



## A iniciativa MG Grafeno - uma parceria Codemig, CDTN e UFMG

Waldemar A. A. Macedo

# Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear



- Primeira instituição de pesquisa nuclear do país



1952: IPR / UFMG

1960: Reator IPR-R1

72-88: Nuclebrás

1974: CDTN

1988: CNEN / MCTI

22/8

65 anos

IPR:

Inst. de Pesquisas Radioativas  
Univ. Federal de Minas Gerais

Nuclebrás:

Ind. Nucleares Brasileiras S.A.  
(acordo nuclear BR/DE)



## Campus do CDTN



## CDTN em números

- Área total: 240.000 m<sup>2</sup>
- Edificações: 42.000 m<sup>2</sup>
- **Mais de 50 Laboratórios**
- 290 Servidores (90 PhD, 60 M.Sc.)
- 230 Estudantes e Pós-doutores
- 80 Terceirizados / suporte

# Áreas de Atuação

## ◆ Tecnologia Nuclear

Reator de Pesquisas  
Irradiação Gama  
Integridade Estrutural  
Neutrônica e Termohidráulica  
Técnicas Nucleares na Indústria

## ◆ Meio Ambiente

Hidrologia e Sedimentologia  
Monitoração e diagnóstico  
Remediação ambiental  
Rejeitos radioativos e perigosos

## ◆ Saúde

Produção de radiofármacos  
P&D novos radiofármacos  
Doenças Negligenciadas

## ◆ Minerais

Tecnologia mineral  
Hidrometalurgia  
Genese de depósitos minerais  
Minerais estratégicos

## ◆ Materiais Nanoestruturados

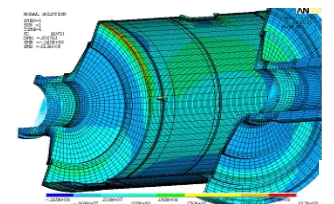
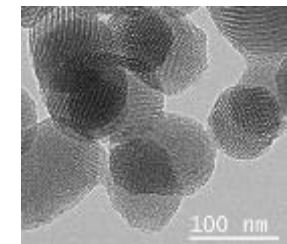
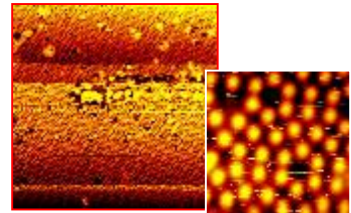
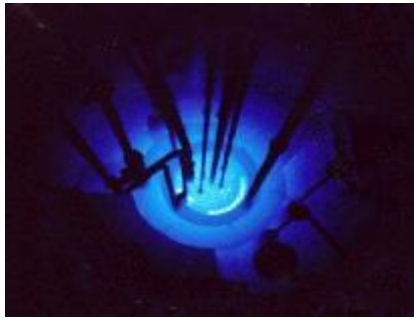
Materiais de carbono  
Nanomateriais para bioaplicações  
Novos materiais magnéticos  
Fenômenos de superfícies e Interfaces

## ◆ Segurança Radiológica

Metrologia das radiações  
Proteção radiológica

## Programa de Pós-Graduação

C&T das Radiações, Minerais e Materiais  
Mestrado e Doutorado Acadêmicos





Grupo de Pesquisa:

Manipulação Química de Nanotubos  
de Carbono e Grafenos



**Adelina P. Santos e Clascídia A. Furtado**

*- Mais de 15 anos dedicados à pesquisa básica e intenso envolvimento em redes de P, D & I:*

2002-2005: Instituto do Milênio de Nanociências  
2002-2005: Rede Nacional de Materiais Nanoestruturados  
2003-2006: Pronex/Fapemig  
2004-2007: CT-Energ  
2005-2007: CT-Petro  
2005-2009: Rede de Pesquisa em Nanotubos de Carbono  
2005-2009: Instituto de Nanotecnologia  
2008-2010: FINEP/Magnesita Refratários  
2008-2014: INCT de Nanomateriais de Carbono  
2011-2015: Rede Nanofluidos, Fapemig/Fapespa/VALE S.A.  
2012-2015: Rede de Nanotoxicologia  
2014-2017: Programa SisNano  
2015-2017: Rede Sibratec de Nanomateriais e Nanocompósitos

**Laboratório estratégico em MG**

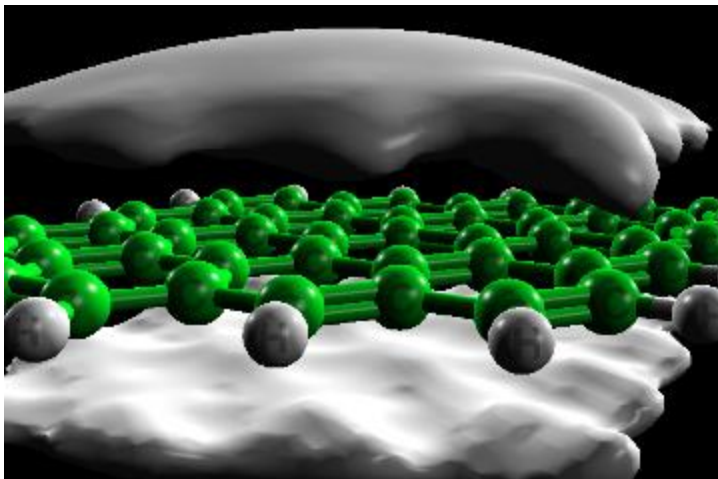
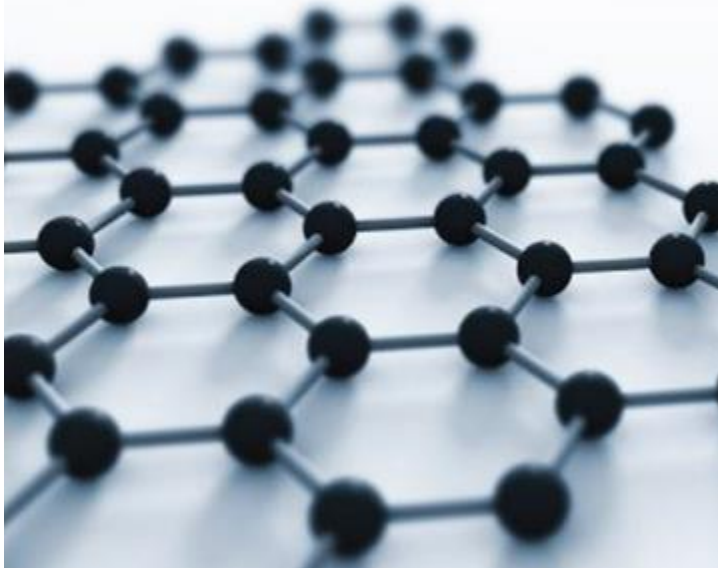


**Parcerias com a Indústria:**

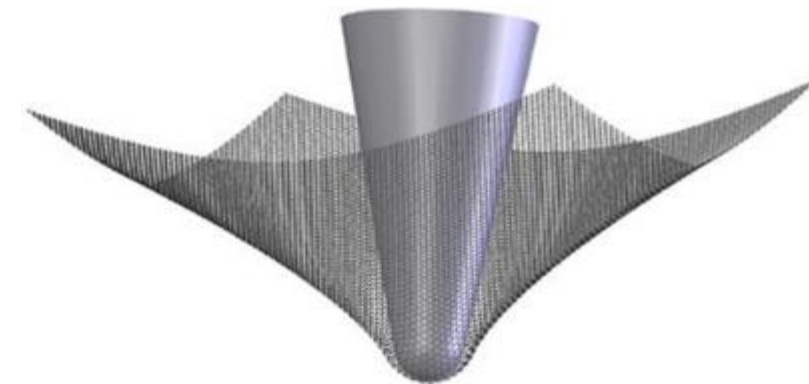
Nacional de Grafite Ltda. (prod. de óxido de grafeno)  
Vale S.A. (pelotização de minério a frio)  
Magnesita S. A. (refratários magnesia-carbono)  
Grupo Solvay (têxteis inteligentes)  
Codemig & UFMG (grafenos a partir da grafita)

# Grafeno (2D)

rede hexagonal de átomos de carbono (espessura monoatômica)



- ✓ Alta resistência mecânica  
(resistência à deformação 100 x maior que o aço)
- ✓ Alta condutividade elétrica  
( $\sim 10^9$  A/cm<sup>2</sup>, semelhante ao cobre)
- ✓ Alta condutividade térmica  
(1750-5800 W/m-K, superior ao diamante)
- ✓ Blindagem de radiação ionizante
- ✓ Alta área específica (2630 m<sup>2</sup>/g)
- ✓ Impermeável a gases



# Grafeno - aplicações



# Status de comercialização e desenvolvimento de produtos contendo grafeno (Resumo)

## Produtos comerciais



*atual tintas*



*Filamentos impressão 3D*



*tênis*



*ski*



*ciclismo*

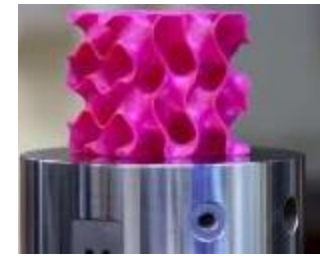
## Produtos em desenvolvimento



*1 - 3 anos baterias*



*sensores*

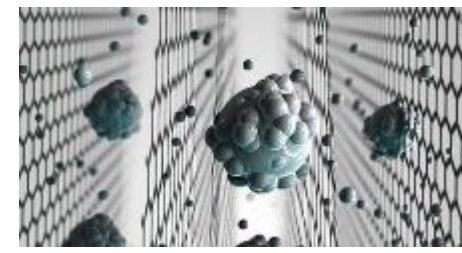


*materiais resistentes impressos*



*têxteis inteligentes*

## P & D



*membranas*



*eletrônicos*



*Setor de mobilidade*



*> 5 anos*



## Área Nuclear

- **Materiais avançados:** polímeros, cerâmicos e vidros para armazenamento/ imobilização de rejeitos radioativos;
- **Adsorventes e remediadores de radionuclídeos:** alta interação com óxido de grafeno;
- **Membranas:** separação de isótopos de hidrogênio, possível remoção de trítio de água e minimização da emissão de radionuclídeos;
- **Sensores:** monitoramento de locais de armazenamento;
- **Detectores de radiação:** alta sensibilidade a raios X, raios gama e nêutrons;
- **Armazenamento de gás:** uso em células de hidrogênio com possível aplicação na captura de trítio (tratamento de rejeitos e remoção seletiva de gases radioativos);
- **Energia e armazenamento de energia:** uso de baterias aprimoradas em dispositivos em operações remotas para aplicações de remediação e descomissionamento.

- Nuclear Decommissioning Authority,  
Radioactive and nuclear substances and waste - Graphene and its use in nuclear decommissioning, 2017.

## Exemplos



nature  
COMMUNICATIONS

ARTICLE

Received 15 Dec 2016 | Accepted 9 Mar 2017 | Published 9 May 2017

DOI: 10.1038/ncomms15215 OPEN

Scalable and efficient separation of hydrogen isotopes using graphene-based electrochemical pumping

M. Lozada-Hidalgo<sup>1</sup>, S. Zhang<sup>1</sup>, S. Hu<sup>2</sup>, A. Esfandiar<sup>1</sup>, I.V. Grigorieva<sup>1</sup> & A.K. Geim<sup>1</sup>

# Nuclear Energy Conversion with Stacks of Graphene Nanocapacitors

**ERIC SHINN, ALFRED HÜBLER, DAVE LYON, MATTHIAS GROSSE PERDEKAMP,  
ALEXEY BEZRYADIN, AND ANDREY BELKIN**

*Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801*



News > Science

# Graphene could be used to clean up nuclear waste, say scientists

Previously 'unthinkable' uses for wonder material graphene are discovered by scientists

Steve Connor Science Editor | [@SteveAConnor](#) | Thursday 31 December 2015 19:16 GMT | [10 comments](#)

## Graphene membranes have potential in the nuclear sector

By **Stuart Nathan** 9th May 2017 10:00 am

09 May 2017

## Graphene membranes can make nuclear industry greener

Newsfacts:

- New prototype could economically transform nuclear industry
- Graphene-based membrane acts like a super fine sieve

## Graphene to reduce cost of heavy water production in the nuclear industry by 100 times

By Jack Loughran

Published Tuesday, May 9, 2017

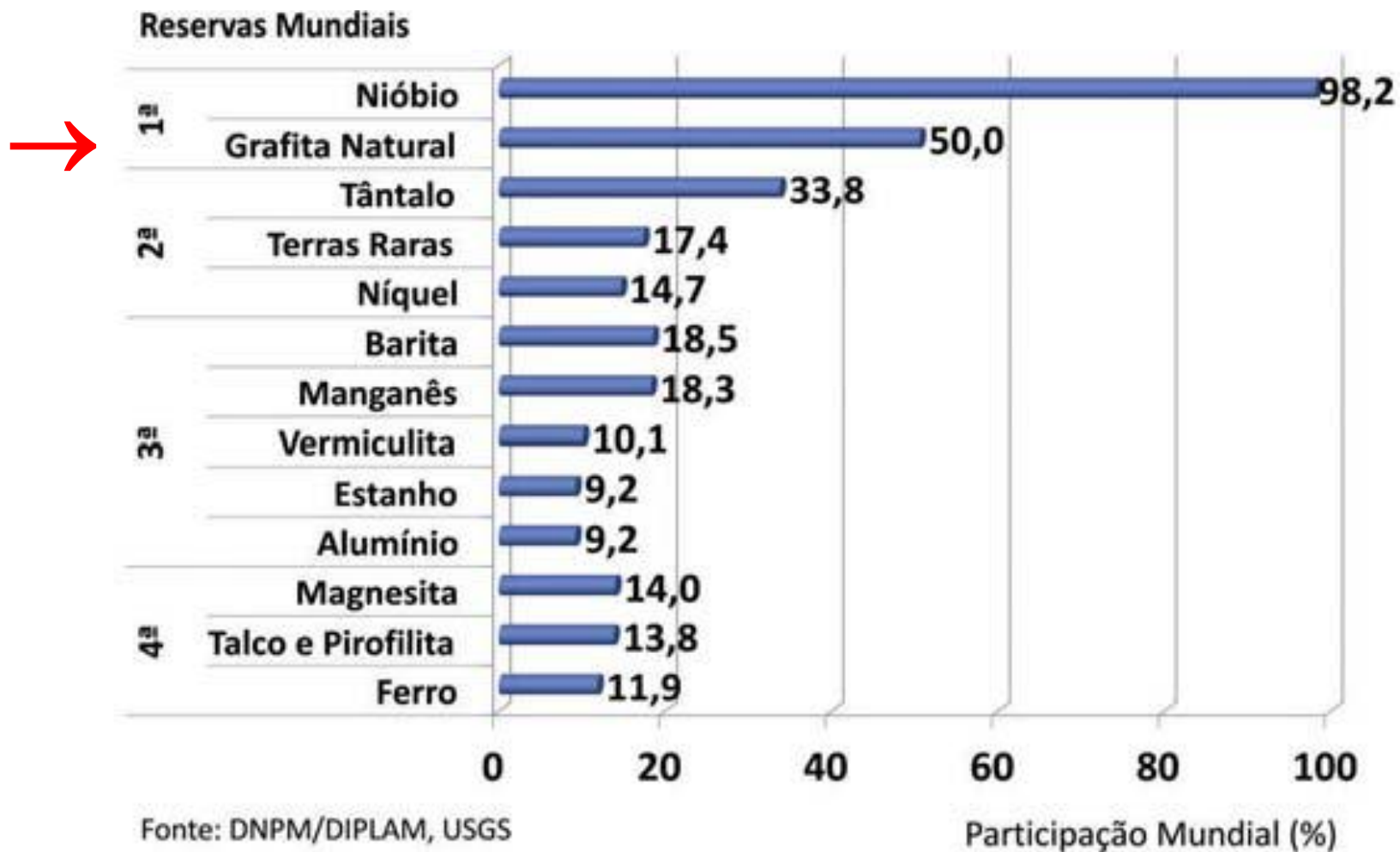
## DESAFIO: PRODUÇÃO PARA APLICAÇÕES COMERCIAIS

- Escalabilidade
- Custo competitivo
- Processos verdes de produção
- Reprodutibilidade do material
- Qualidade estrutural adequada

### CENÁRIO POSITIVO NO BRASIL:

País tem grande potencial para exercer protagonismo no desenvolvimento de tecnologias e aplicações de materiais com grafeno (cadeia de produtos de alto valor agregado)

## Ocorrência da grafita - participação mundial do Brasil



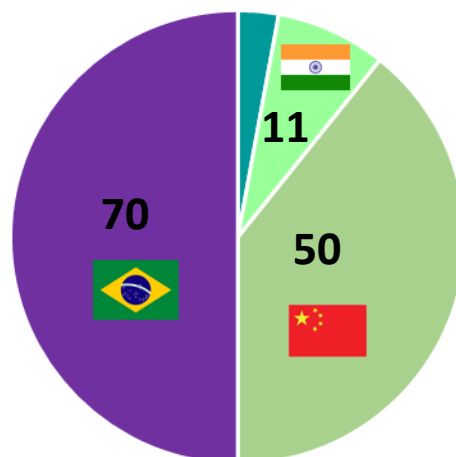
## Ocorrência da grafita - participação mundial do Brasil

- Ocorrência de grafita natural em quase todos os estados brasileiros
- Reservas economicamente exploráveis principalmente em MG, BA e CE

**1º lugar**

Reserva de grafita  
(milhões toneladas)

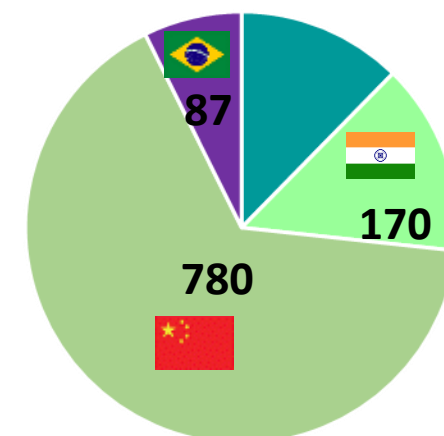
**MUNDO:**  
140 milhões ton



**3º lugar**

Produção de grafita  
(mil toneladas)

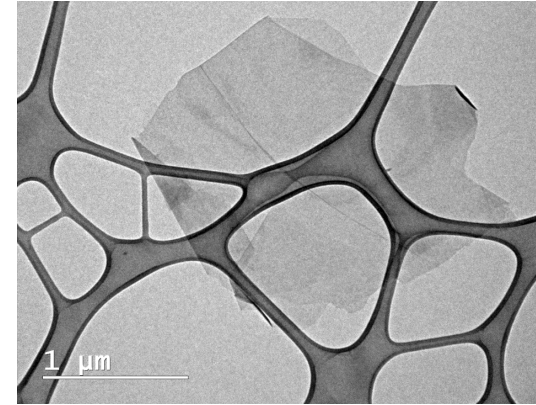
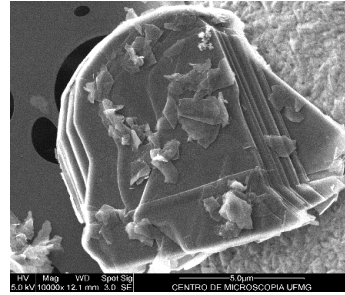
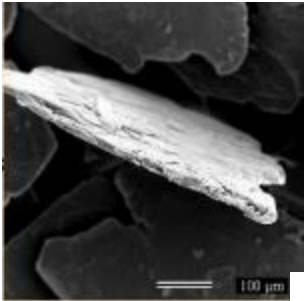
**MUNDO:**  
1183 mil ton



# Grafeno a partir da grafita:

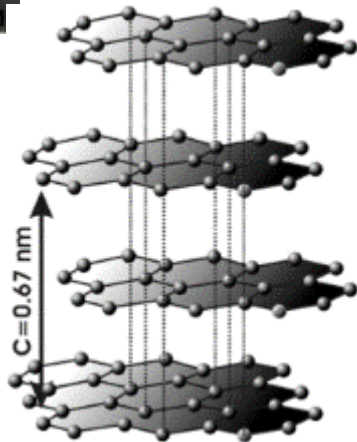
- esfoliação em líquidos, assistida por ação mecânica

**Grafita:** mineral de hábito lamelar

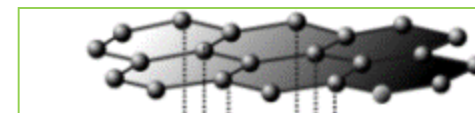
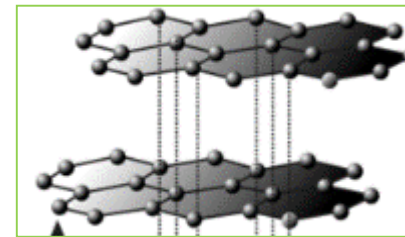


Estabilizados em líquidos

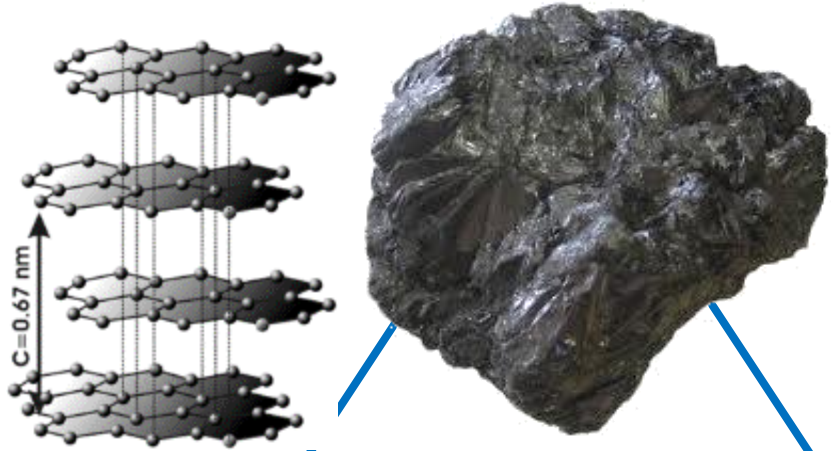
**Grafite**



**Grafenos**

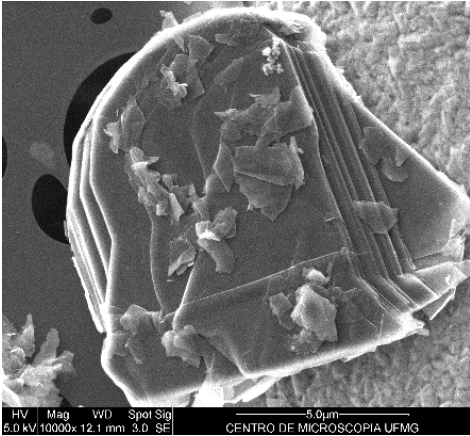


# Grafeno a partir da grafita: agregação de valor ao produto

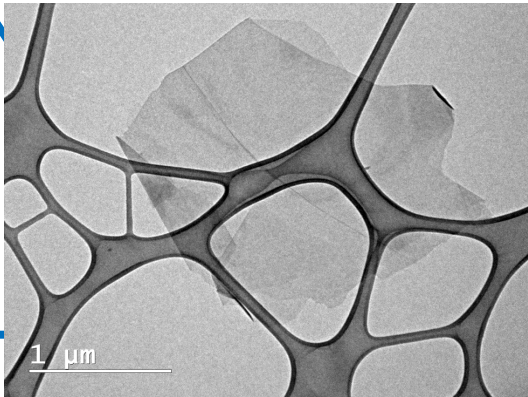


**GRAFITE**  
~ US\$ 1,2 / Kg

<http://northerngraphite.com/graphite-pricing/>



**Nanoplasmas de GRAFENO**  
~ US\$ 2.000 / Kg



**GRAFENO**  
~ US\$ 20.000 / Kg







## Projeto **MG**Grafeno

**“Produção de grafeno a partir da esfoliação química de grafita natural e aplicações”**

CDTN, UFMG e CODEMIG (Cia. de Desenvolvimento Econômico de MG)

- *Investimento inicial de 21,3 milhões feito pela CODEMIG (3 anos)*

assinatura: 06/2016; negociações: 03/2015

- *Proposta pré-aprovada no edital Inova Mineral, para um investimento de 130 milhões (financiamento + Funtec)*

→ Produção de grafenos com características conhecidas

→ Estimativa de produção atual de ~30 kg/ano, escalável

→ Em desenvolvimento para atingir 0,5 t/ano

**Soluções tecnológicas para uso eficiente do grafeno, em parceria, atualmente, com 5 empresas e ICT's.**

**Proposta:** *Agregar valor a um recurso natural estratégico, a grafita, e fortalecer toda uma cadeia produtiva.*

- Não é um modelo centrado em venda de grafeno
- Parcerias com empresas consolidadas ou startup de base tecnológica, atuantes no país, com demandas específicas.
- Garantia de fornecimento (volume, qualidade e preço compatível com a colocação das aplicações no mercado).
- Assistência e parceria técnica-científica e codesenvolvimento das aplicações com o compartilhamento dos benefícios econômicos.  
A fonte de receitas vem da ponta da cadeia e incorpora toda a agregação de valor das aplicações.
- Equipe interdisciplinar, composta por técnicos, graduados, mestres e doutores (químicos, físicos e engenheiros).

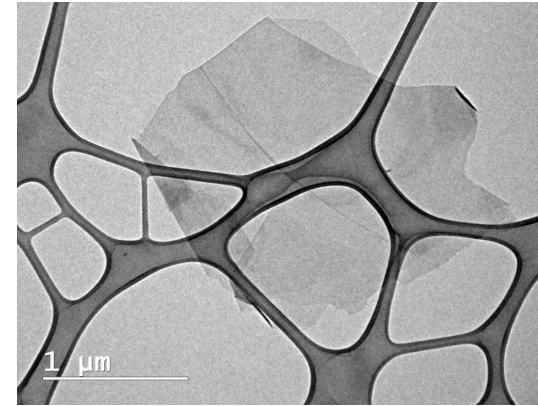
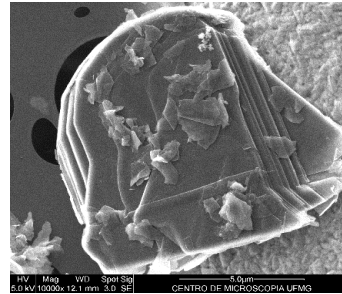
- Gerar uma cadeia de negócios e um amplo mercado de produtos à base de grafeno
  - Processo produtivo escalável, reproduzível, robusto e de baixo custo.

# Grafeno a partir da grafita:

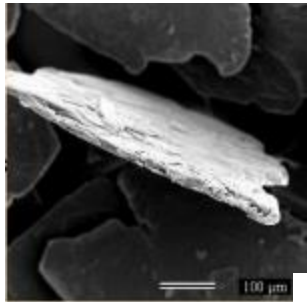
- esfoliação em líquidos, assistida por ação mecânica

Solvente do processo:  
- água

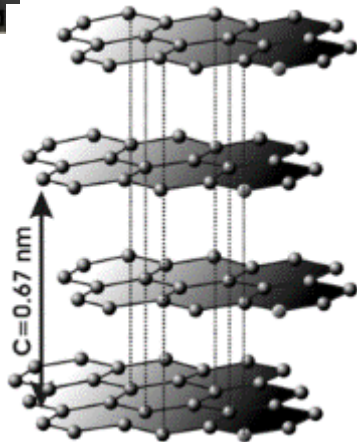
**Grafita:** mineral  
de hábito  
lamelar



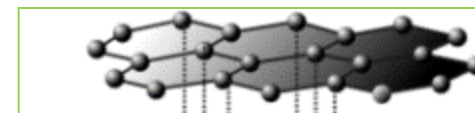
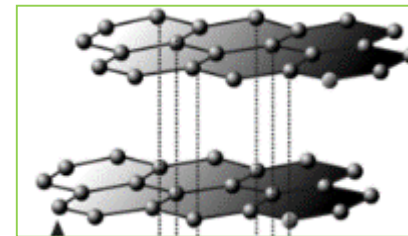
Estabilizados  
em líquidos



**Grafite**



**Grafenos**

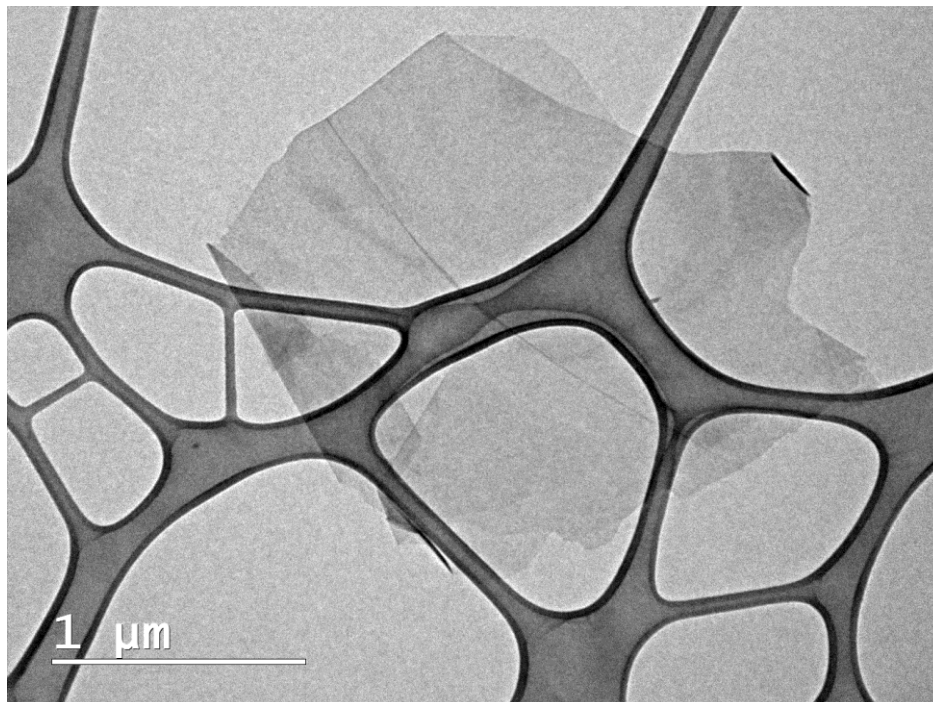


## ESTÁGIO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO:

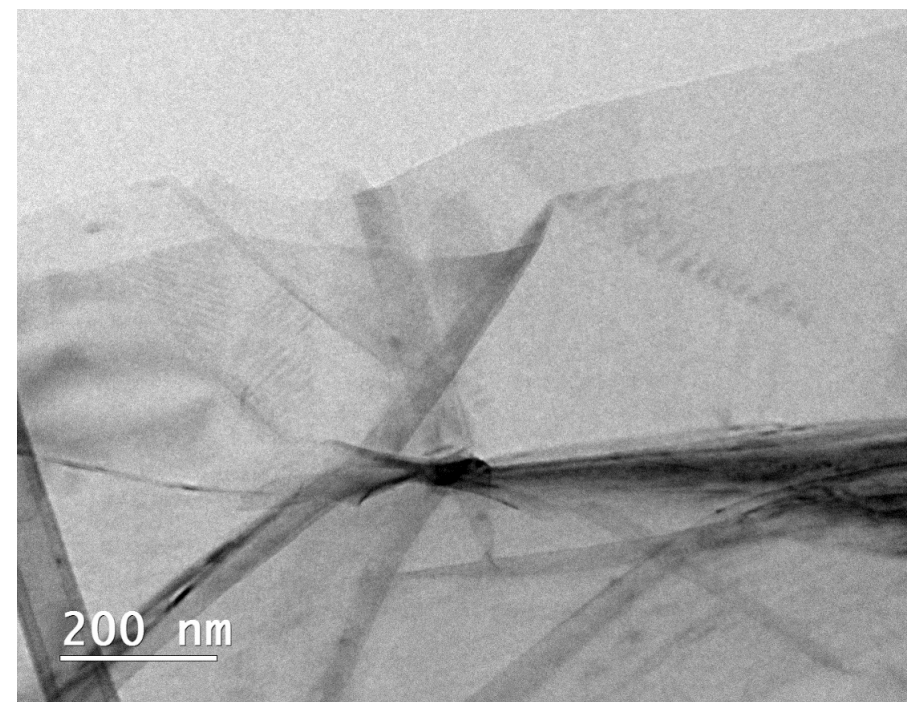
Equipe (2017): 33 pessoas



~ 0,5 g Gr / L



Estruturas com aspecto lamelar e com grande área superficial.

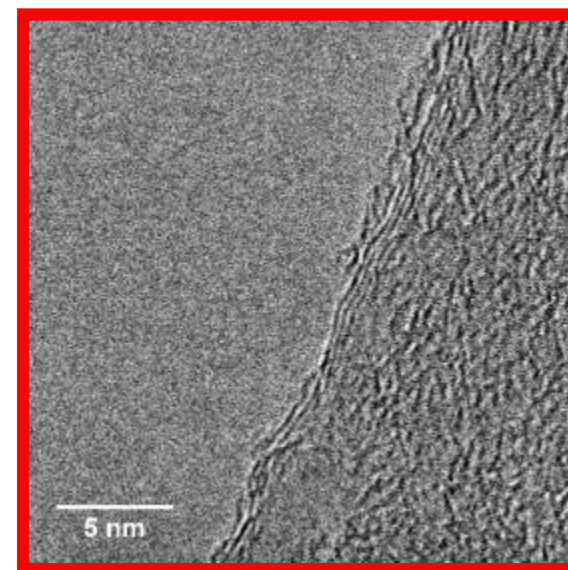
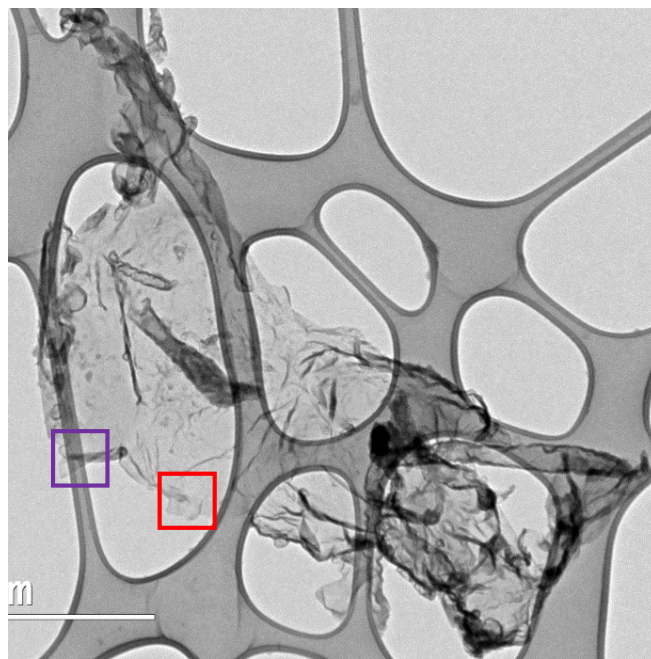
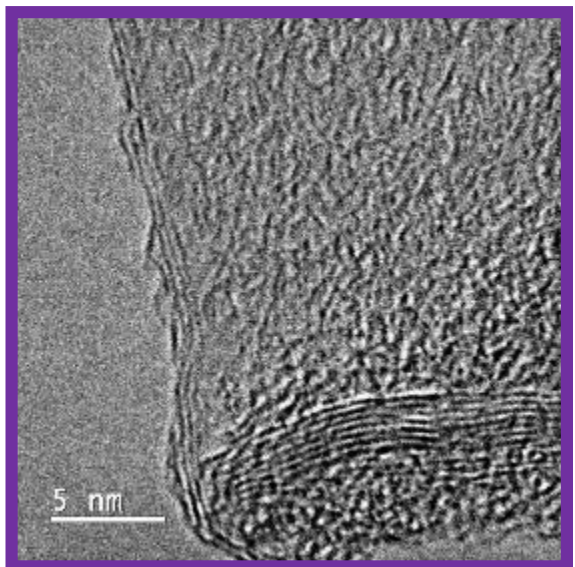


Empilhamento randômico de folhas de Gr independentes.



## ESTÁGIO ATUAL DE DESENVOLVIMENTO:

- Produção de grafenos de poucas camadas (4 - 6 camadas atômicas)
- Taxa de produção atual: ~ 20 kg / ano
- Tamanho lateral médio: ~ 500 nm
- Alta qualidade estrutural (baixa densidade de defeitos)



## SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE (SMS)

Abordagem tática:

Avaliação, Análise e Gestão de Risco em Nanotecnologia

- Aspectos de segurança ocupacional e ambiental

Normas técnicas e legislação / Participação dos membros da equipe

• **ABNT**, Comitê de Nanotecnologia

• **ISO**, Comitê Técnico TC 229 - Nanotecnologias

**Grupos de Trabalho (WG):**

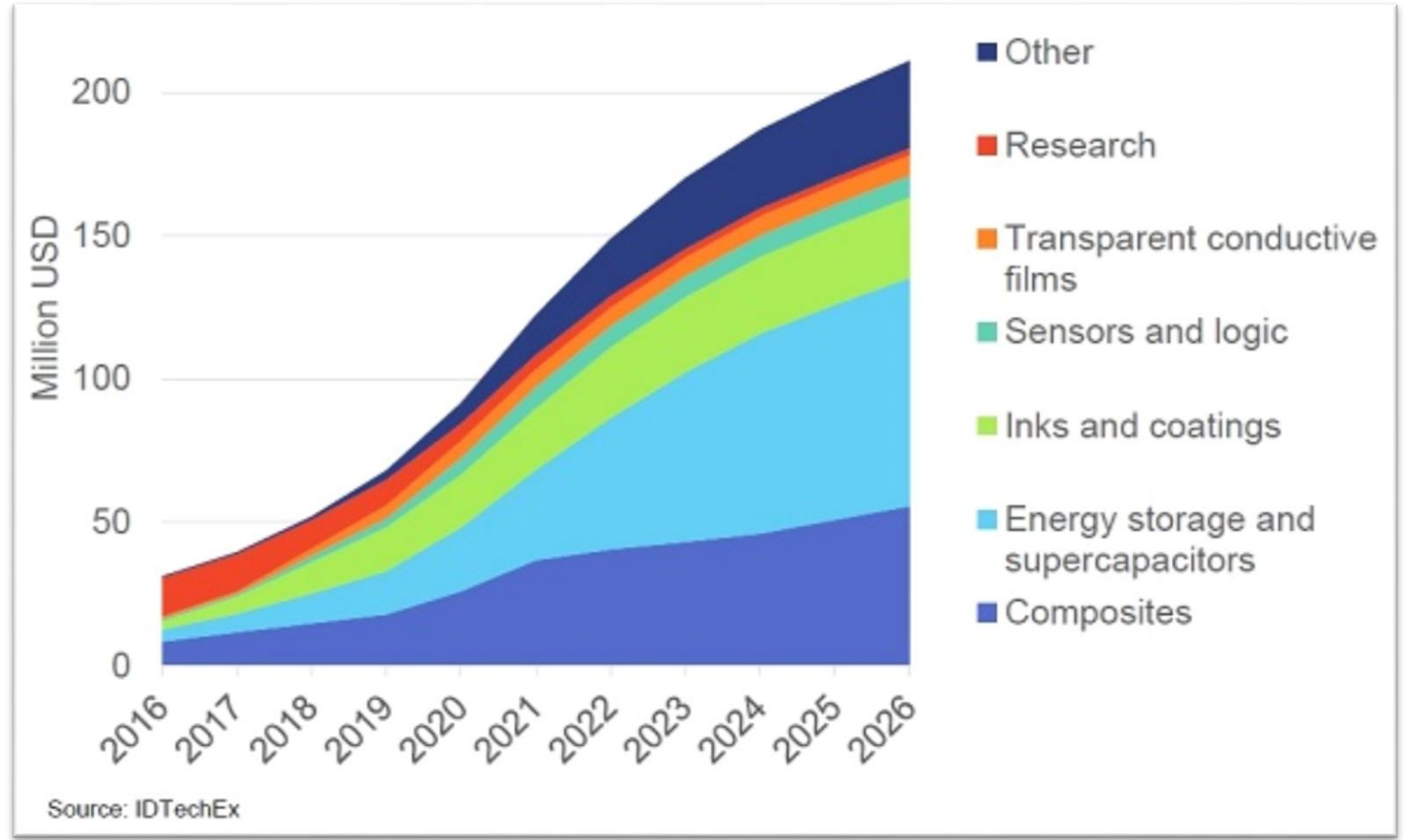
**WG1** Terminology and nomenclature

**WG2** Measurement and characterization

**WG3** Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies

**WG4** Material specifications

# APLICAÇÕES:



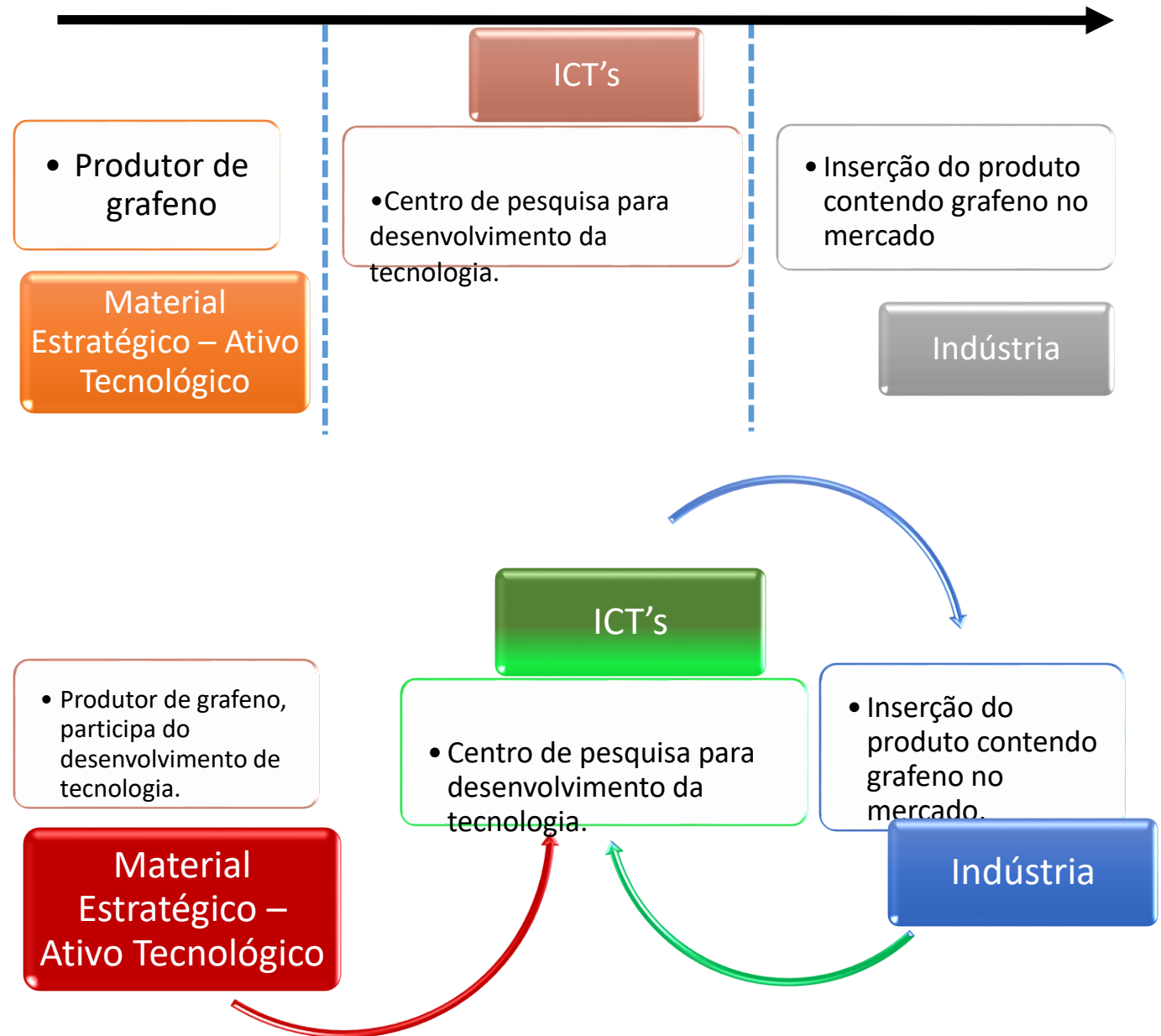


# Mercado mundial de grafeno

**MODELO 1: Atuação separada de cada setor**



**MODELO 2: Atuação conjunta (grafeno ativo tecnológico)**



*Linha Temática: Linha 1:* Minerais “Portadores de Futuro”: Cobalto, **Grafita**, Lítio, Metais do Grupo da Platina, Molibdênio, Nióbio, Silício (Grau Solar), Tálho, Tântalo, Terras Raras, Titânio e Vanádio – principalmente materiais de alto desempenho, ligas e suas aplicações

**Produção de grafeno a partir de grafita natural e desenvolvimento de produtos industriais à base de grafeno**

## Projeto 1

**CODEMIG em parceria com CDTN e UFMG**

Scale up da produção de grafeno

Criação e Implantação da Companhia de Grafeno

R\$ 100,6 Mi – Credito BNDES

### Projeto 2

Empresa A  
Senai – ISI-ES  
R\$ 6,6 Mi  
Funtec

### Projeto 3

Empresa B  
R\$ 2,4 Mi  
Funtec

### Projeto 4

Empresa C  
CETIQT  
R\$ 4,5 Mi  
Funtec

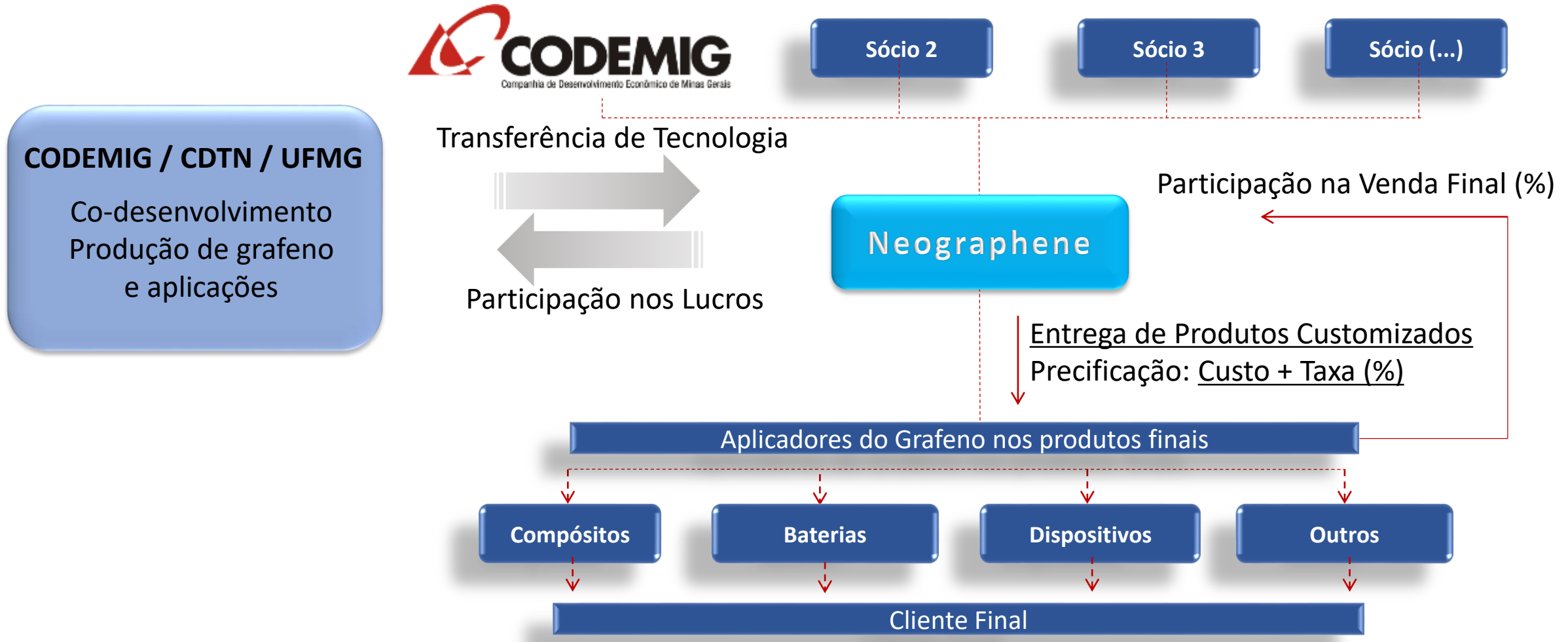
### Projeto 5

Empresa D  
R\$ 5,5 Mi  
Funtec

### Projeto 6

Empresa E  
R\$ 11,6 Mi  
Crédito

## Modelo



**Participação da Empresa no valor agregado do produto final**

84  
anos

diariodocomercio.com.br  
**DIÁRIO DO COMÉRCIO**

JOSÉ COSTA  
FUNDADOR

Minas é o nosso negócio

## ECONOMIA

23/09/2017

# Minas Gerais terá planta de grafeno até 2020

A CODEMIG está investindo R\$ 132 milhões no projeto, desenvolvido em parceria com a iniciativa privada

Até 2020, Minas Gerais pode ganhar uma planta de grafeno, material leve, resistente, flexível e de inúmeras aplicações para a indústria do futuro, seja na área de tecnologia ou mesmo da cadeia mineral. A Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig), junto com empresas privadas (cujos nomes ainda não foram revelados), está investindo R\$ 132 milhões em um projeto para o desenvolvimento da cadeia produtiva do grafeno no Estado. Já está em operação uma fábrica-piloto dentro do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte. Além disso, está em

andamento a formação de uma empresa (que se chamará Neografeno), com participação do órgão e da iniciativa privada, que, até 2020, deve erguer a plataforma de escala industrial.

As informações são do presidente da Codemig, Marco Antônio Castello Branco. "A ideia é produzir o grafeno com especificações e parâmetros para disponibilizar o produto para empresas que já estão desenvolvendo sua aplicação. São seis empresas no projeto batizado de Neografeno, empresa que está sendo criada com participação minoritária da Codemig", disse, na quinta-feira (21), durante a Exposição Internacional de Mineração (Exposibram) e o 17º Congresso Brasileiro de Mineração, na Capital.

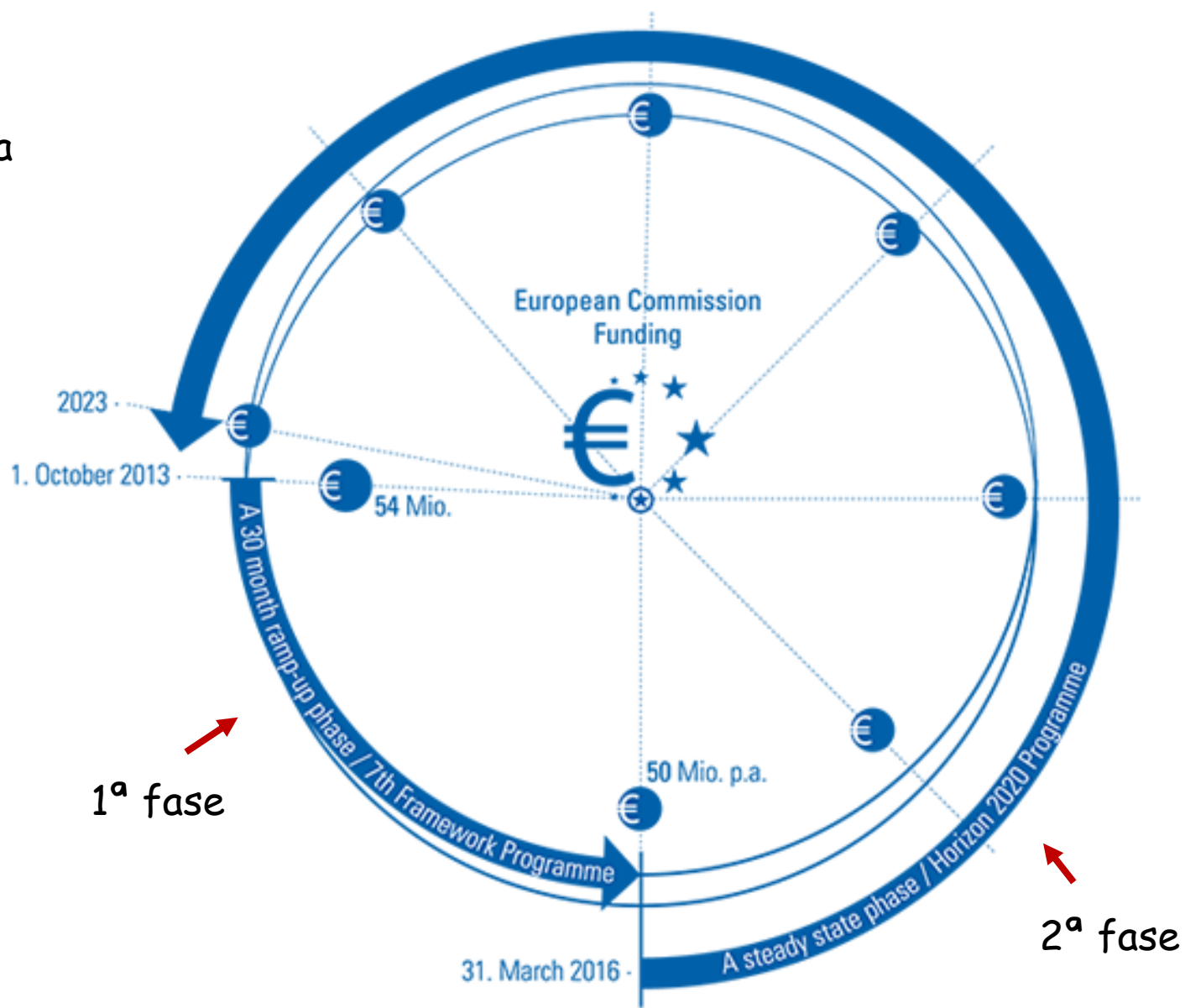
# Grandes Investimentos em PD&I - O exemplo do *Graphene Flagship*

Coordenação: Prof. Jari Kinaret  
Chalmers Univ. of Technology, Suécia

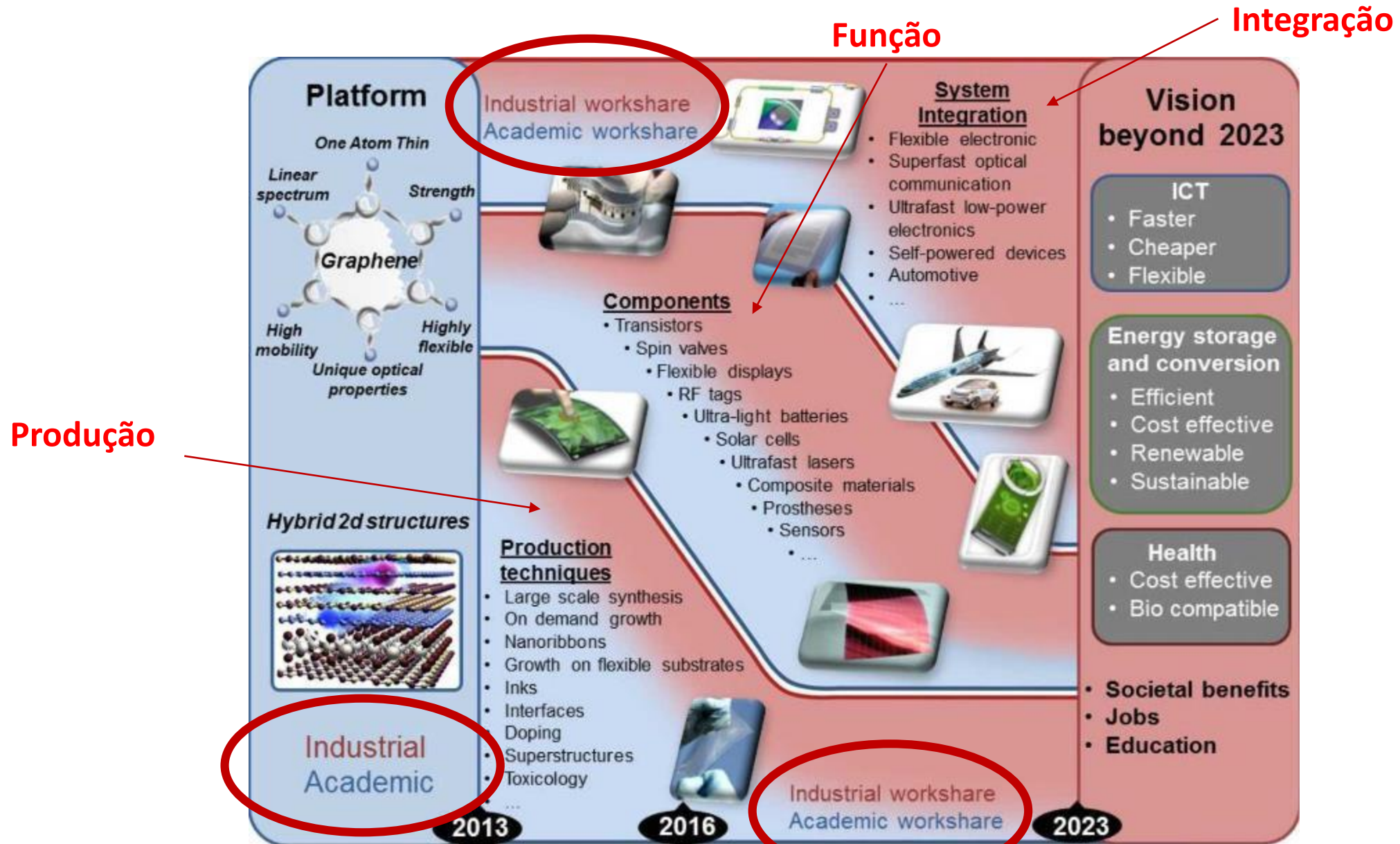
~ 150 grupos acadêmicos e industriais  
em 23 países europeus, além de  
60 membros associados

**€ 1 bilhão em 10 anos**

↓  
50% - Comunidade Europeia  
50% - Projetos de parcerias  
regionais, nacionais e  
transnacionais



# Grandes Investimentos em PD&I - O exemplo do *Graphene Flagship*



“Medidas para acelerar a pesquisa e a produção do material no país”

- i) Estratégia nacional p/ grafeno (e outros temas / materiais estratégicos)
  - incentivo à cadeia de negócios / produção Gr & desenv. de produtos
- i) Facilitar a interação indústria - ICTs (marco legal de CT&I)
- ii) Reverter a asfixia dos centros de P&D do MCTI (\$ e RH)

As iniciativas da Mackenzie e CODEMIG + CDTN + UFMG, independentes e não concorrentes, são bastante promissoras, mas é pouco face ao potencial tecnológico do grafeno e ao que vem sendo feito em países onde ser um grande protagonista em tecnologias disruptivas à base de materias contendo grafeno tem sustentação em políticas de Estado.

**MUITO OBRIGADO!**