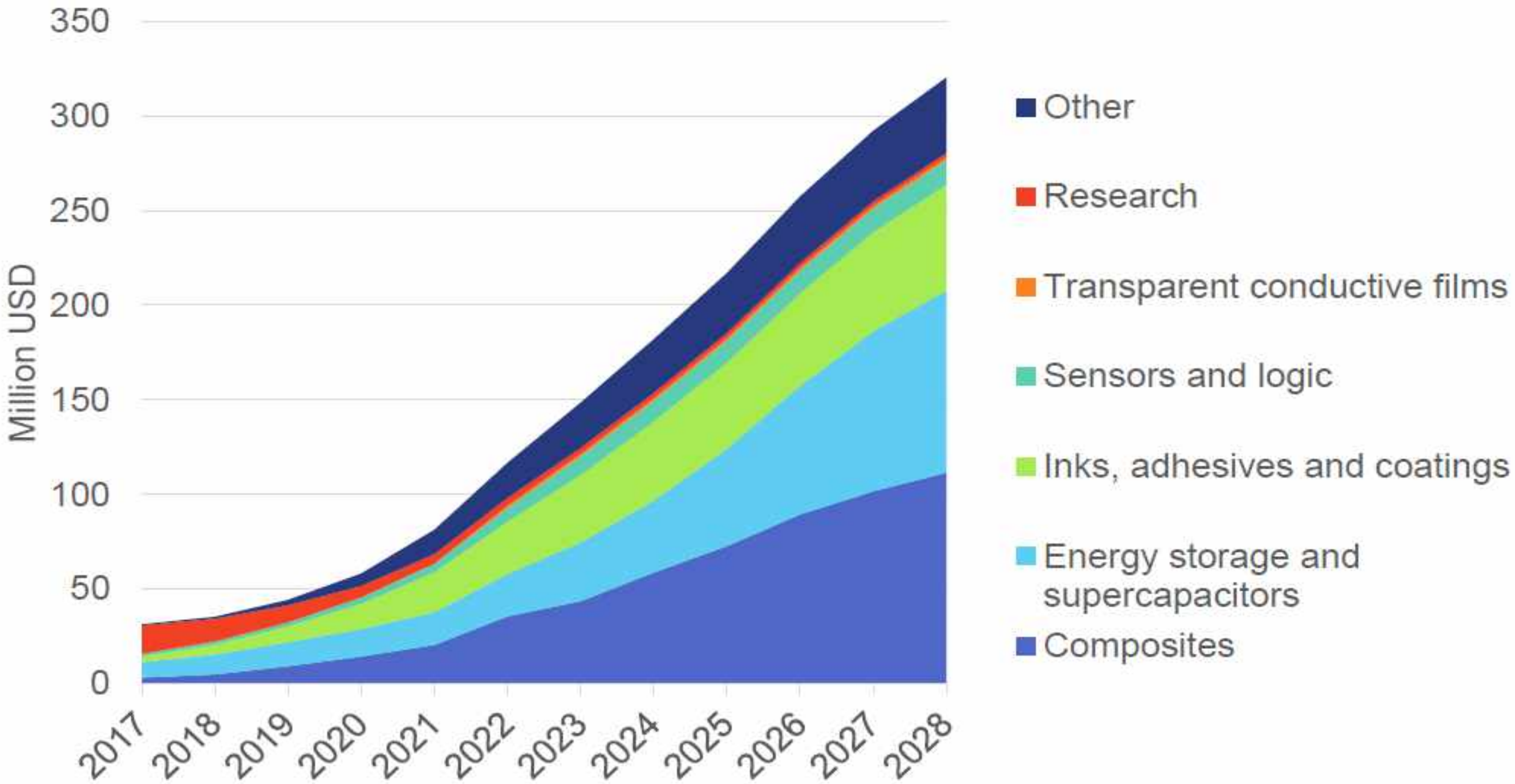
Nature **volume 556**, pages43–50(2018)





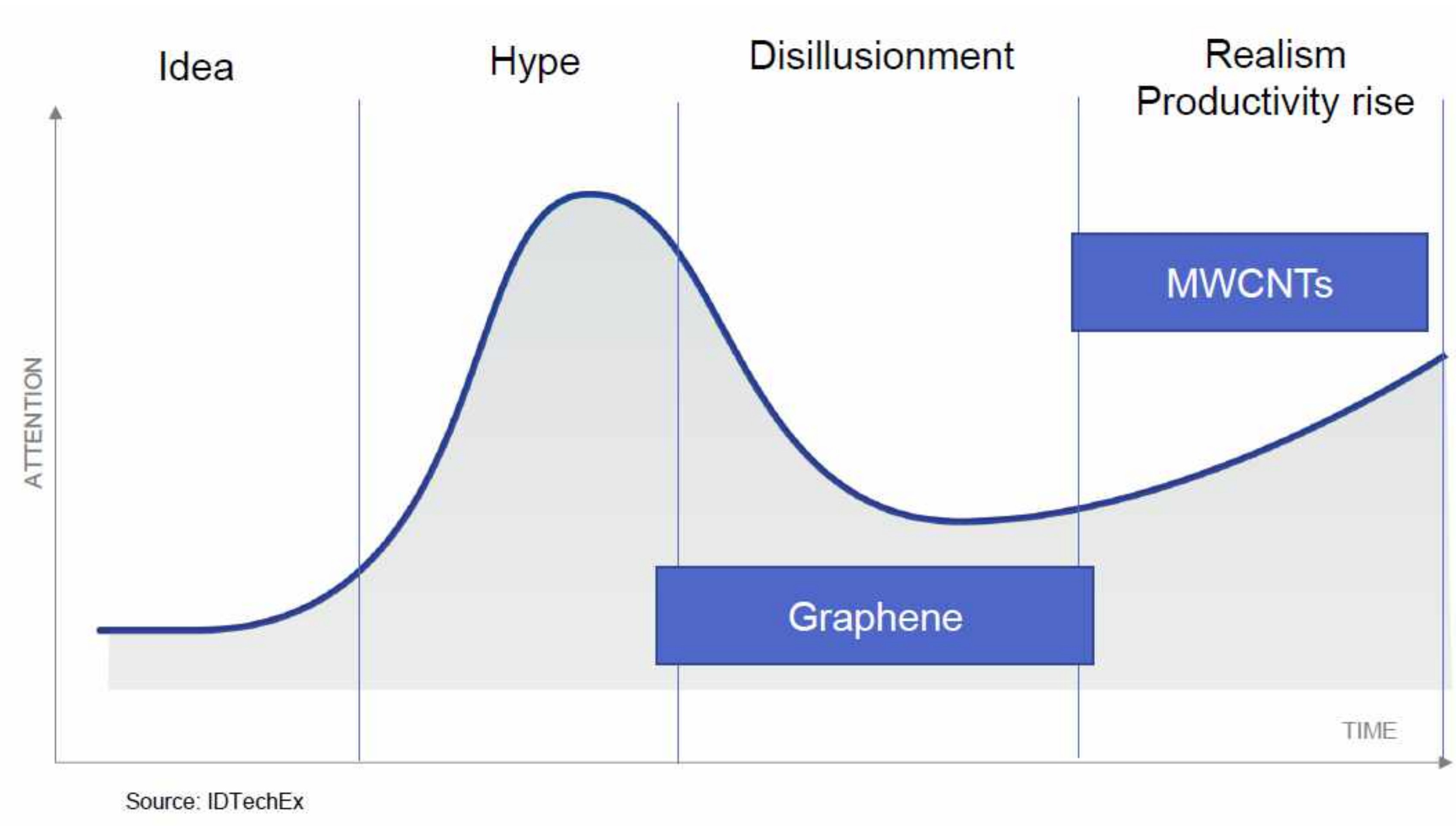


Previsão de receita para grafeno nos próximos 10 anos



Source: IDTechEx

A curva da indústria do Grafeno e dos nanotubos



CTNANO UFMG

CENTRO DE TECNOLOGIA EM NANOMATERIAIS E GRAFENO

BNDES

PETROBRAS

InterCement

bh.tec Parque Tecnológico de Belo Horizonte

Finep FINANCIADORA DE INOVAÇÃO E PESQUISA

FAPEMIG

(31) 3409-7387

contato@ctnano.org

ctnano.org

QUEM SOMOS

CTNANO UFMG
CENTRO DE TECNOLOGIA EM NANOMATERIAIS E GRAFENO

Marcos Pimenta
Departamento de Física

Glaura Goulart Silva
Departamento de Química

Luiz Orlando Ladeira
Departamento de Física

José Marcio Calixto
Escola de Engenharia

Ary Corrêa Junior
Instituto de Ciências Biológicas

André Ferlauto
Departamento de Física

Rodrigo Gribel
Departamento de Física

Hállen Daniel
Departamento de Química

Rodrigo Lavall
Departamento de Química

CT EM NÚMEROS

R$42,8 milhões captados

25 patentes depositadas em nanomateriais

+50 colaboradores

+200 formações de pe área

+18 anos de experiên Nanotubos e 9 anos em Grafeno

CTNANO - FRENTES DE ATUAÇÃO

CIMENTO NANOESTRUTURADO

NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS

SÍNTESE DE NANOMATERIAIS

SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE

CARACTERIZAÇÃO & METROLOGIA

OPERAÇÕES

Laboratório de Síntese de Nanomateriais - Nanotubos

Laboratório de Síntese de Nanomateriais - Grafeno

Laboratório de Química

Laboratório de Polímeros

SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE

Atuação

Estudos de nanoecotoxicologia, Monitoramento da dispersão de nanomateriais, Desenvolvimento de protocolos para uso de nanomateriais, Análise do ciclo de vida dos produtos.

Aplicações & Benefícios

- Gestão de risco no desenvolvimento de produtos utilizando nanomateriais;
- Garantir a segurança dos colaboradores ao atuar com nanomateriais;
- Manter o Centro atualizado em relação às melhores práticas de segurança utilizadas no mundo;
- Prestação de serviços para diversos setores industriais.

CARACTERIZAÇÃO E METROLOGIA

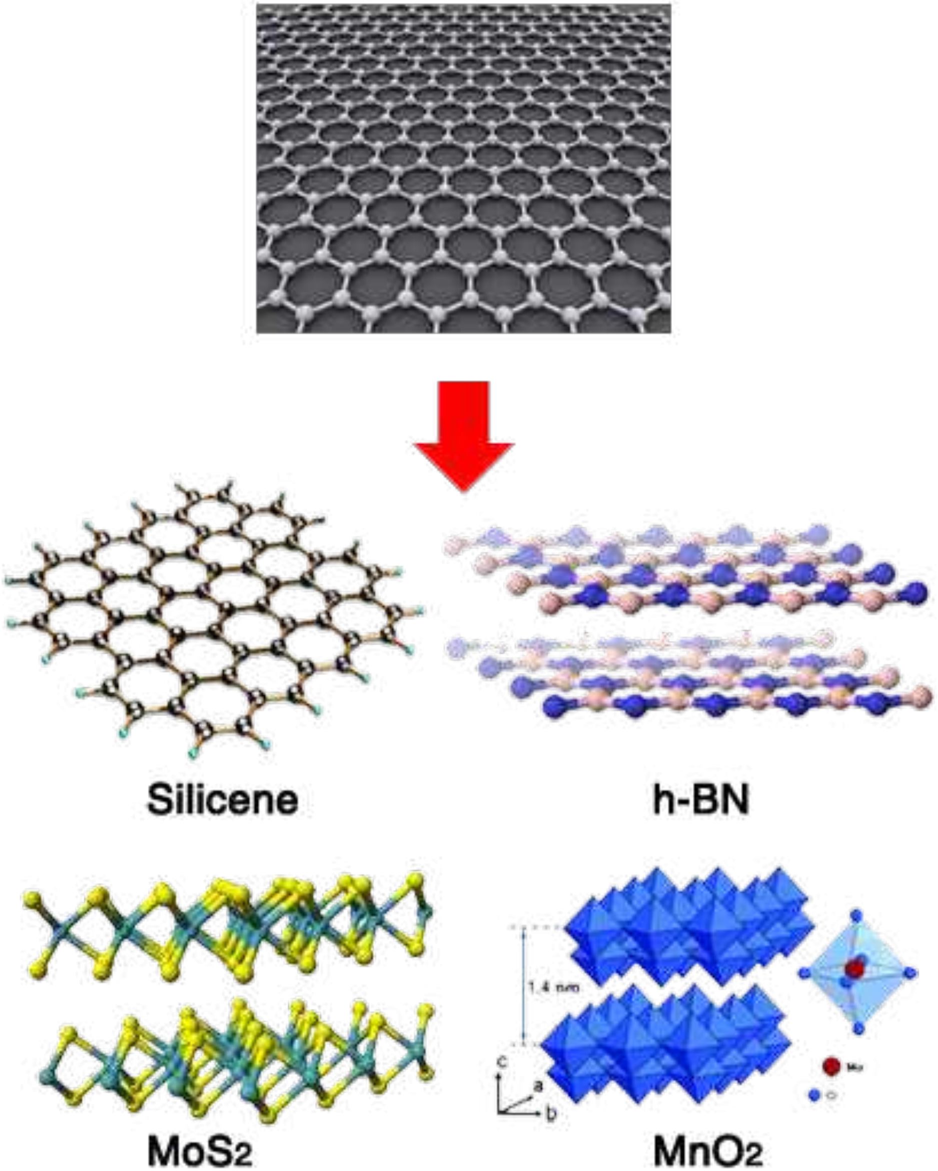
Atuação

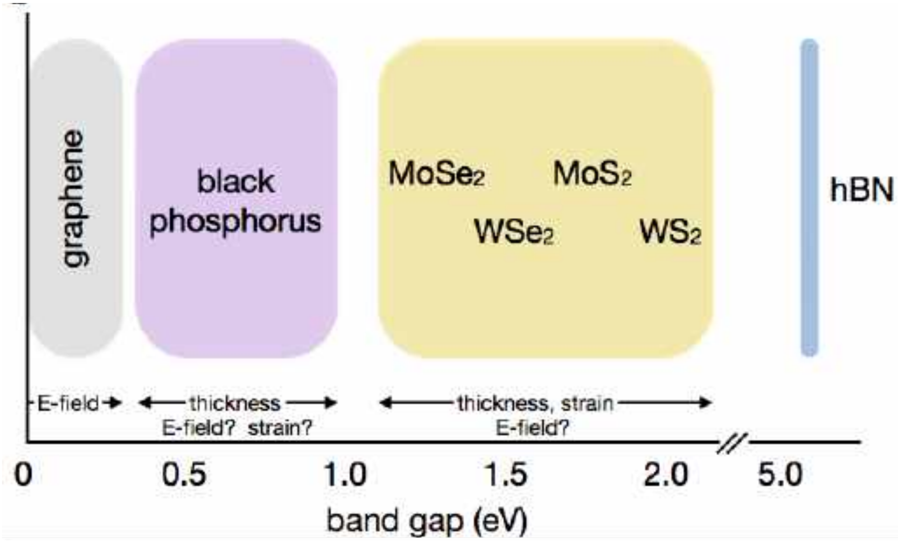
Análises metrológicas de nanomateriais: caracterizações espectroscópicas (Raman, FTIR, UV/VIS), térmicas (TG, DSC), mecânicas, elétricas, reológicas (DMA), Morfológicas (AFM, MEV), dentre outras.

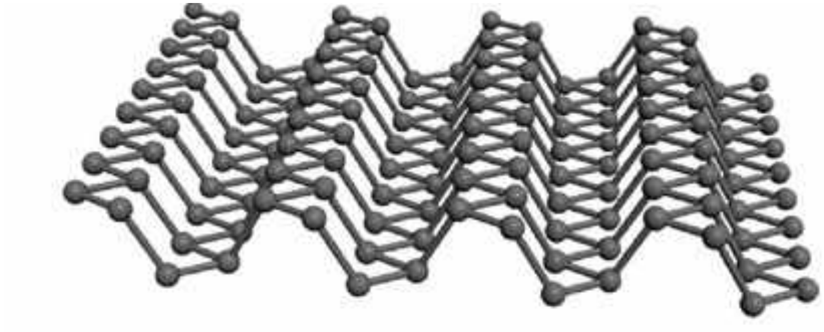
Aplicações & Benefícios

- Garantir o controle de qualidade dos materiais e a confiabilidade dos resultados;
- Metrologia de todas as pesquisas realizadas no CTNano;
- Prestação de serviços para diversos setores industriais.

Novos materiais bi-dimensionais (2D)

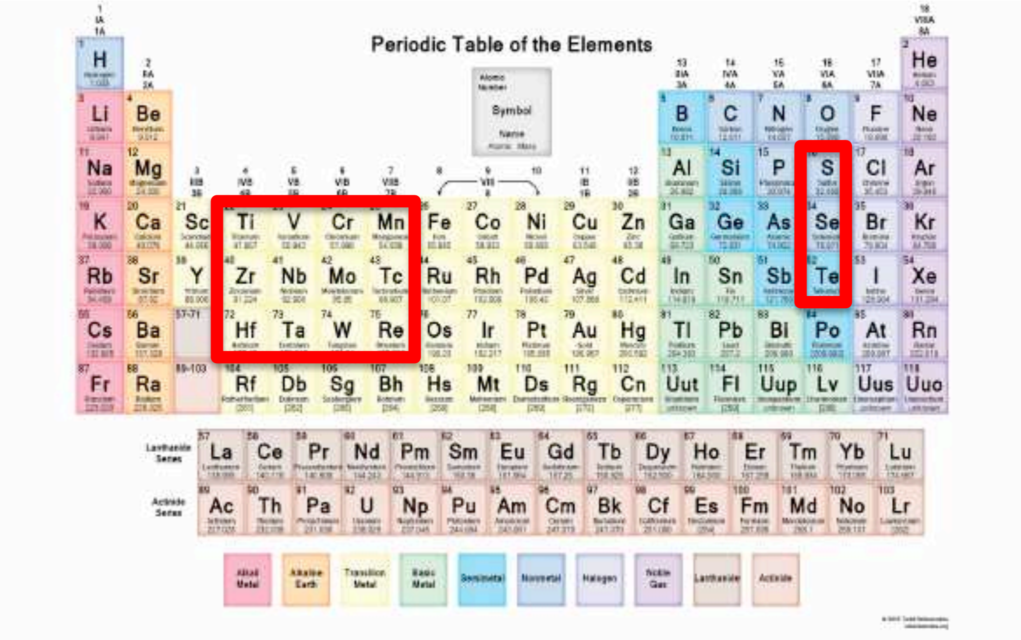






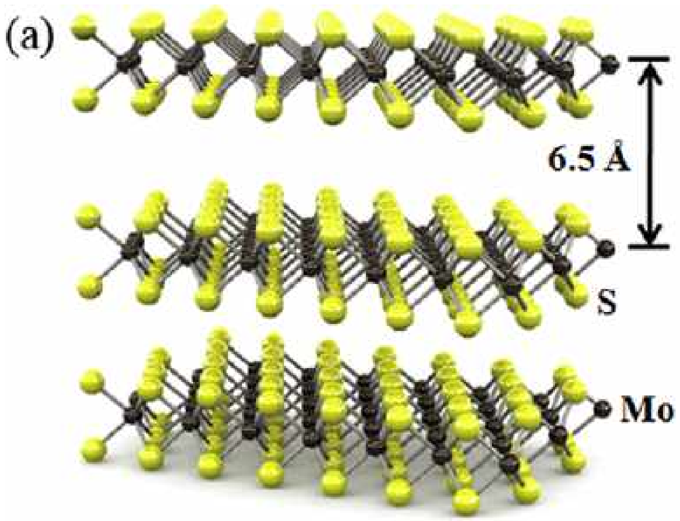
BP (Black phosphorus)

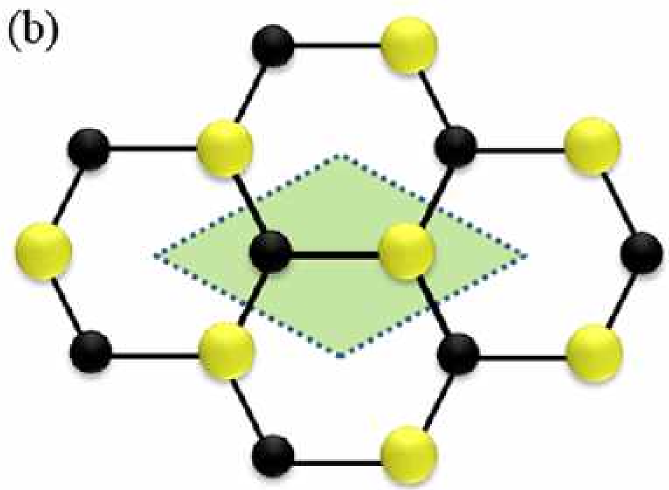
Dicalcogenetos de metais de transição MX_2



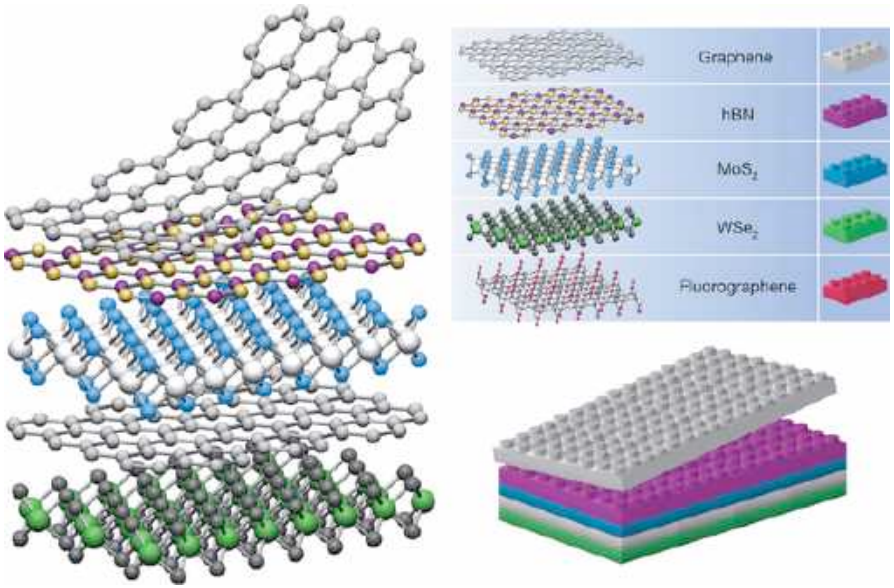
MoS_2 (molibdenita)
bi-dimensional e semicondutor

MoS_2, WS_2,
$MoSe_2$, WSe_2,
$MoTe_2$, TaS_2,
NbS_2, TiS_2, etc

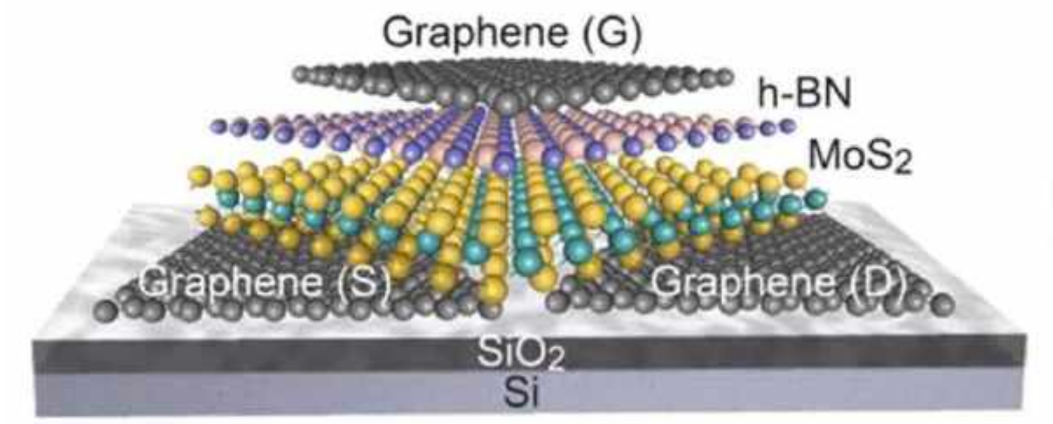


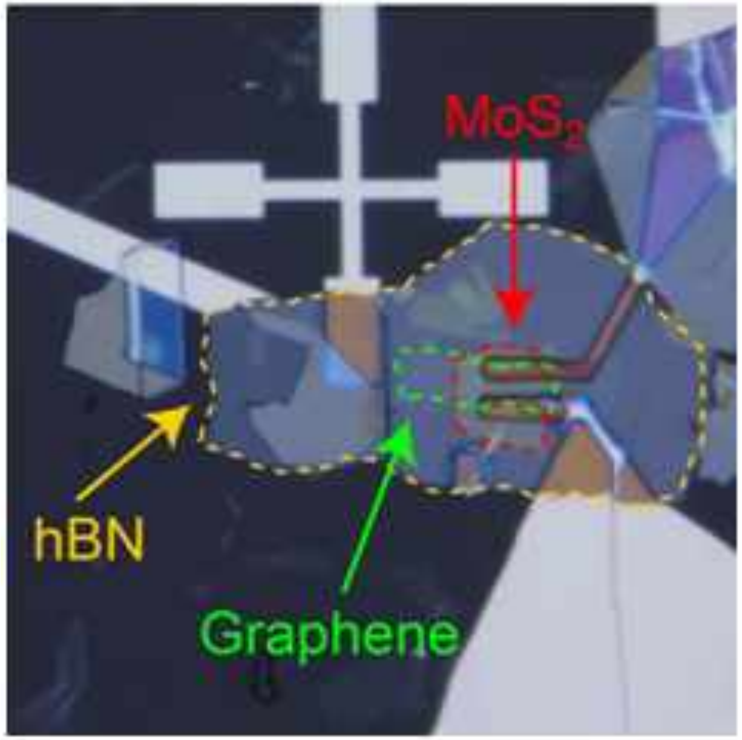


Hetero-estruturas de materiais bi-dimensionais



A. K. Geim and I Grigorieva, Nature 499, 419 (2013)





INCT

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em
Nanomateriais de Carbono

O Brasil é um país com muitos recursos naturais. Há espaço para competirmos no mercado de grafeno? Os melhores recursos de qualquer país são as pessoas. Há muitos cientistas bons no Brasil e isso é o importante. Atualmente vemos a guerra por talentos, e não por recursos naturais. Os talentos precisam ser valorizados. É bom ter acesso ao grafeno, mas a ciência está bastante avançada no Brasil e isso é o que importa.

K. Novoselov

Transferência do grafeno