



TECNOLOGIAS DO FUTURO

**GRAFENO: APLICAÇÕES E
OPORTUNIDADES PARA O BRASIL**

ANTONIO H. CASTRO NETO

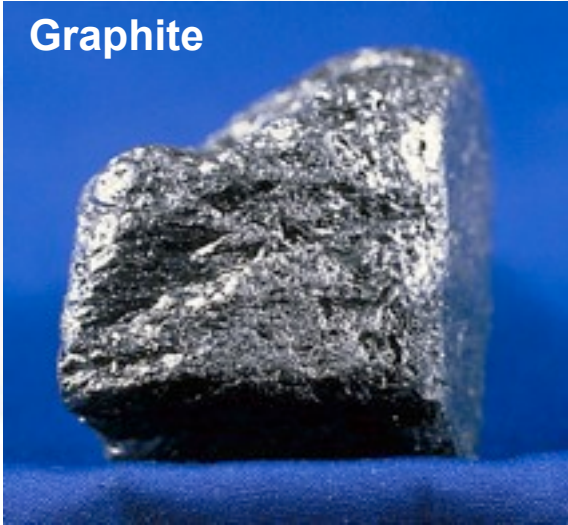
**Graphene Research Center
National University of Singapore
Boston University, USA**

ABINEE TEC 2013

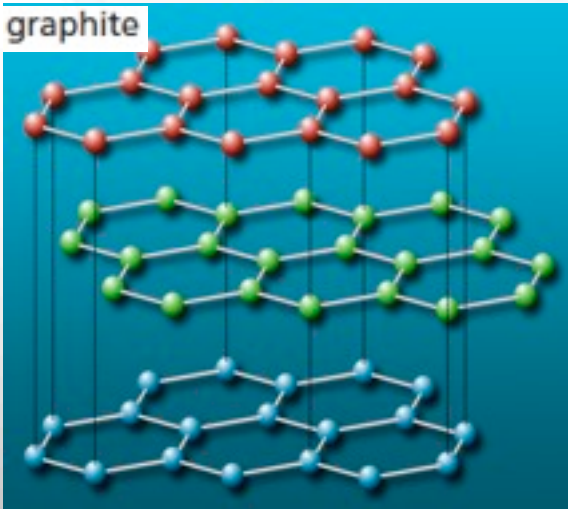
1º Abril 2013, Anhembi, São Paulo

O que é o GRAFENO ?

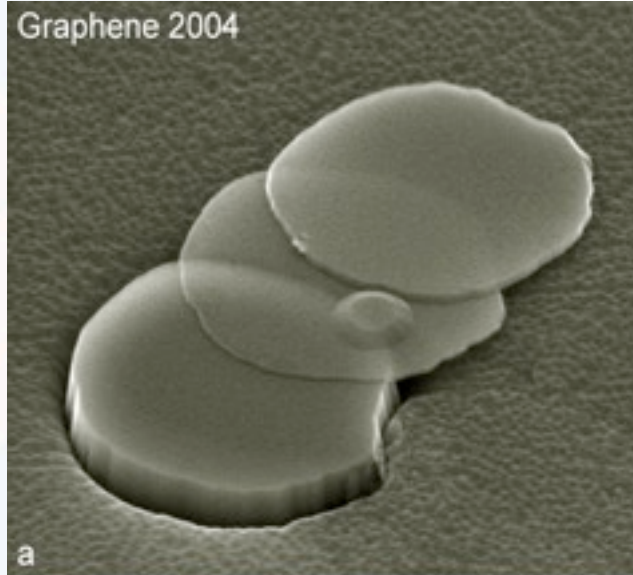
Graphite



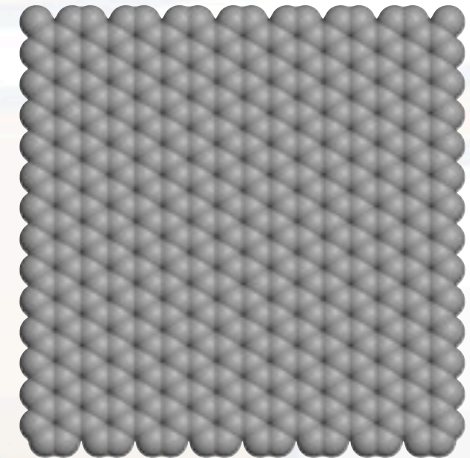
graphite



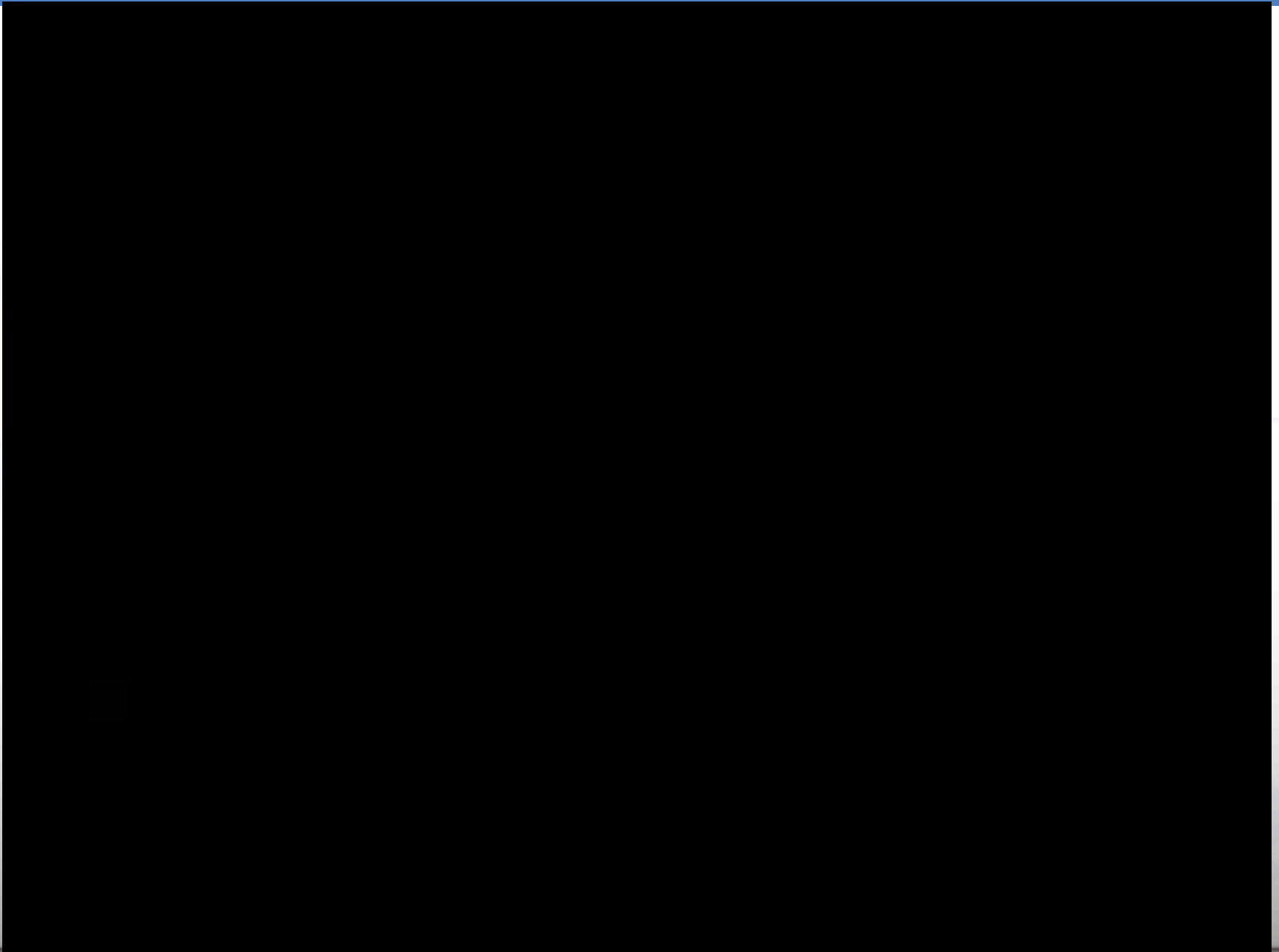
Graphene 2004



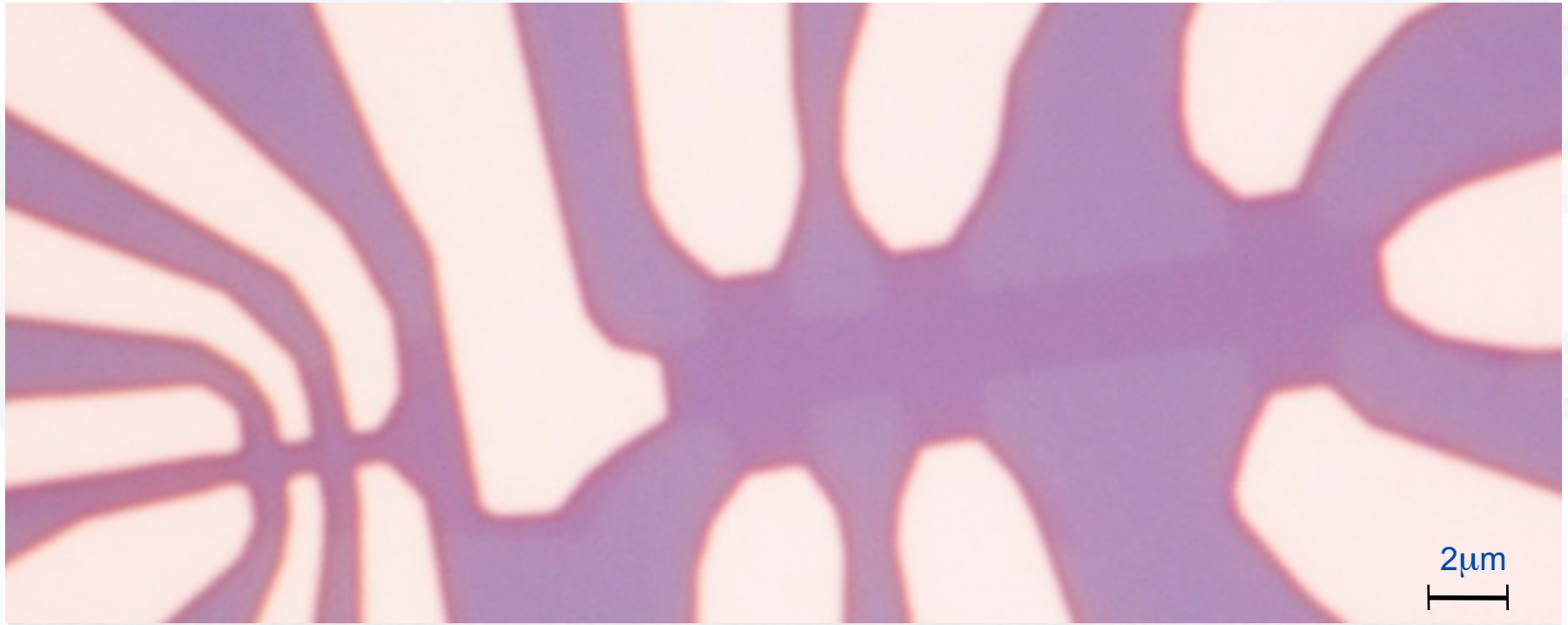
GRAFENO



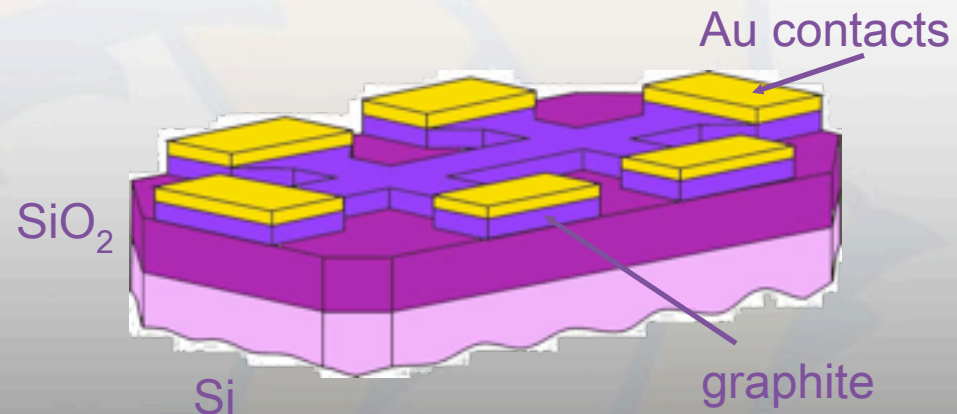
2004: Avanço - Isolamento de uma camada



2005: Os primeiros circuitos eletrônicos



- Imagem óptica
- Microscópio eletrônico
- Desenho do circuito
- Contatos



2010: Prêmio Nobel de Física



Extração química do GRAFENO através do grafite



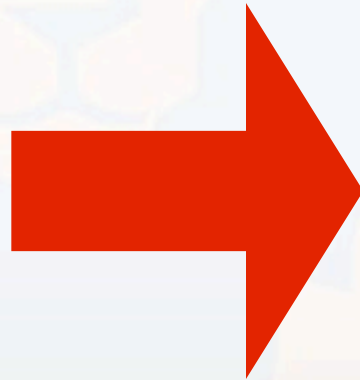
Brasil



Canada



China



- Exfoliação química
- Expansão
- Separação



Grafeno



Resíduos

Reservas mundiais de grafite

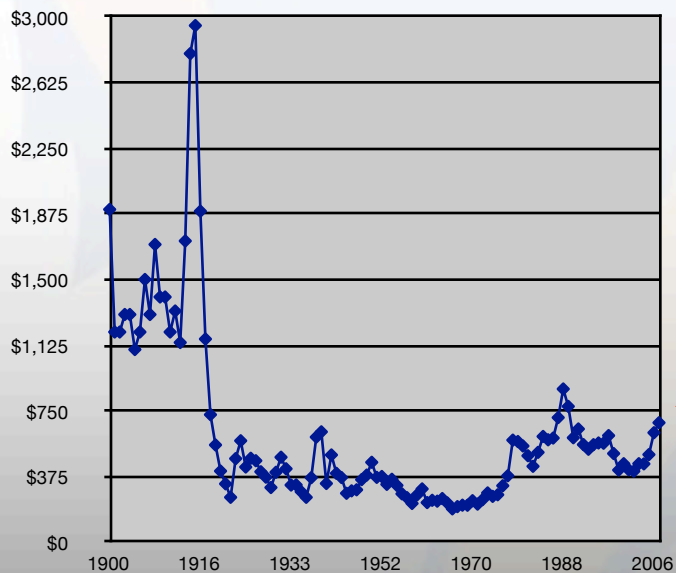
Tabela 1 - Reserva e Produção Mundial

Discriminação Países	Reserva (10 ³ t)		Produção(10 ³ t)	
	2010 ^(p)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	%
Brasil ⁽¹⁾	59.500	59	88	8,0
China	55.000	800	800	72,7
Índia	5.200	130	130	11,8
Coreia do Norte	nd	30	30	2,6
Canadá	nd	25	25	2,3
México	3.100	5	5	0,4
Ucrânia	nd	6	6	0,5
Madagascar	940	5	5	0,4
República Tcheca	1.300	3	nd	0,3
Outros Países	6.400	37	11	1,0
TOTAL	131.440	1.100	1.100	100

Fontes: DNPM/DIPLAM ;USGS:Mineral Commodity Summaries – 2011. (1) Reservas Lavráveis; (e) Dados estimados, exceto Brasil; (r) Revisado; (p) Preliminar; (nd) Dado não Disponível.

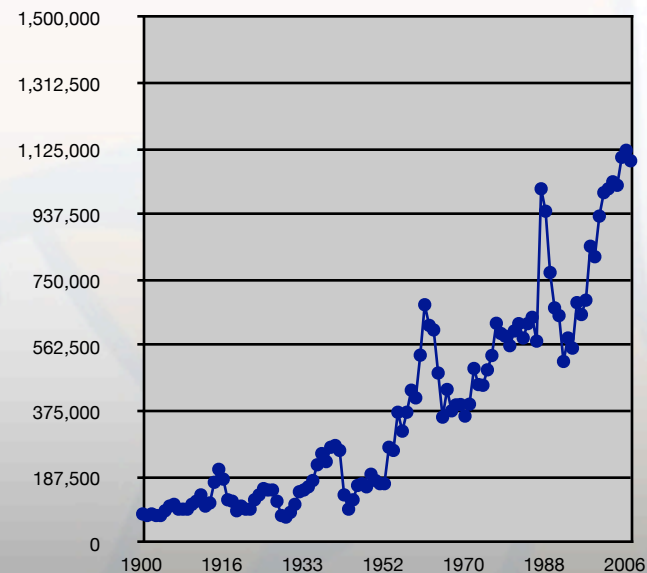
DNPM - 2012

Preço da tonelada métrica



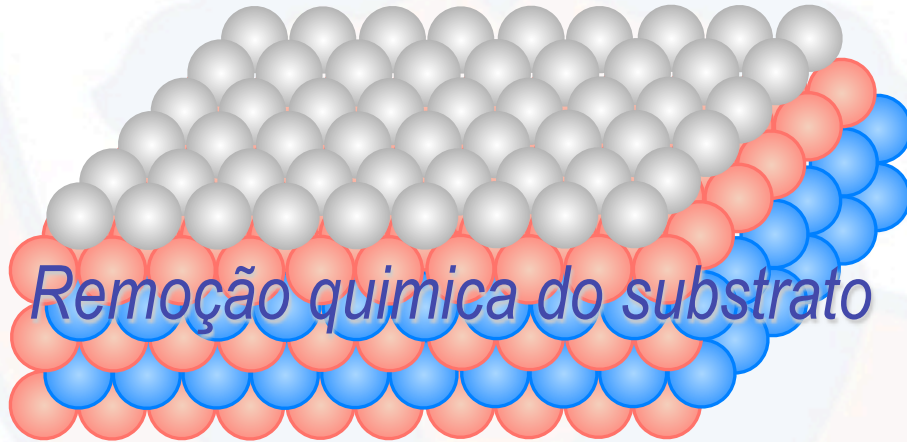
US \$1/kg

Produção mundial em toneladas métricas



Crescimento artificial a partir de compostos ricos em C

Crescimento epitaxial de mono-camadas



B. H. Hong et al, Nature Nanotech. 2010



Primeira demonstração

Samsung 2010

Grafeno em pastilhas de Si
uniforme; mono-camada;
poli-cristalina; $\mu > 5,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

Propriedades físico-químicas do GRAFENO

Propriedades Físico-Químicas	Aplicações
Alta condutividade e mobilidade elétrica ($\rho \sim 150 \Omega/\square$, $\mu \sim 200.000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)	Condutores elétricos (fios e fitas) de alta eficiência, transistores de alta frequência, padrões de resistência elétrica
Alta resistência mecânica ($Y \sim 1 \text{ TPa}$, $F \sim 130 \text{ GPa}$)	Materiais compostos, sensores de pressão
Alta razão área/massa ($2600 \text{ m}^2/\text{g}$)	Armazenamento de energia (baterias, supercapacitores), células de combustível.
Alta transparência (97%)	Eletrodos transparentes, fotônica
Alta capacidade de amperagem ($10^9 \text{ A}/\text{cm}^2$)	Fiação elétrica leve de alta amperagem
Alta sensibilidade química	Sensores químicos e biológicos
Alta condutividade térmica ($3000 \text{ W}/\text{mK}$)	Armazenamento e gerenciamento de calor
Alta impermeabilidade	Barreira química e biológica, revestimento
Alto grau de hidrofobicidade	Repelente de água

Áreas de impacto Industrial do GRAFENO

Aeronáutica	• Freios de aeronaves • Compostos de polímeros • Revestimento para blindagem eletromagnética • Barreira térmica • Revestimentos anti-fogo	• Revestimento anti-congelamento • Revestimento anti-interferência de rádio frequência • Revestimento anti-rebêlo • Gerenciamento térmico • Monitoramento estrutural de aeronaves
Automotiva	• Revestimento de barreira térmica • Revestimento anti-desgaste mecânico • Pintura de pulverizador eletrostático • Tintas de blindagem eletromagnética de rádio frequência	• Células de combustível • Revestimento de tanques e linhas de combustível • Baterias de Li • Polímeros compostos
Biomédica	• Materiais bactericidas • Revestimento de equipamento cirúrgico (stents, etc) • Crescimento artificial de células	• Sensores biológicos • Lab-on-a-chip (LOC) • Plataformas biocompatíveis
Tintas, Revestimentos	• Revestimentos anti-corrosão • Filmes transparentes condutivos • Revestimentos hidrofóbicos	• Filmes impermeáveis • Empacotamento
Comunicações	• Amplificadores • Multiplicadores de frequência	• Foto-detetores de alta velocidade • Comunicação ótica
Materiais Compostos	• Compostos para blindagem eletromagnética e rádio frequência • Recipientes de combustível • Ligas de grafeno para uso militar	• Compostos de grafeno com polímeros • Compostos de grafeno e poliestireno • Compostos para turbina de vento
Eletrônica, opto-eletrônica	• Selos de identificação de rádio frequência • Transistor de campo elétrico • Memória lógica • Circuitos integrados	• Embalagem de blindagem eletromagnética • Fotodetores rápidos para detecção ótica • Eletrônica flexível • Gerenciamento térmico
Energia	• Revestimento de linhas de transmissão • Supercapacitores • Eletrodos transparentes para baterias • Células solares	• Células fotovoltaicas • Armazenamento de hidrogênio • Material catalítico
Sensores	• Químicos e gases • Pressão • Biológicos	• Radiação • DNA • Fotografia

Exemplo: revestimento de materiais



Com G

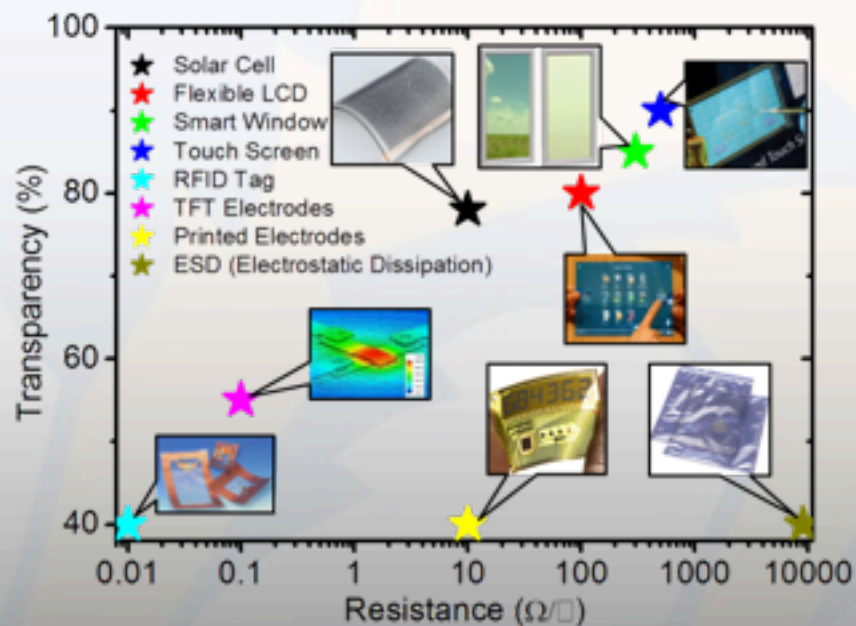
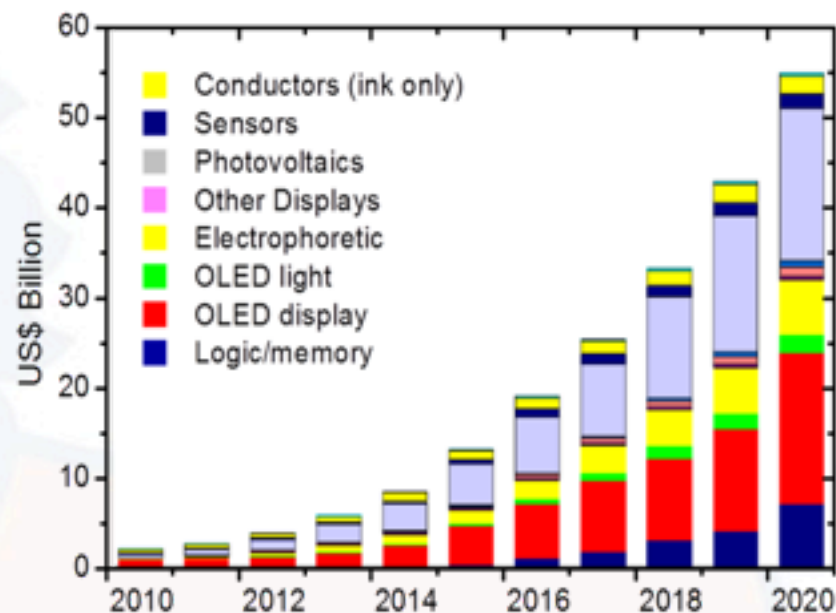
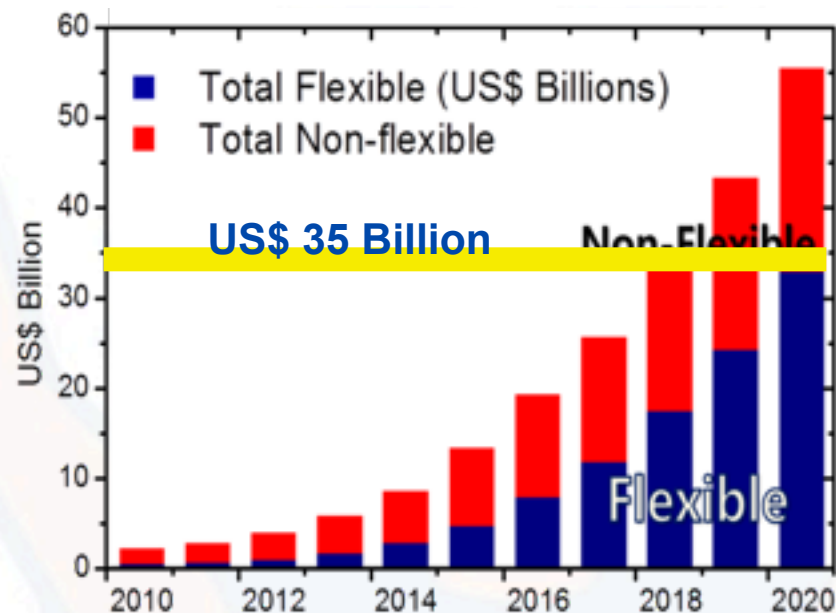


Sem G

Estimativa global em todas as áreas: US\$ 600 bilhões - US\$ 1 trilhão



The Comapany that makes a
Future with Display



Demanda estimada de GRAFENO para 2020



Fonte: Future Markets Inc.

Produtos já no mercado



**Eletrônica de impressão:
flexível, durável...**



Materiais compostos

Investimento Global no GRAFENO

País/Investimento

União Europeia / USD\$ 1.4 Bilhões

USA / USD\$ 80 Milhões

Inglaterra / USD\$ 100 Milhões

Coreia do Sul / USD\$ 450 Milhões

Singapura / USD\$ 120 Milhões



População/Razão

~ 500 Milhões / 2.8

~ 300 Milhões / 0.3

~ 60 Milhões / 1.7

~ 50 Milhões / 9

~ 5 Milhões / 24

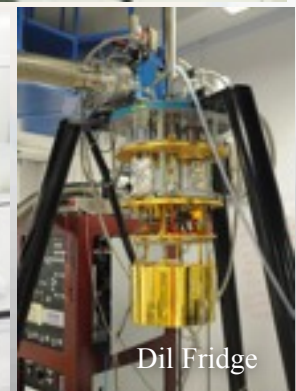
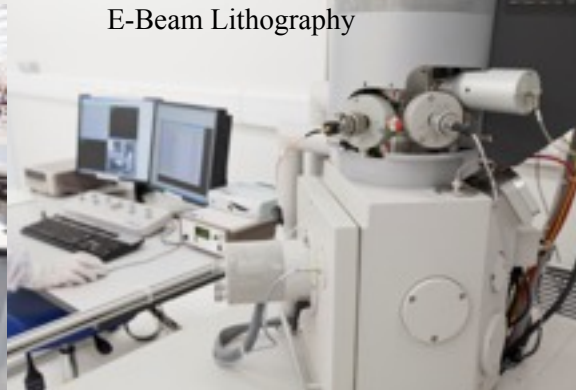
GRAPHENE RESEARCH CENTRE

USD\$ 100 Milhões



www.graphenecenter.org

Instalações de última geração





Modelagem e simulação de novos materiais e dispositivos

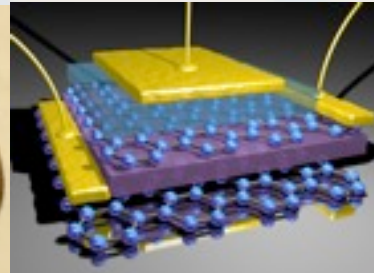
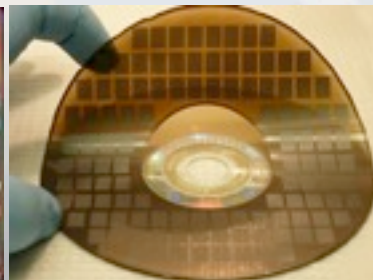
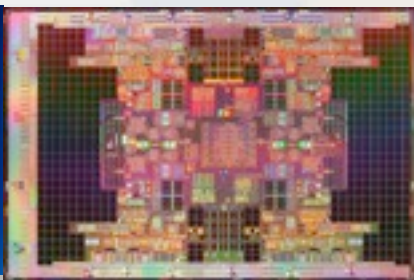


3,000 Xeon E5 cores (800 instalados)
IBM



Propriedade Intelectual, Indústria, colaborações

- > 50 aplicações de patente;
- 1 Spin-off: *Graphite Zero* : US\$ 2 M investimento canadense;
- JDA, BASF, Alemanha;
- JDA, Fuji Electric;
- JSA, IBM, USA;
- JSA, ST Kinetics, Singapura;
- MoU, SKKU/Samsung, Coreia do Sul;
- MoU, Boston University, USA;
- MoU, Manchester University, Inglaterra;
-



Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – NUS



20 de Janeiro de 2012

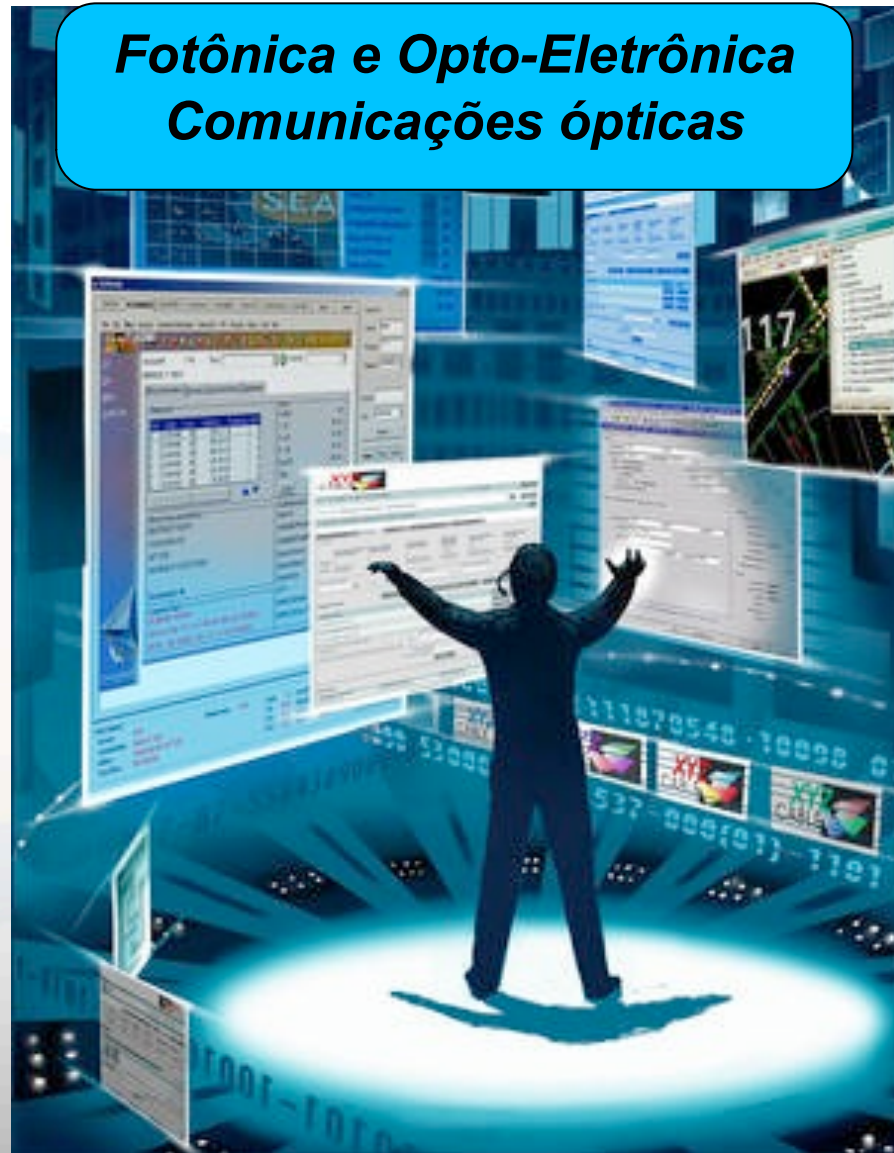
Em Fevereiro de 2012:

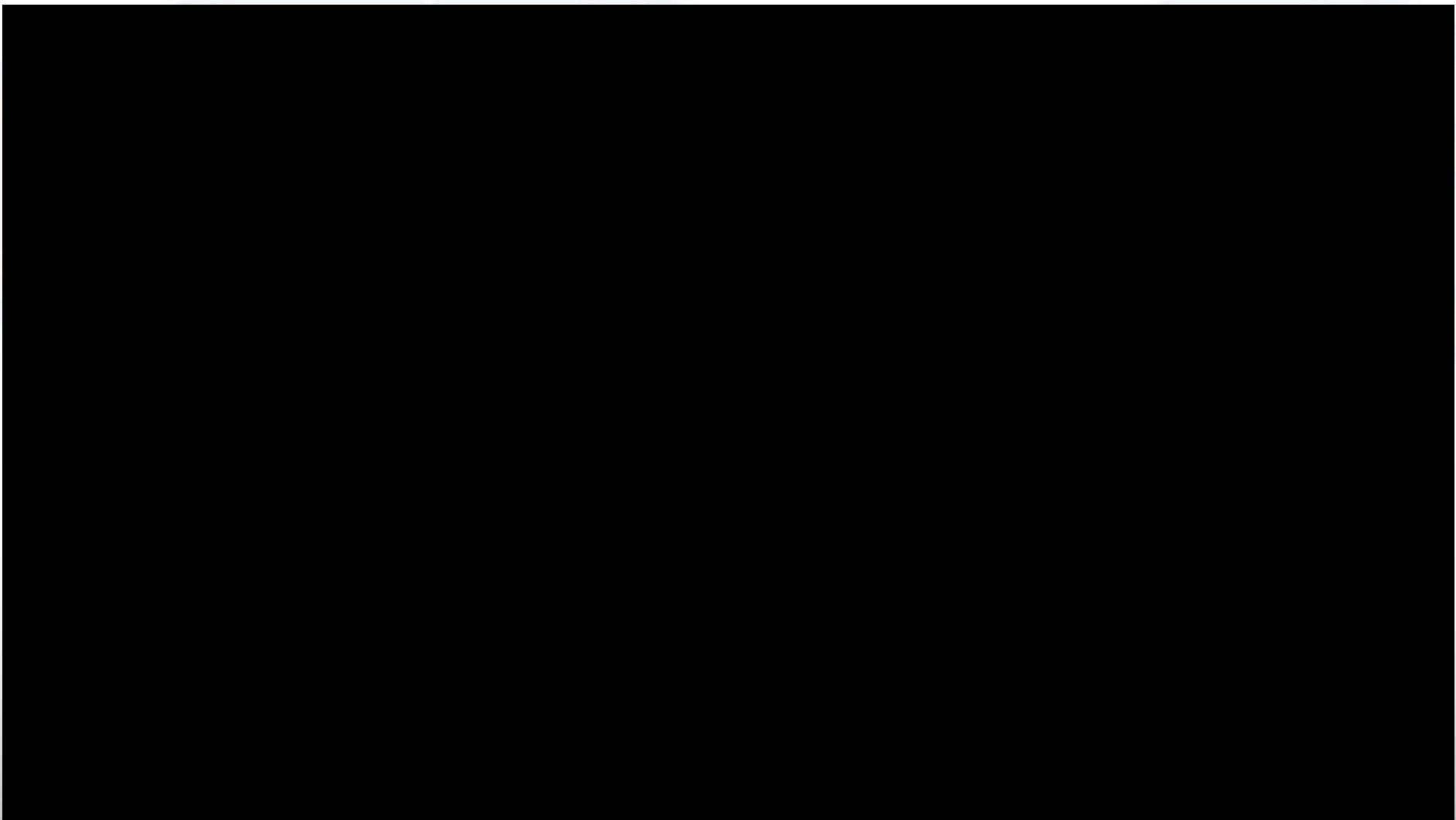
- **MackGrafe - Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno e Nano-Materiais.**

- **UPM** está investindo ~ US\$ 10 milhões para novas instalações, e laboratórios.

- A **FAPESP**, através do projeto SPEC, ~ US\$ 5 milhões, para equipamentos e bolsas de iniciação científica, doutorado, e pós-doutorado.

Fotônica e Opto-Eletrônica
Comunicações ópticas





Conclusões

- **Matéria prima:** grafite, hidrocarbonos, álcool, etc.
- **Aplicações:** um grande número de áreas, de materiais compostos a transistors de alta frequência. Potencial para novas indústrias.
- **Mercado:** mundial.
- **Competição:** várias países estão na corrida mas nenhum controla a produção industrial ainda.
- **Janela de oportunidade:** de 3 a 5 anos.
- **Produção:** requer pesquisa (MackGrafe) e desenvolvimento de uma nova tecnologia similar a que gerou a indústria do Silício, i.e, requer investimento (entretanto menor !).
- **Grafeno:** uma oportunidade de entrar numa corrida tecnológica ainda no início.



TECNOLOGIAS DO FUTURO

**GRAFENO: APLICAÇÕES E
OPORTUNIDADES PARA O BRASIL**

MUITO OBRIGADO!

Antonio H. Castro Neto

ABINEE TEC 2013

1º Abril 2013, Anhembi, São Paulo