



3^o Congresso Brasileiro do PLÁSTICOTM

O plástico na vida moderna

Realização:



Grafeno e a indústria de plásticos do futuro

Prof. Dr. Ricardo J. E. Andrade

MackGraphe - Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias
Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, SP, Brasil



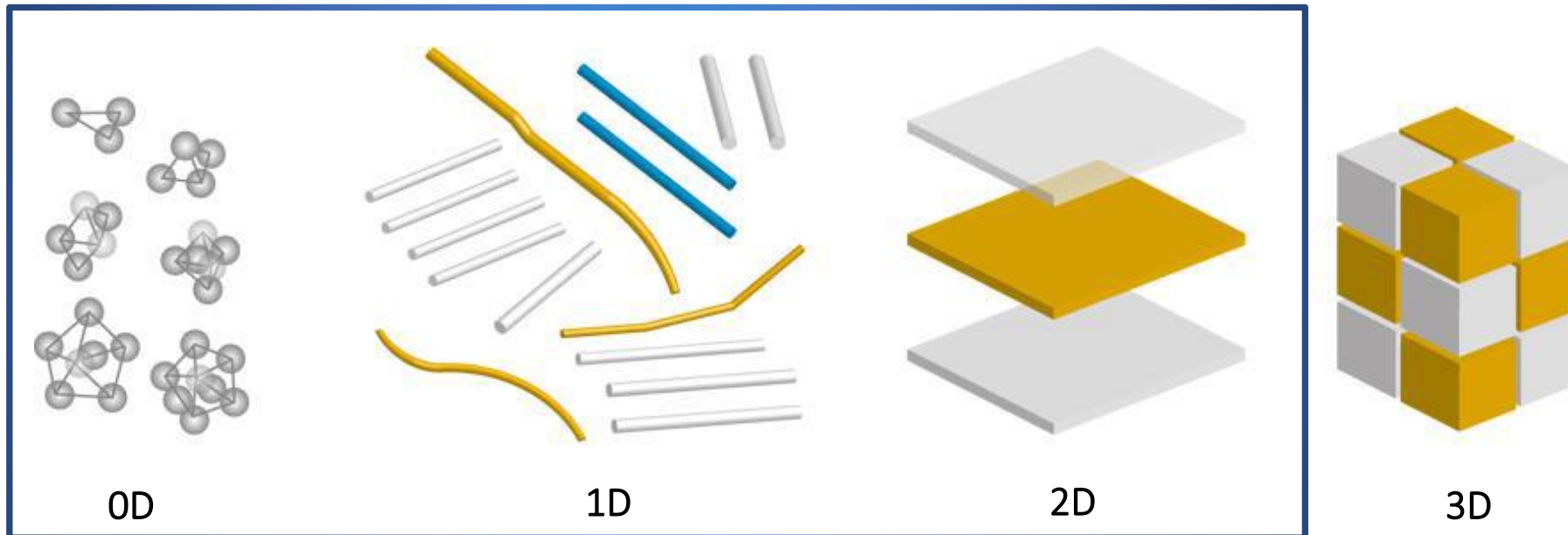
Outline

- **O Grafeno**
- **Síntese de Grafeno**
- **Nanocompósitos de Grafeno**
- **O MackGraphe**

O Grafeno

O que são nanomateriais?

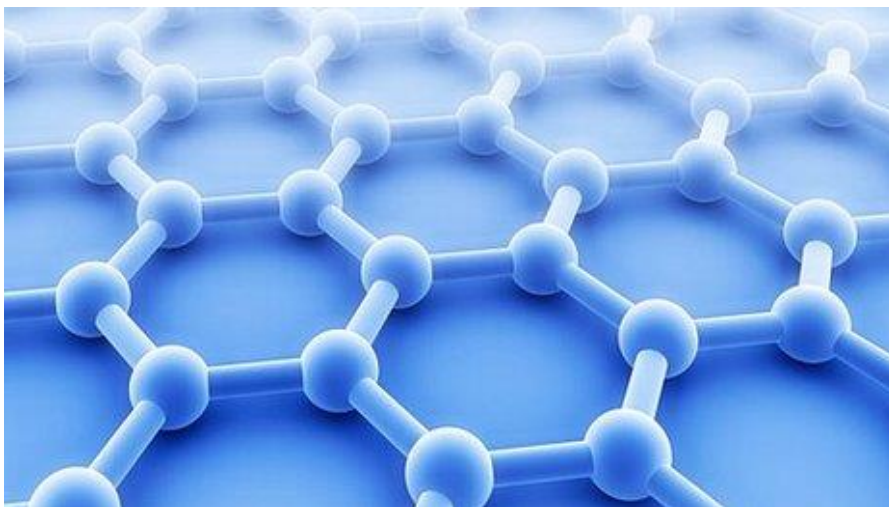
- São materiais que possuem ao menos uma de suas três dimensões com escala nanométrica



- O grafeno é um nanomaterial 2D

O que é o grafeno?

O grafeno é um cristal com a espessura de um único átomo, formado por átomos de carbono dispostos em uma estrutura hexagonal cristalina.



Grafeno

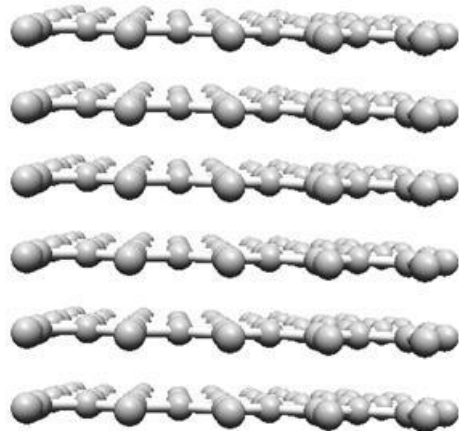
Há 440 anos já é produzido todas as vezes que escrevemos em uma folha de papel com um lápis grafite.



O que é o grafeno?

De onde vem o grafeno? Como foi descoberto?

Grafite → **Grafeno**



O que é o grafeno?

De onde vem o grafeno? Como foi descoberto?



Grafite → **Grafeno**

O que é o grafeno?

De onde vem o grafeno? Como foi descoberto?

1ª Idéia



Grafite → **Grafeno**

Remover carta por carta

O que é o grafeno?

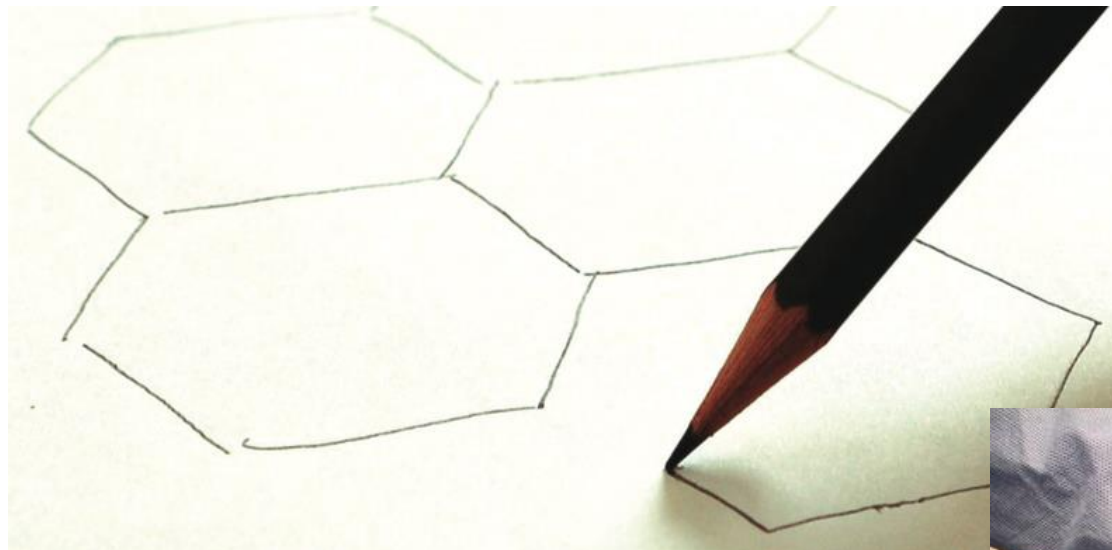
De onde vem o grafeno? Como foi descoberto?

1ª Idéia

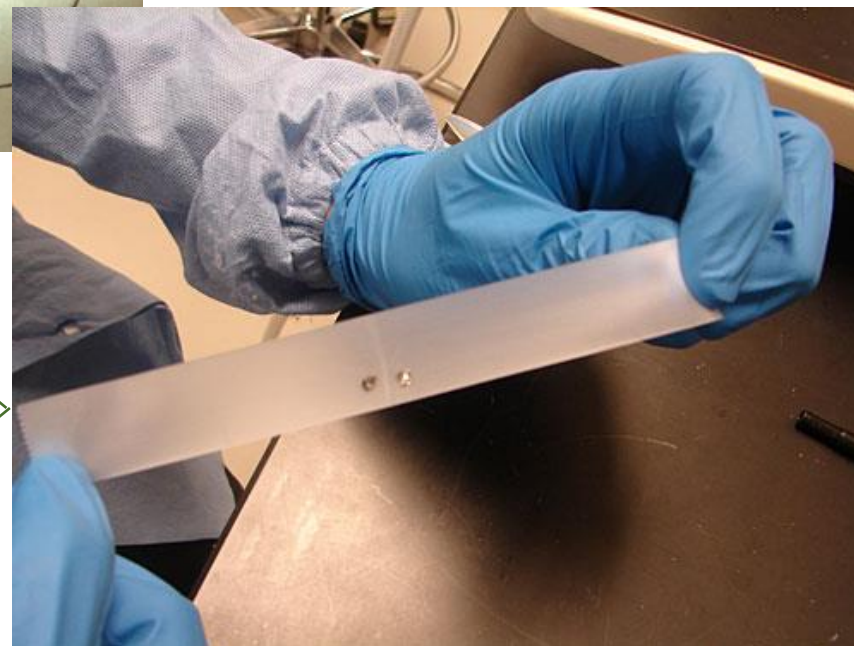
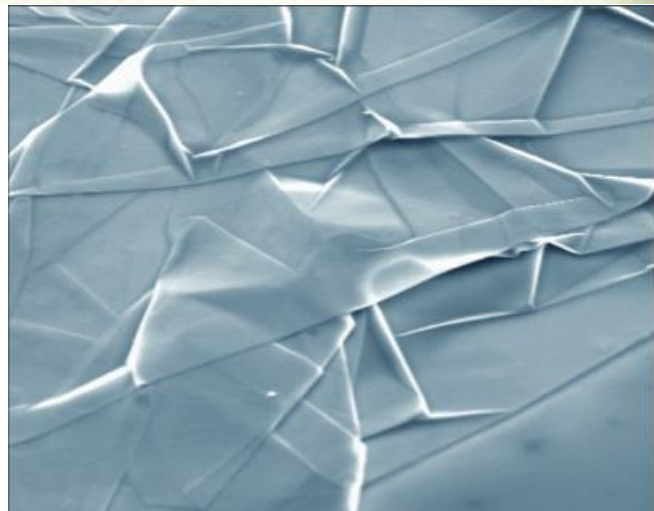


Remover carta por carta
Esfoliação mecânica!

Obtendo o grafeno à partir do grafite



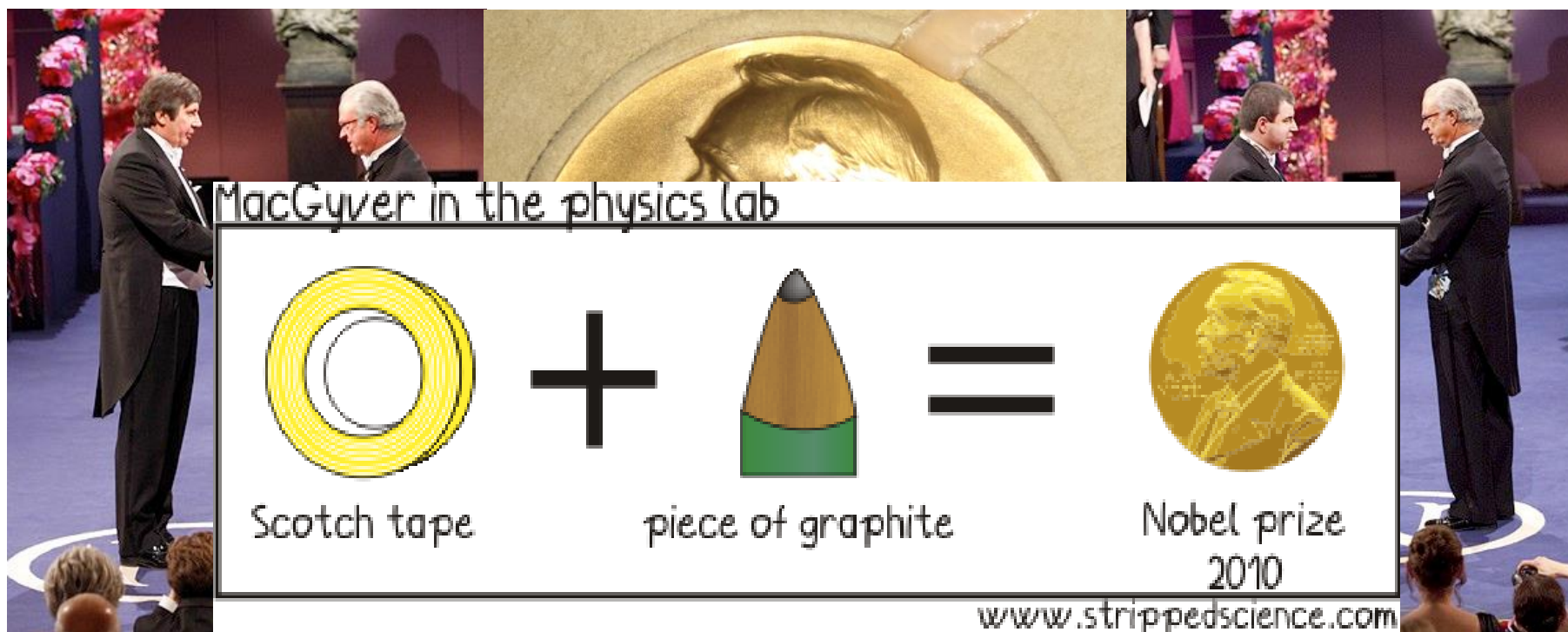
O Método da fita adesiva (2004)



Castro Neto et al., Physics World November 2006, p. 33

Scientific American, 20 março, 2008

- Geim and Novoselov
- The University of Manchester



É o material mais Fino

1 camada atômica ~ 0,34 nm

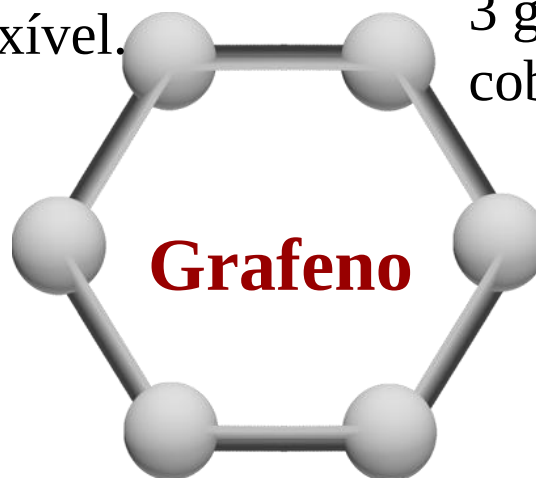
Um milhão de vezes mais fino do que um cabelo humano. E por isso é também flexível.

Possui a maior Condutividade Térmica

A condutividade térmica do Grafeno é mais de 5 vezes maior do que a do Cobre.

É o melhor Condutor de Eletricidade

O Grafeno é o melhor condutor de eletricidade que se conhece.



É o material mais Leve (densidade ~0,77 mg/m²)

(Área superficial 2630 m²/g)

3 gramas de grafeno são suficientes para cobrir um campo de futebol.

É Transparente

O grafeno absorve apenas 2% da luz e, portanto, é quase invisível a olho nu.

É o material mais Forte

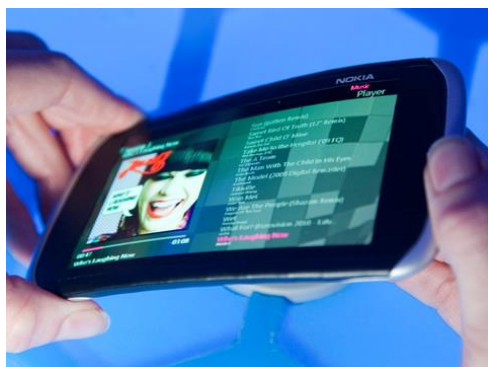
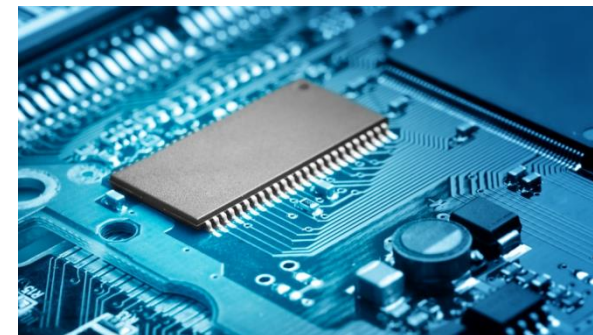
Módulo de Young 340 N/m

É 200 vezes mais forte que o aço. Mas é flexível.

Propriedades do grafeno e suas aplicações

A Finura do grafeno

A finura do grafeno permite que ele seja extremamente flexível e ainda conduzir calor e eletricidade fantasticamente bem. Sua alta condutividade térmica torna-o perfeito para o resfriamento de CPUs.

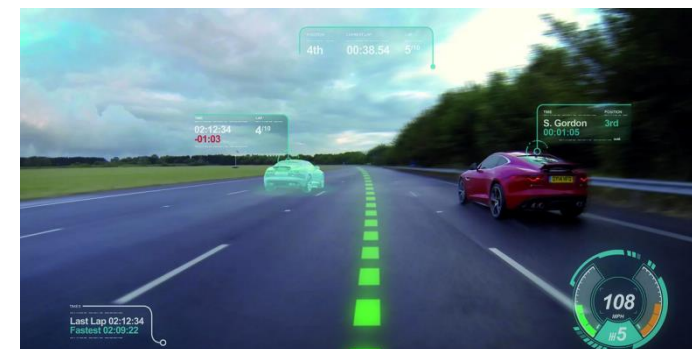


A Flexibilidade do grafeno

A flexibilidade do grafeno pode ser usada em tecnologias emergentes, tais como computadores *rollerball*, roupas sensíveis ao calor e telefones flexíveis. Além disso, o grafeno pode ser utilizado para o desenvolvimento de eletrônica flexível.

A Transparência do grafeno

O grafeno é transparente, o que significa que no futuro poderemos assistir a uma TV embutida na janela e utilizar sistemas de navegação construídos nos para-brisas de automóveis.



Propriedades do grafeno e suas aplicações

A Resistência do grafeno

O grafeno é o material mais forte conhecido pelo homem. É mais de 200 vezes mais forte que o aço. A resistência do grafeno pode ser usada em materiais compósitos e revestimentos para aplicações em áreas como as indústrias aeroespacial e automotiva.



A Condutividade do grafeno

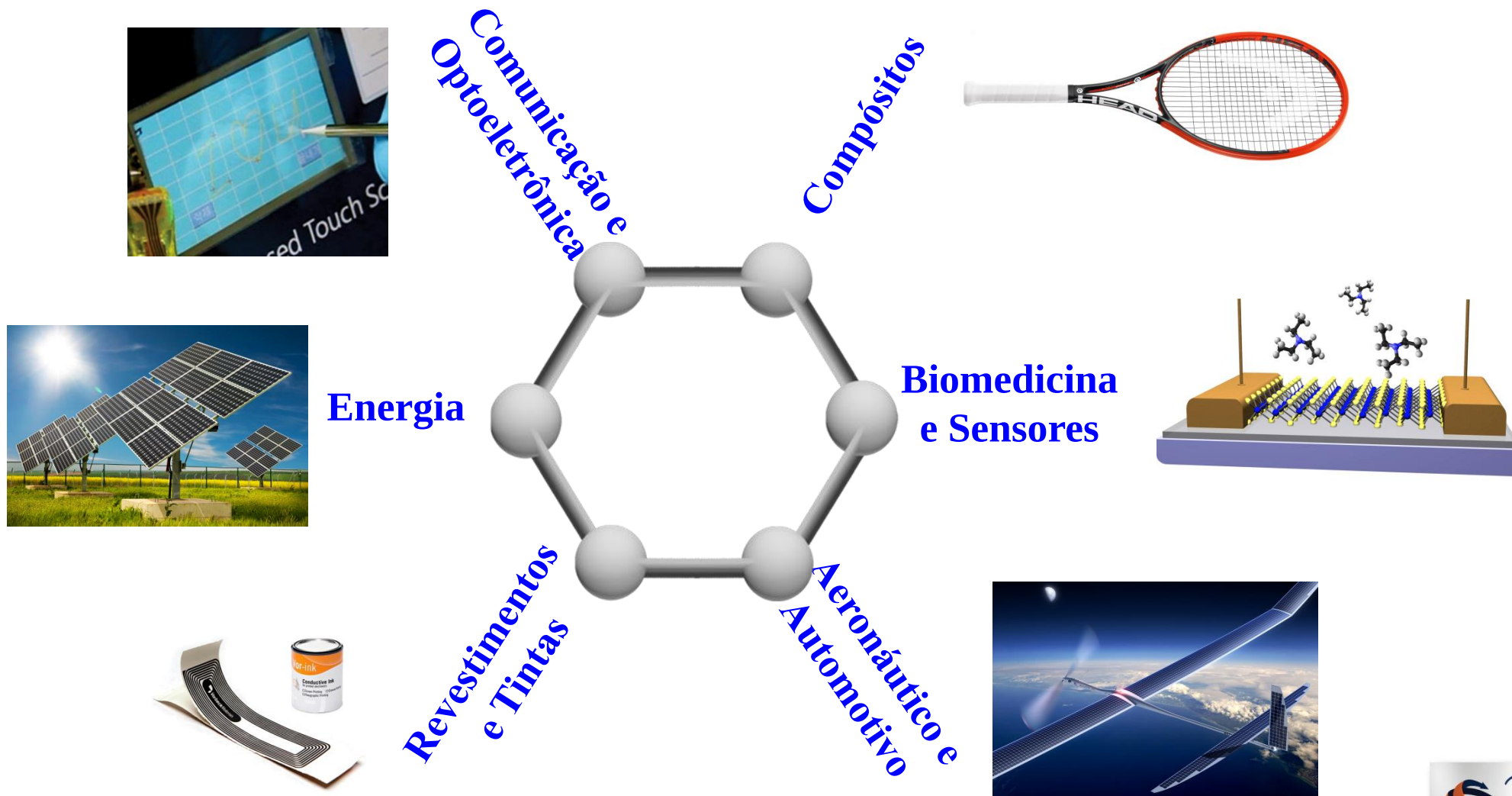
O grafeno pode conduzir eletricidade melhor que o cobre e isso permite inúmeras aplicações, incluindo tintas condutoras e baterias mais eficientes.



Propriedades Térmicas do grafeno

Grafeno tem a mais elevada condutividade térmica conhecida para o homem. Esta propriedade leva a possibilidades que incluem roupas esportivas que conduzem o calor para longe dos corpos dos atletas.

Visão geral das aplicações do grafeno em diferentes setores



Multifuncionalidade

Lightweight GRAPHENE based materials for structural applications

Graphene nanocomposites for integrated sensors

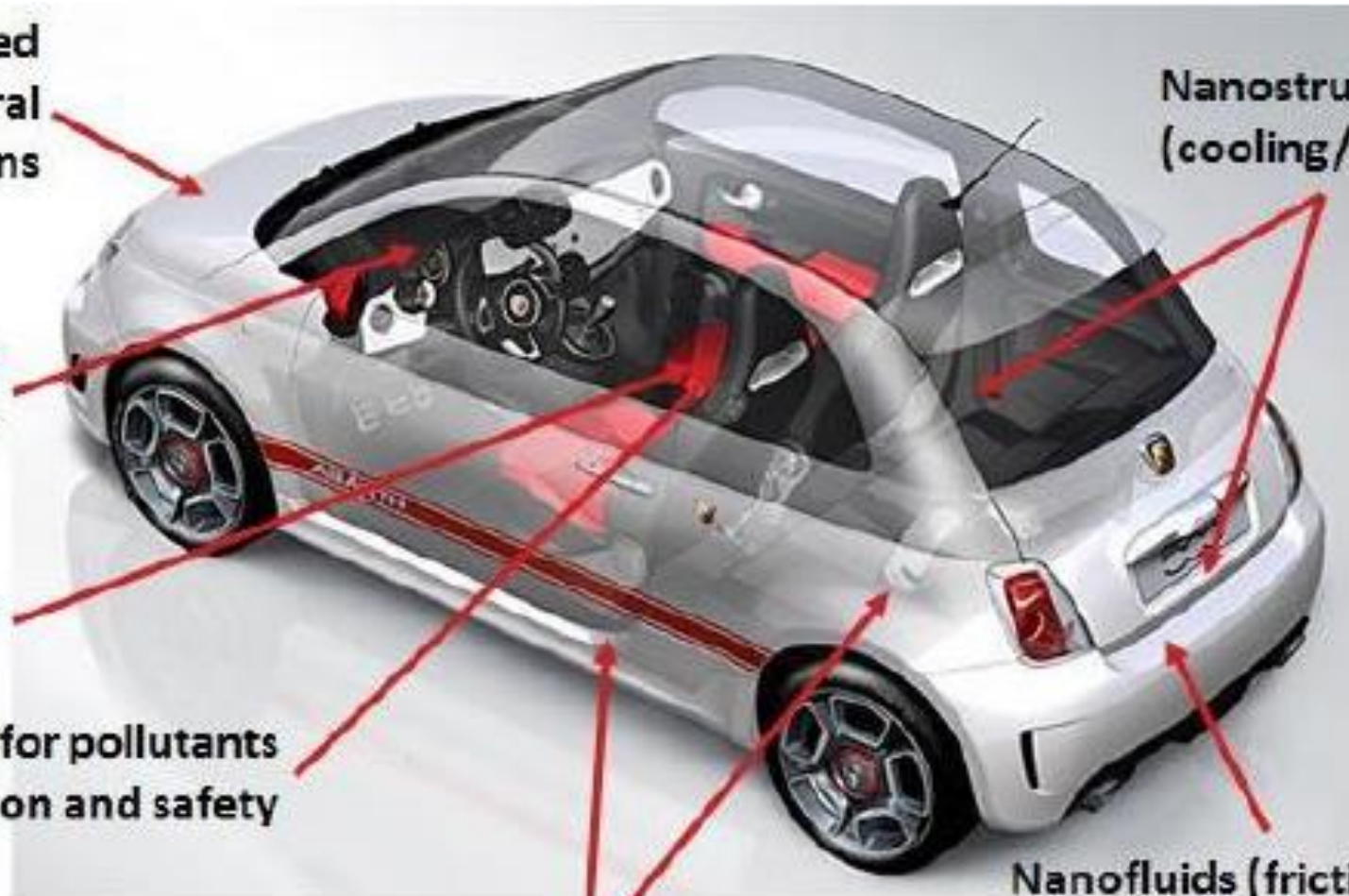
Functional textile

Sensors for pollutants detection and safety

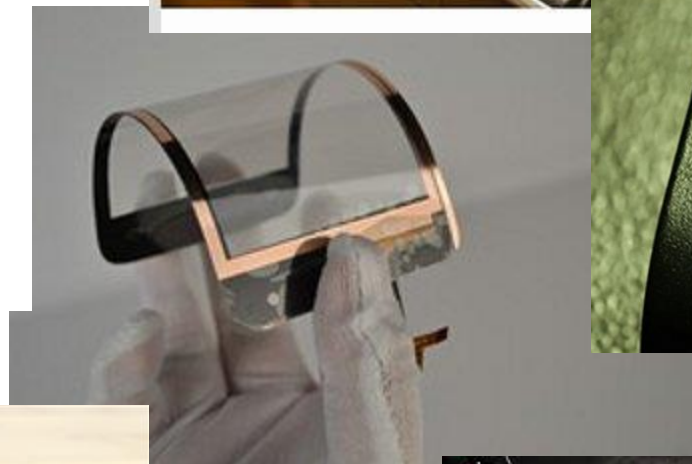
Nanostructured TE materials (cooling/heat recovery)

Nanofluids (friction/thermal management)

Smart adhesives



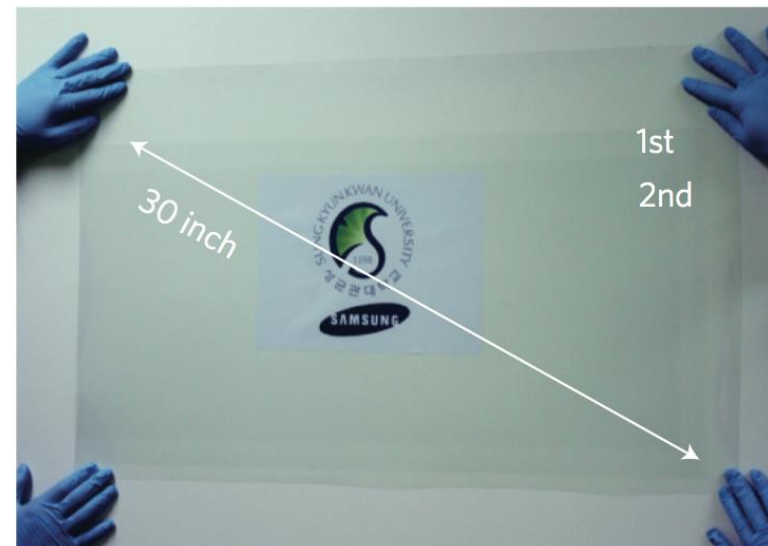
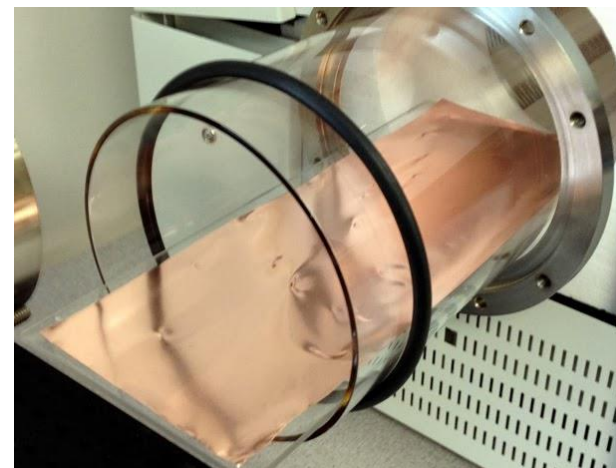
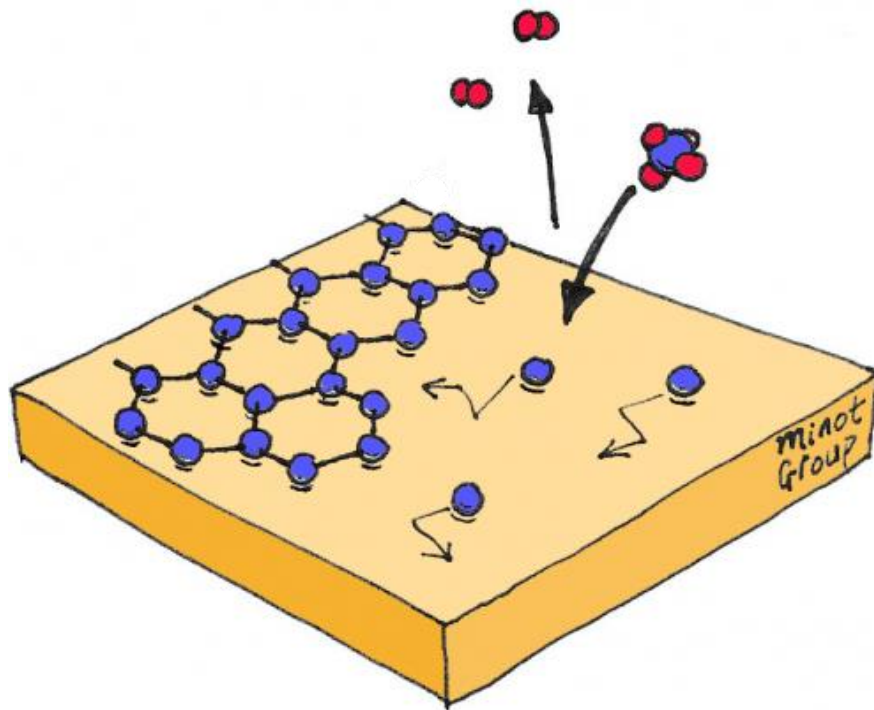
Produtos no mercado



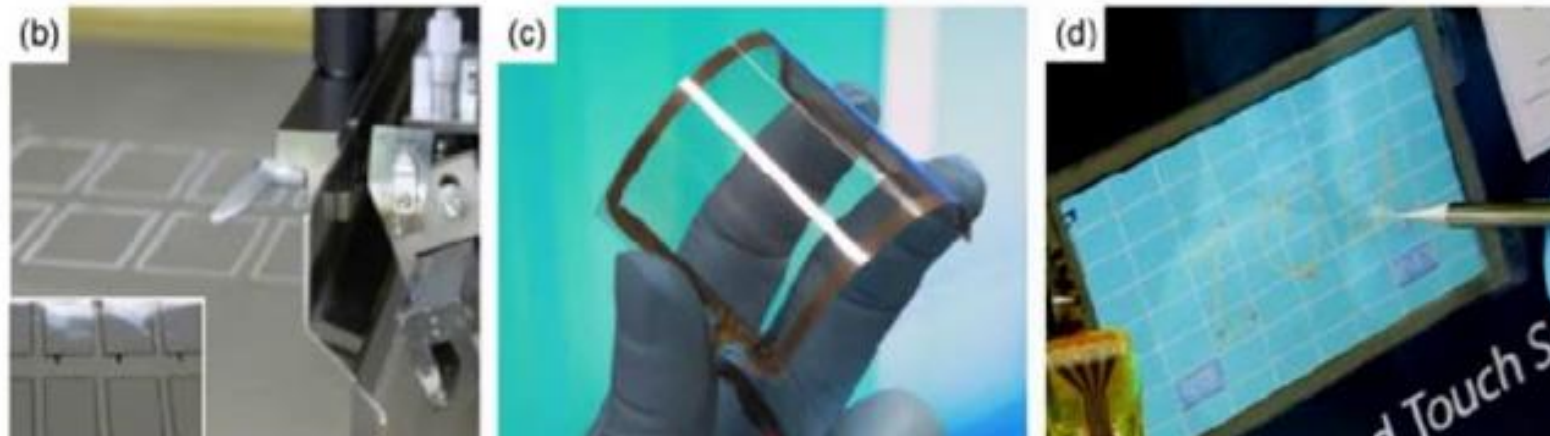
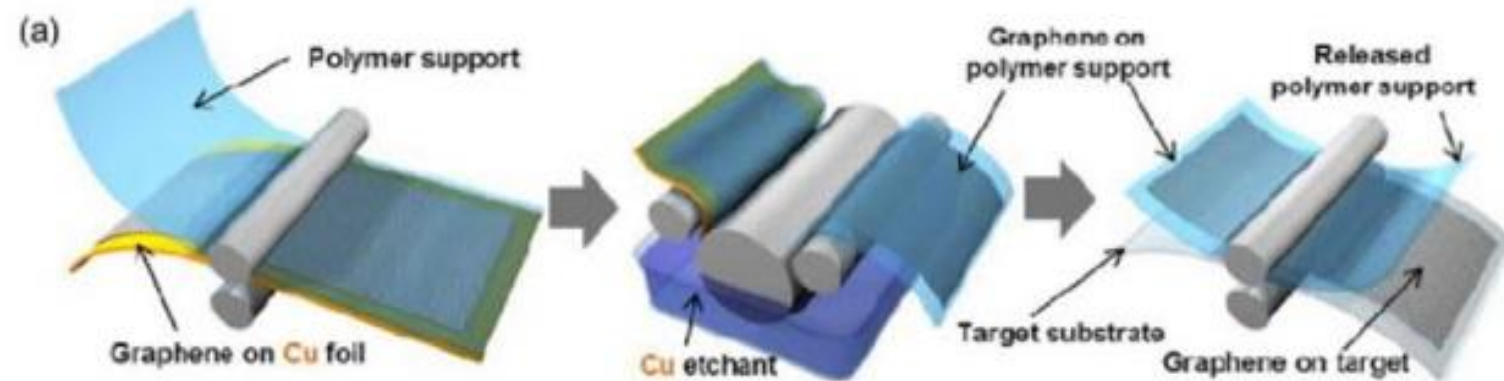
Síntese de Grafeno

Deposição Química em Fase Vapor (CVD)

$T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\text{CH}_4 + \text{H}_2$
Substrato: Cobre e/ou Níquel

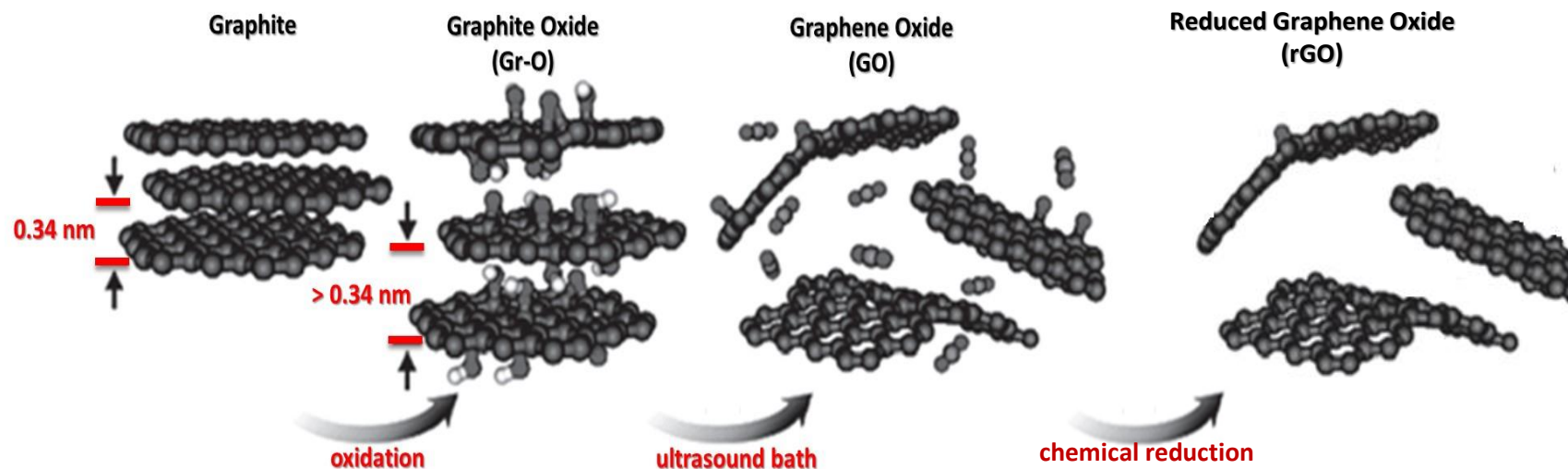


Aplicação do grafeno e seus derivados



<https://www.youtube.com/watch?v=y-fWP9gYZLE>

Esfoliação química de grafite



Vantagens

Baixo custo

Processabilidade

Alto rendimento

Meios aquosos

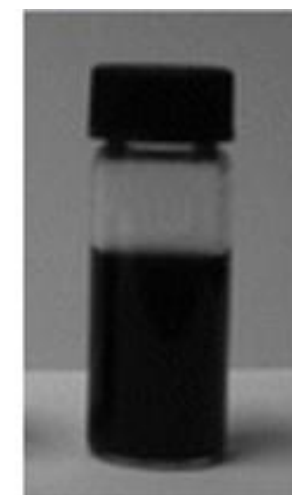
Desvantagens

Baixa condutividade elétrica

Grafeno com defeitos



GO



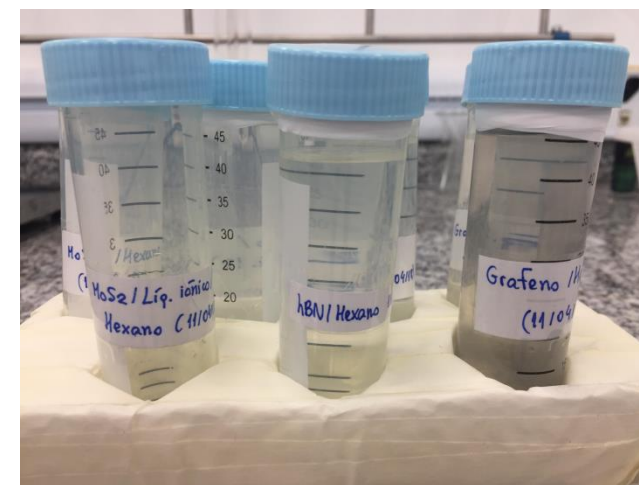
rGO

Carbon, v. 45, p.1558-1565, 2007. Química Nova, v. 37, p.1639, 2014.

Esfoliação de grafite em fase líquida



- Baixo custo
- Alto rendimento
- Meios aquosos
- Alta condutividade elétrica
- Possibilidade de esfoliar na presença do polímero
- Permitir esfoliar outros materiais 2D



Bonaccorso, F.; Sun, Z. Optical Materials Express 4(1) (2014).

Georgakilas, V. et al. Chem. Rev. 116, 5464–5519 (2016).

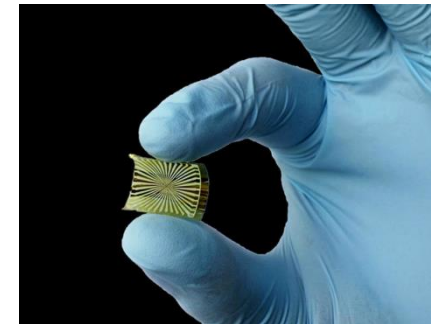
Compósitos

Materiais automotivos,
aeronáuticos e esportivos
de alto desempenho



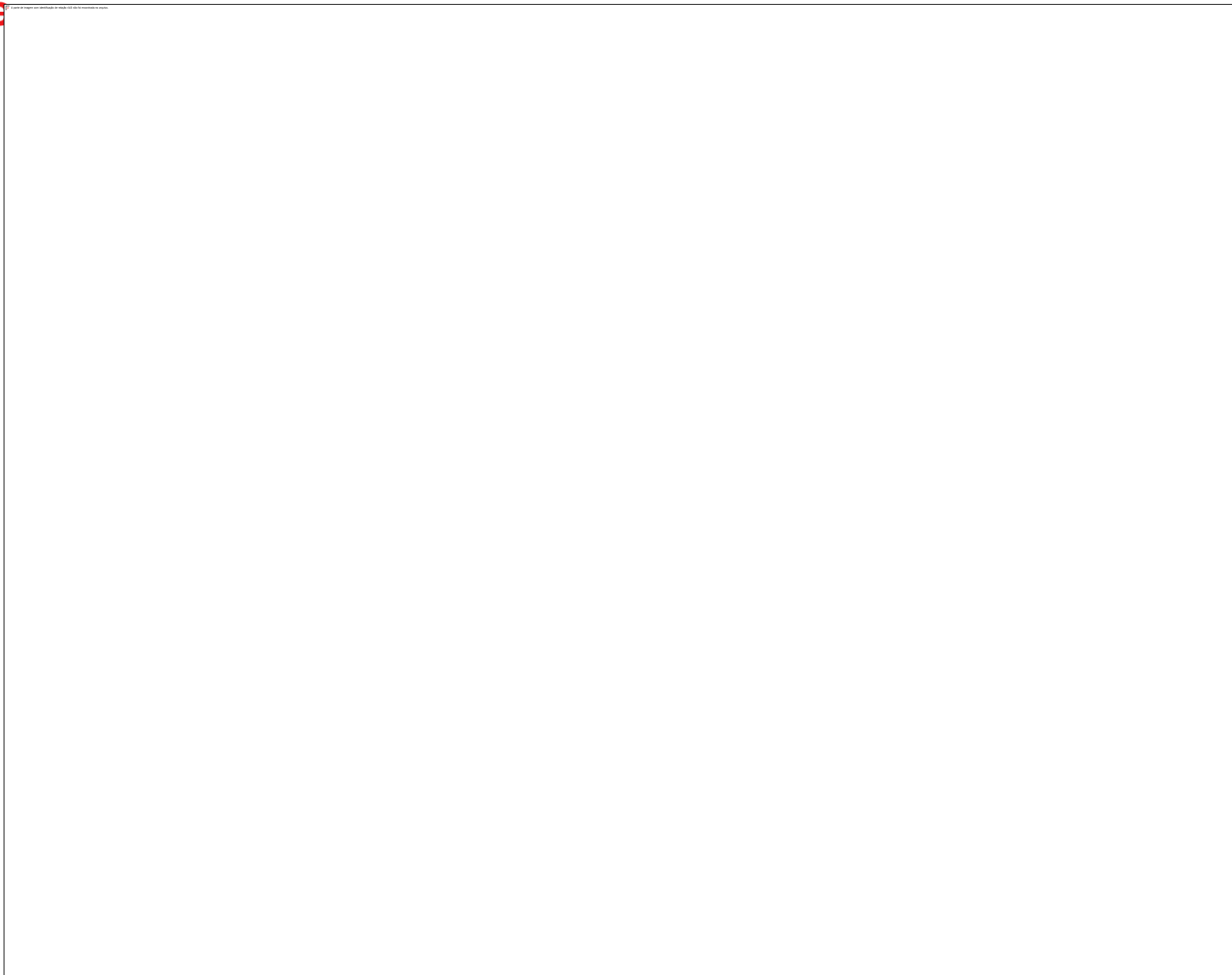
Tintas e revestimentos
condutivos/anticorrosivos

Materiais biocompatíveis/bio-seletivos



Embalagens, tecidos e
membranas inteligentes

Nanocompósitos de Grafeno



Materiais (Nano)Compósitos

Constituído por dois ou mais materiais com propriedades físicas ou químicas diferentes que, quando combinados, produzem um material de maior qualidade.

É o material mais Fino

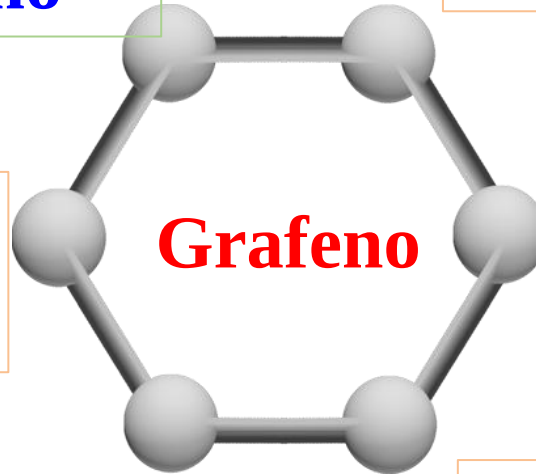
É o material mais Leve

**Possui a maior
Condutividade Térmica**

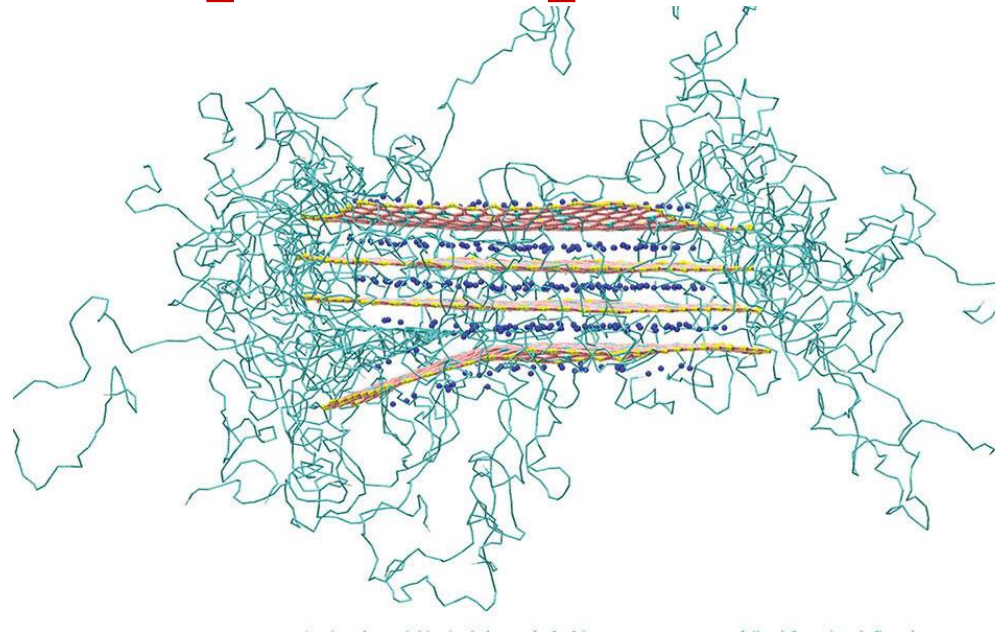
É Transparente

**É o melhor Condutor
de Eletricidade**

É o material mais Forte



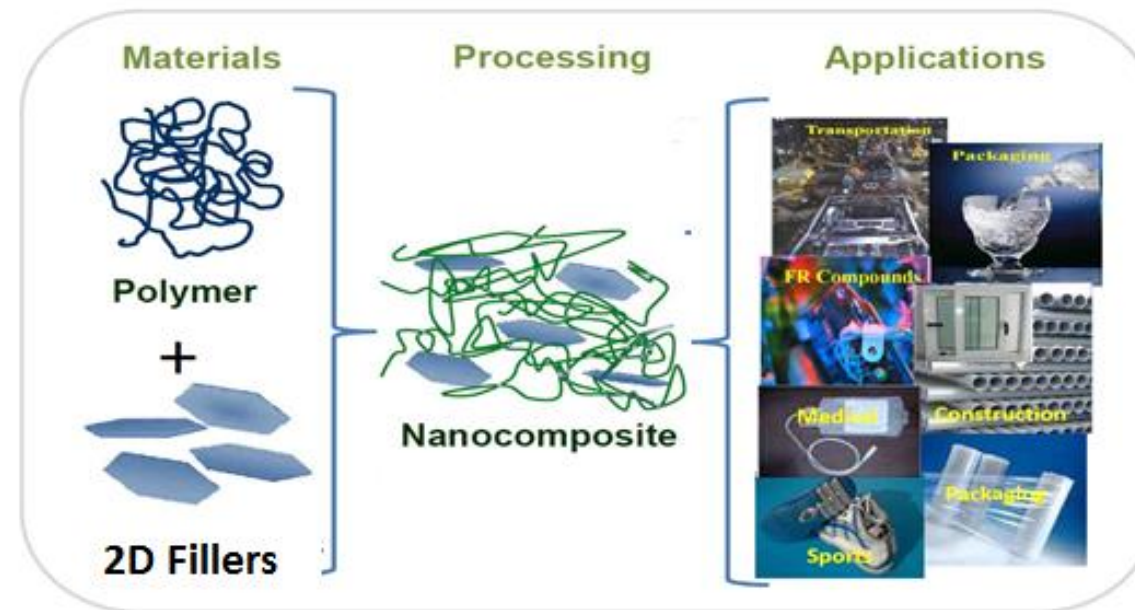
Porque usar grafeno em compósitos poliméricos?



- Área de superfície muito elevada
- Baixo nível de conteúdo grafeno necessário para alcançar as propriedades desejadas
- Todas as propriedades especiais do grafeno
- Podemos manipular a estrutura química do grafeno e matriz de polímero

Materiais Nanocompósitos Poliméricos

- Combinar as propriedades de processamento vantajosas dos polímeros com as propriedades desejadas de Nanomateriais específicos
- Baixa quantidade de Nanomateriais
- Propriedades mecânicas, de barreira, elétricas e térmicas melhoradas



Propriedades

- Propriedades mecânicas (tensão, deformação, abrasão, tenacidade)
- Propriedade de atrito (propriedade tribológica)
- Propriedade anti-chama
- Propriedade absorção/bloqueio de radiação eletromagnética
- Propriedade de impermeabilidade
- Propriedade anti-UV
- Propriedade condutividade térmica
- Propriedade anti-microbiana
- Propriedade condutividade elétrica
- Propriedade de luminescência (eletroluminescência)

Propriedades dos nanocompósitos de grafeno

Propriedades mecânicas

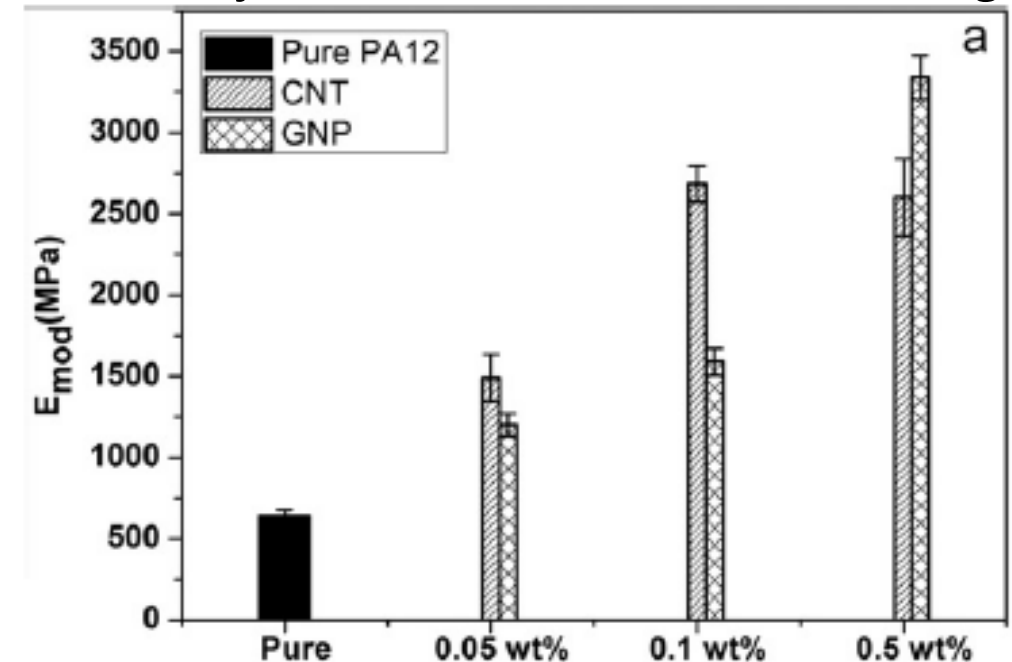
Vários exemplos demonstram a melhoria significativa das propriedades mecânicas com grafeno

Polipropileno com oxido de grafeno reduzido

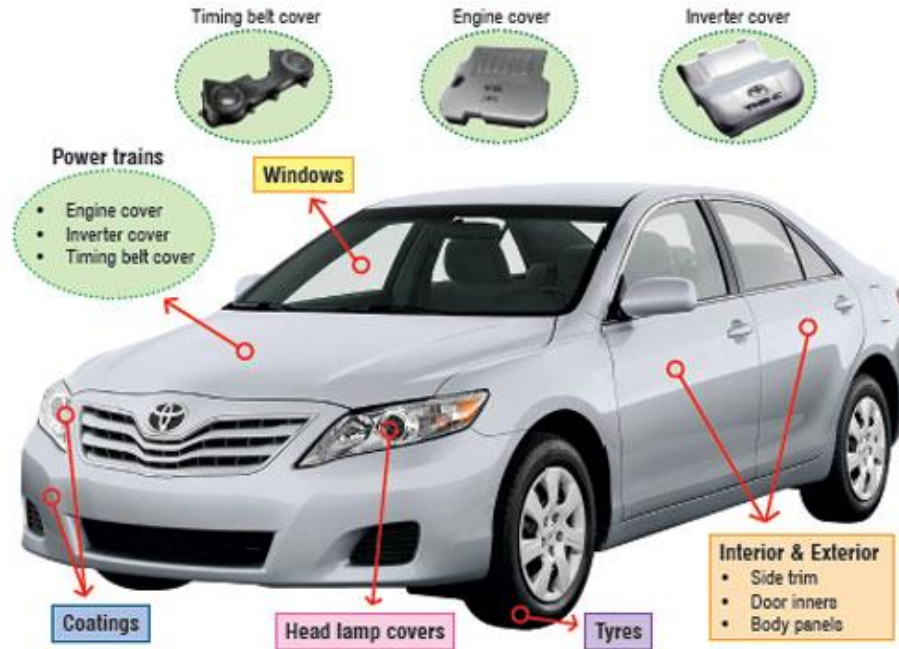
GNs content		Young's Modulus, E (Mpa)	% increase of E	Tensile strength, σ (Mpa)	% increase of σ	Elongation at break (%)
Wt%	Vol%					
0	—	1154.48	—	33.98	—	279.91
0.2	0.08	1252.21	14.66	37.58	10.59	36.33
0.5	0.2	1576.96	36.59	38.81	14.21	28.34
1	0.4	1785.33	54.64	43.93	29.28	27.49
1.5	0.6	1888.27	63.55	51.37	51.17	26.28
2	0.8	2040.04	76.70	56.17	65.30	21.71
3	1.2	2314.61	100.48	61.57	81.19	19.09

Mounir El Achaby et al., Polymer Comp., 2012

Poliamida 12 reforçada com Nanotubos de carbono e grafeno



S. Chatterjee et al., Chemical Physics Letters 557 (2013) 92–96



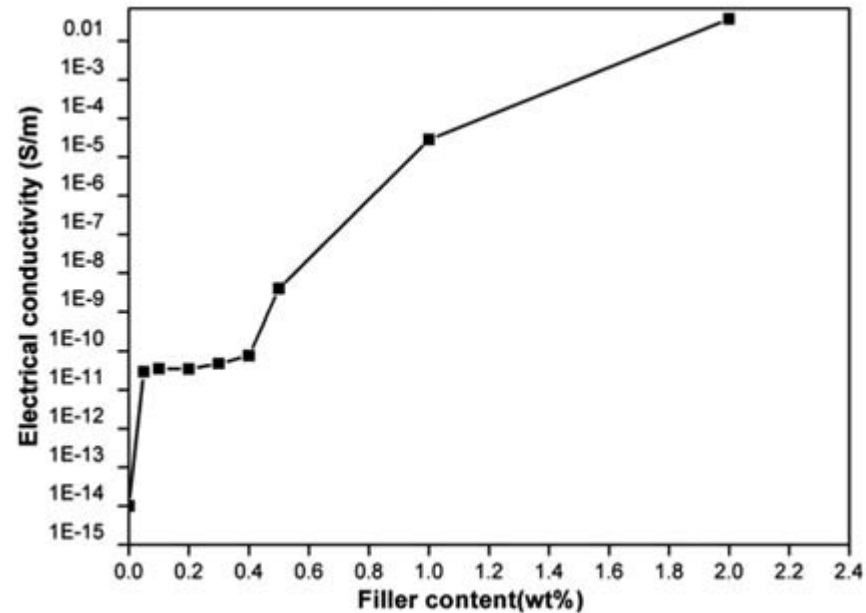
- Alto Desempenho
- Diminuição da energia consumida.



Propriedades dos nanocompósitos de grafeno

Propriedade elétrica

Poly(-methyl metracrylate) (PMMA)/RGO



Óxido de grafeno reduzido (rGO)

Aumento da condutividade elétrica com baixa concentração de grafeno

Blindagem à interferência eletromagnética

- Proteger da interferência eletromagnética:

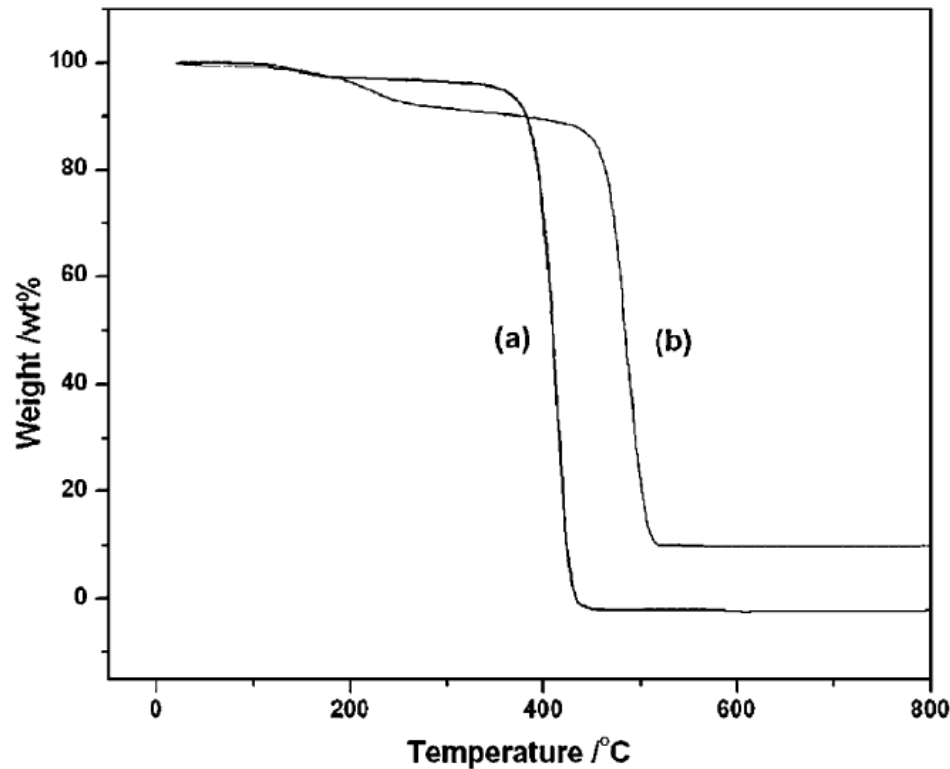
- ☐ Antenas
- ☐ Painéis e estrutura de aviões
- ☐ Aparelhos militares
- ☐ Automóveis inteligentes
- ☐ ...



Propriedades dos nanocompósitos de grafeno

Propriedade térmica

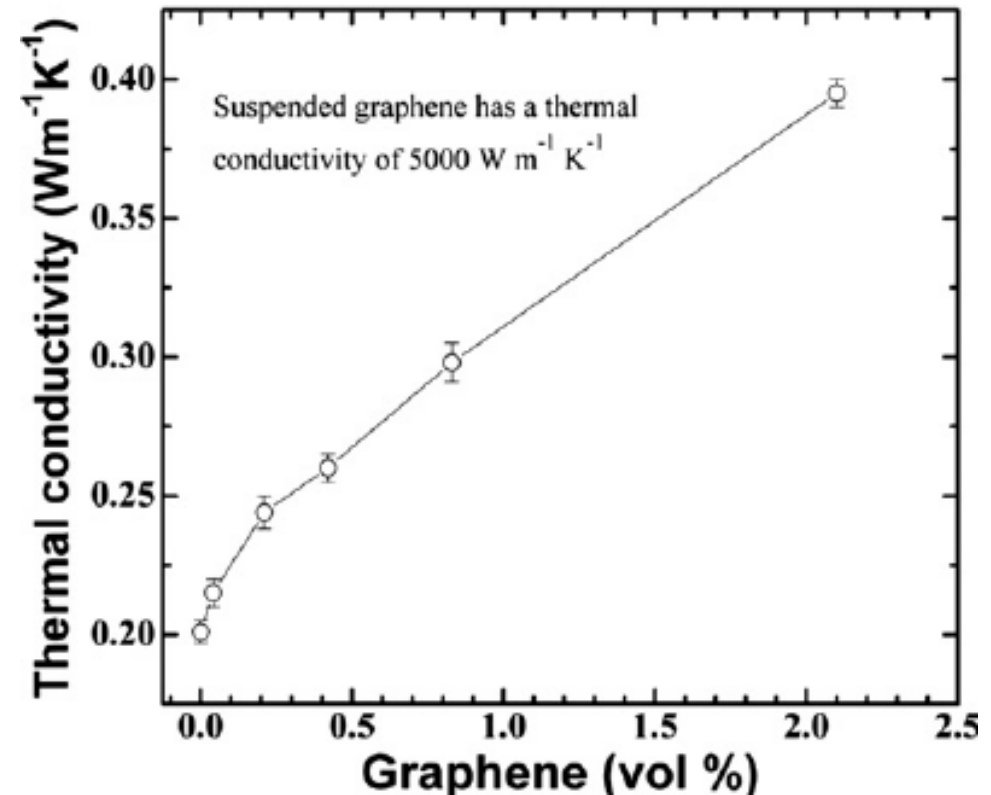
Poliestireno / grafeno



- Aumento da temperatura de degradação

Saravanan et al., J. Reinf. Plast. And Comp., 2014
Kuilla et al., Progress in Polymer Science 35 (2010) 1350–1375

Polipropileno / grafeno



- Aumento da condutividade térmica

Propriedades dos nanocompósitos de grafeno

Propriedade térmica



Aplicações de Grafeno em Embalagens

- Impermeabilidade seletiva
- Transparência
- Flexível e resistente
- Condutividade Térmica/Elétrica



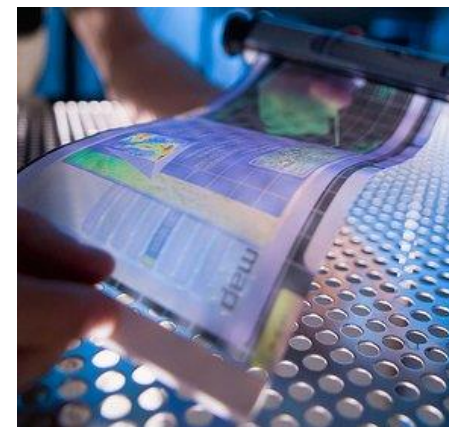
Monitoramento on-line em embalagens inteligentes:

- Decomposição/contaminação do produto
- Temperatura
- Humidade
- Oxidação e redução devido a gases

Tintas Anti-corrosivas e Condutoras



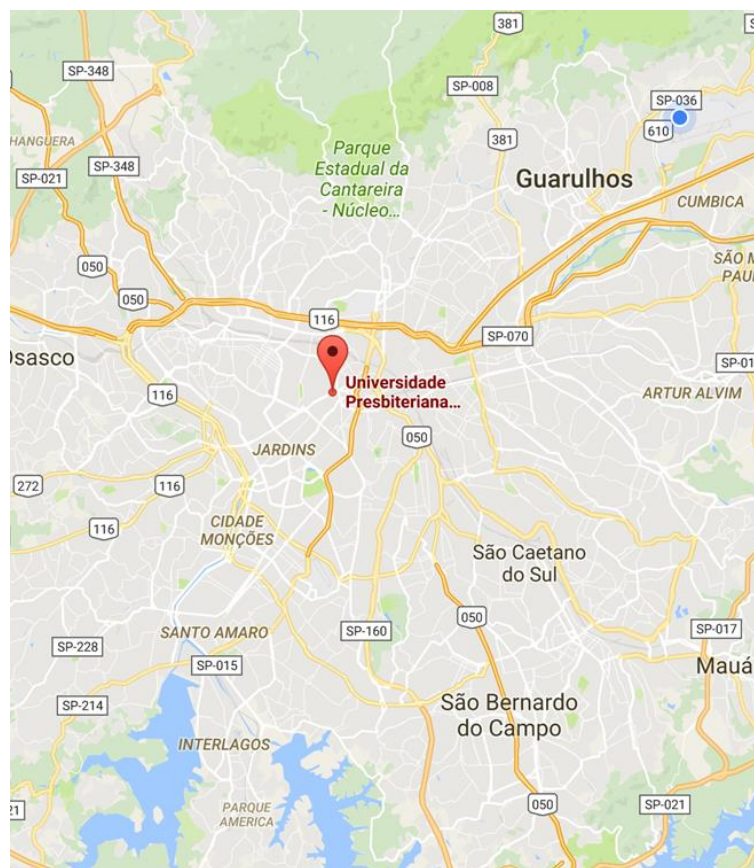
- Proteção superficial
- Sensores com eletrônicos imprimíveis e flexíveis.



O MackGraphe

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias)

Localizado no coração de São Paulo



MackGraphe

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias)

- É o centro de pesquisas em grafeno e nanomateriais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, localizado no Campus Higienópolis da Universidade.
- O MackGraphe iniciou suas atividades em 2013 e tem um investimento total da ordem de **R\$100.000.000,00** do Instituto Presbiteriano Mackenzie; **R\$10.000.000,00** da FAPESP e **R\$800.000,00** do CNPq.
- O prédio-sede do MackGraphe foi inaugurado em 3 de março de 2016



MackGraphe

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias)

O MackGraphe tem por missão investigar as propriedades do grafeno e de outros nanomateriais bidimensionais com uma ***visão de engenharia aplicada***, e desenvolver tecnologias que atendam às reais necessidades da sociedade em próxima colaboração com indústrias.



Fotônica

Grafeno na geração, controle e detecção da luz para:

- Comunicação por fibra óptica
- Comunicação e processamento de dados em *microchips*;
- Outras aplicações

Energia

Grafeno para armazenamento e produção de energia:

- Dispositivos flexíveis, leves e portáteis;
- Baterias;
- Supercapacitores;
- Células combustíveis.

Teoria

- Modelagem e simulação de grafeno e novos materiais bidimensionais.

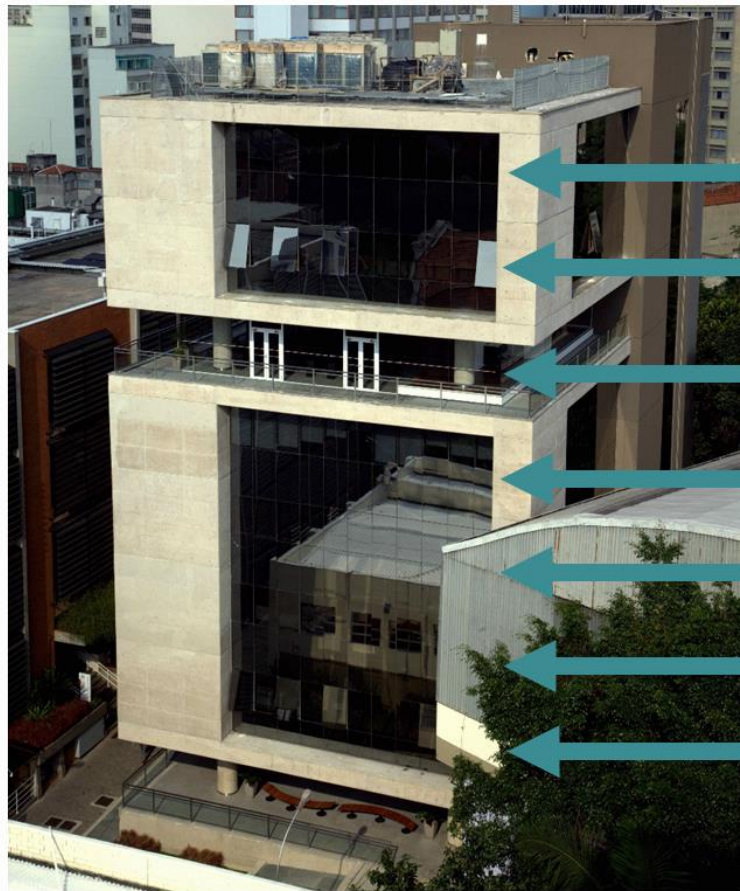
Compósitos

Materiais plásticos contendo grafeno para:

- Setor automotivo, aeronáutico e esportivo;
- Tintas e revestimentos condutivos/anticorrosivos;
- Materiais biocompatíveis/bio-seletivos;
- Embalagens, tecidos e membranas inteligentes.

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias)

Lab. CVD, Labs.
Multiusuários e
Sala limpa



Admin.

Spin offs

Auditório

Escritórios

Fotônica

Energia

Compósitos

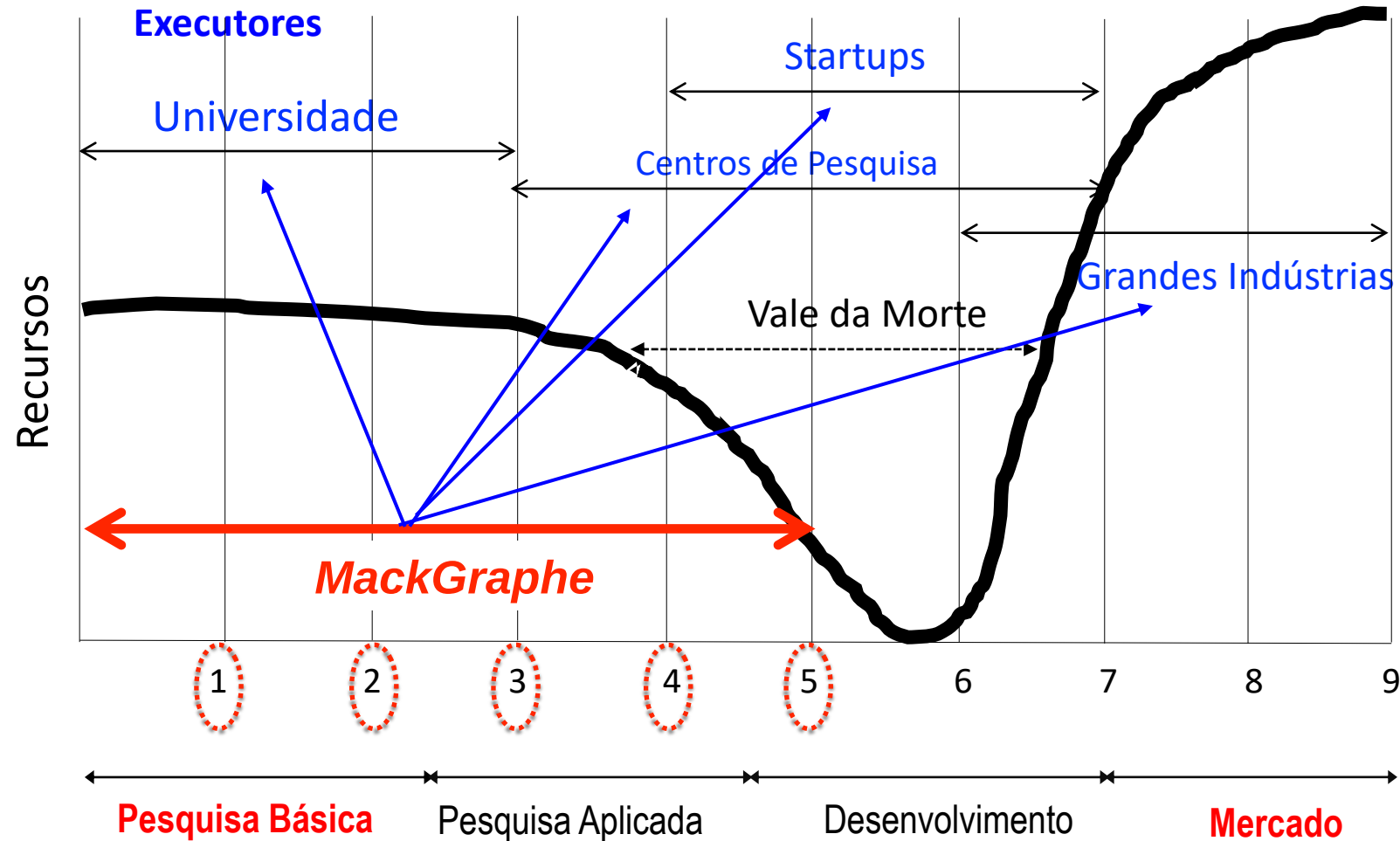
MackGraphe

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno,
Nanomateriais e Nanotecnologias)



Prof. Castro Neto; Prof. Thoroh; Sir A. Geim; Dean Benedito and President Maurício.

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias)



Produção mundial de grafite

China – 780.000 ton. (67%)

Índia – 170.000 ton. (15%)

Brasil – 80.000 ton. (7%)

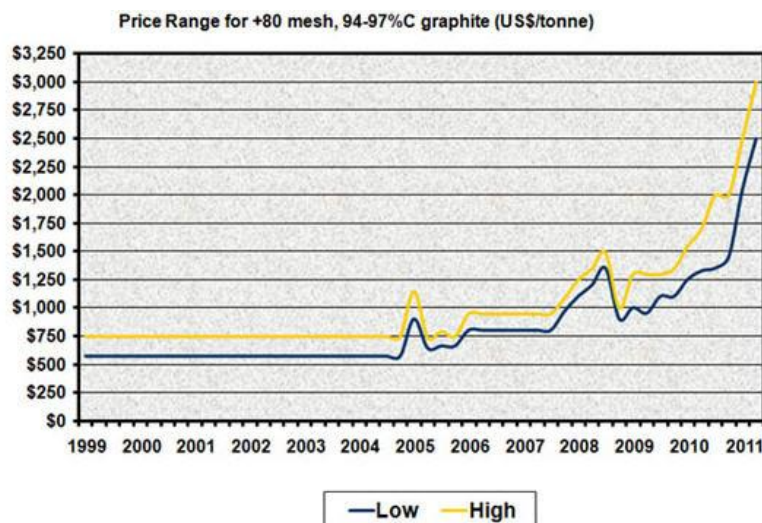
Turquia – 30.000 ton. (2%)

Canadá – 30.000 ton. (2%)

Coreia do Norte – 30.000 ton. (2%)

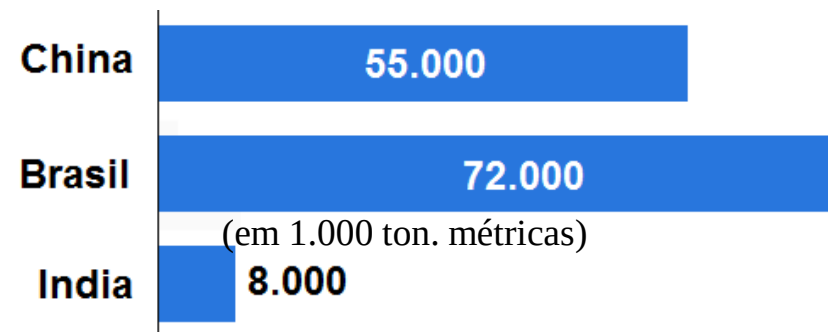
<https://investorintel.com>

Preço do grafite



<http://www.mining.com>

Reservas de grafite



<https://www.statista.com/statistics/267367/reserves-of-graphite-by-country/>

Empresas produzindo ou utilizando grafeno



<https://www.graphene-info.com/companies>

MackGraphe

(Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno,
Nanomateriais e Nanotecnologias)



Professor
Visitante

Fotônica



Energia



Compósitos



Teoria



Alunos Atuais: 140
(do Brasil e exterior)

Pós-Doutorado
Doutorado
Mestrado
Iniciação Científica

Agradecimentos



International Congress on Rheology 2020

Rio de Janeiro,
2-7 August 2020

www.icr2020.com





Ricardo J. E. Andrade

ricardo.andrade@mackenzie.br

