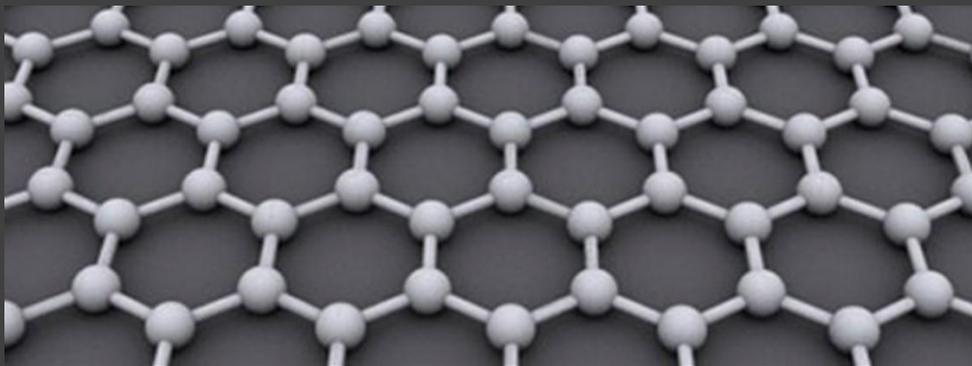




Instituto do Desenvolvimento da Mineração

# GRAFITE



# GRAFENO

# GRAFITE

- A palavra grafite é derivada da palavra grega “graphein” e do alemão “graphit” algo como “pedra de escrever”
- 1839 - registro em português grafite (grafita)
- Primeira Mina da Grafite do Mundo - Baviera na Alemanha em 1400
- Primeira Mina da Grafite Brasileira é de Pindamonhangaba - São Paulo - 1939

# O QUE É A GRAFITE?

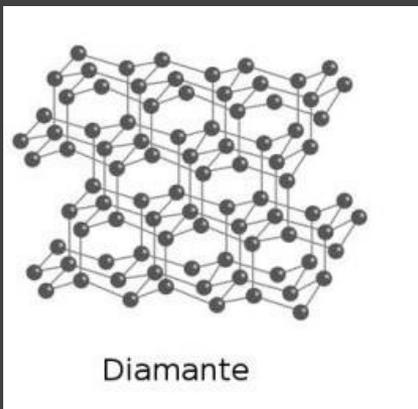
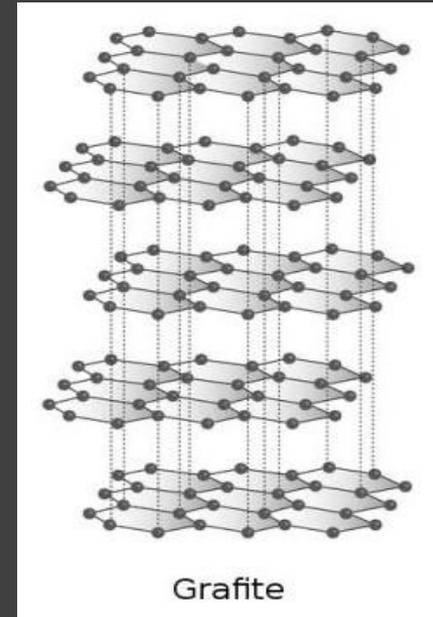
- Um mineral natural, cor cinza
- Brilho metálico, é opaca e untosa
- Pode estar misturado com outros minerais.
- Alotrópica natural do carbono (constituídas de átomos de carbono)
- Composto apenas de carbono (C), como o diamante, os fullerenes e os nanotubes

Grafite consiste no empilhamento das folhas de grafeno.



# DIFERENÇA DA GRAFITE E DO DIAMANTE

- A grafita possui baixa dureza
- O diamante é a substâncias de maior dureza conhecidas
- A grafita é condutor de eletricidade
- O diamante é isolante térmico
- A grafita é um excelente lubrificante
- O diamante é abrasivo



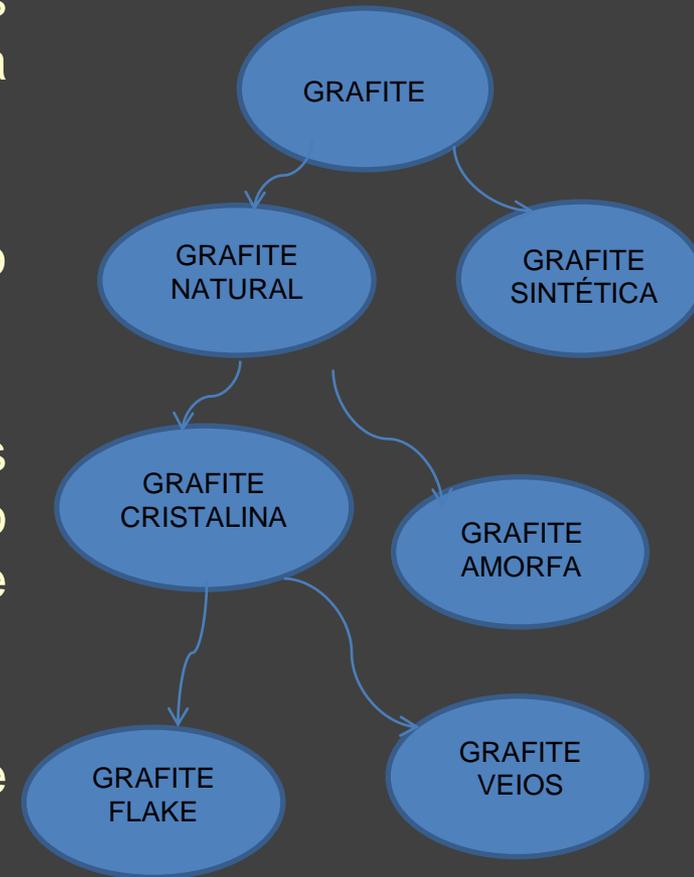
Diferem no arranjo de seus átomos de carbono

# DIFERENÇA DA GRAFITE E DO DIAMANTE

- A Grafita é formada por placas de anéis hexágonos não compactos que ficam atraídas umas às outras no espaço plano e suas ligações entre as camadas fracas
- O Diamante cada átomo de carbono é ligado a outros quatro átomos de carbono, formando tetraedros
  - O diamante se cristaliza no sistema isométrico (cúbico)
  - A grafita se cristaliza no sistema hexagonal
- O conjunto desses anéis hexagonais ordenados formam lâminas chamadas de Grafeno, e são empilhadas no sentido paralelo ao eixo cristalográfico "c"

# TIPOS DA GRAFITE NATURAL

- Diferentes por características físicas distintas resultantes principalmente da formação geológica
- Grafita amorfa é formada pelo metamorfismo térmico do carvão
- Grafita de “Flake Cristalino” ocorre mais comumente nas rochas metamórficas, como calcários cristalinos (mármore), xistos e gnaisses
- Grafita em “Lump” ocorre em veios e acredita-se ser hidrotermal em sua origem



# GRAFITE SINTÉTICO

Produzida sinteticamente do coque de petróleo.

- A Grafite sintética é um competidor da grafite natural em numerosas aplicações principalmente no setor industrial



# PROPRIEDADES DA GRAFITE

- Distinta estrutura em camadas e sua inércia química
- Leve com densidade de 2,09-2,23g /cm<sup>3</sup>
- Alta temperatura de sublimação de 3.652 ° C
- Único mineral não metálico condutor
  - Excelente condutividade elétrica e térmica
  - Excelentes propriedades lubrificantes, particularmente a elevada temperatura e pressão

# PROPRIEDADES DA GRAFITE

- Alta resistência a oxidação e durabilidade contra agressividades químicas
- Habilidade de moléculas químicas serem intercaladas entre as camadas da grafite (entre os Grafenos)
- Ambientalmente amigável e não apresenta riscos à saúde
- Não apresenta riscos de explosão

Todas essas propriedades combinadas fazem da grafite desejável para mais de 200 aplicações industriais.

# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

- Fabricação de plásticos antiestéticos
- Plásticos condutivos
- Borrachas
- Tinta eletrostática
- Blindagens
- Condutivas de cabos de força
- Transformar grafite em diamante



# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

## SETOR METALURGICO

- Tijolos refratários
- Moldes e desmoldagem de peças moldadas
- Cadinhos
- Aditivos de carbono
- Metal fundido
- Pó de metal
- Ligas



# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

## SETOR DE ENERGIA

- Baterias de íons de lítio
  - Componente insubstituível economicamente nas baterias. de íons de lítio
  - Praticamente todas as baterias comerciais de íons de lítio usam grafite



# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

## SETOR DE ENERGIA

- Células de Combustível que possibilita a produção de energia através de processos químicos
- Baterias alcalinas
- Baterias de fluxo
- Escovas elétricas

## SETOR DE MATERIAIS DE ENGENHARIA

- Grafite expandido:
  - Aditivos para membranas de coberturas plásticas e betuminosas

# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

## SETOR DE MATERIAIS DE ENGENHARIA

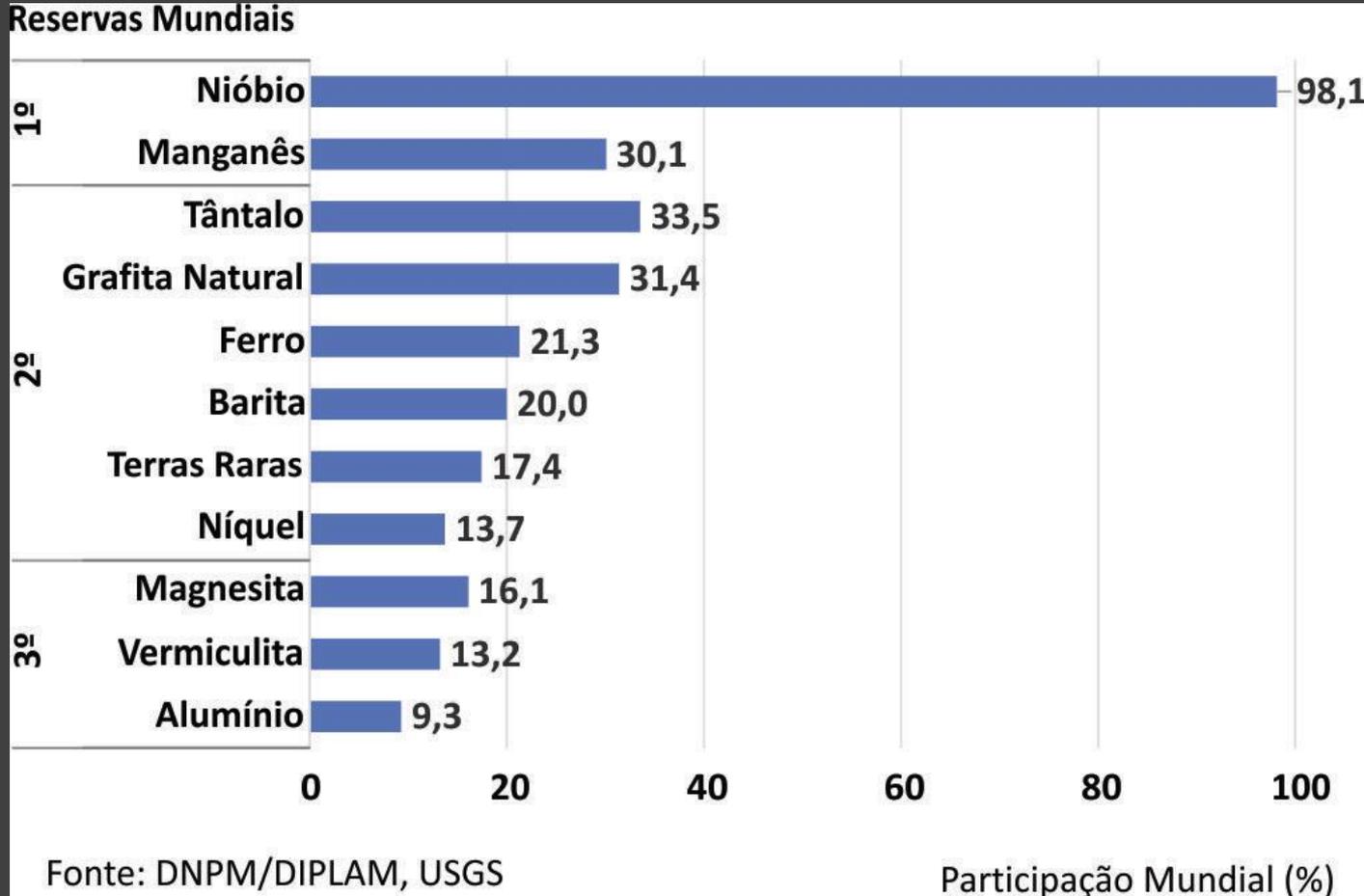
- Folhas de Grafite expandido:

- Difusores térmicos
- Retardadores de chamas
- Freios e embreagem
- Isolamento térmico
- Reatores nucleares
- Catalisadores
- Tecidos e fibras
- Grafeno

# RECURSOS MUNDIAIS DA GRAFITA

- 600 milhões de toneladas são do tipo flake cristalino, encontrados em Madagascar
- 70 milhões de toneladas do tipo lump e estão no Sri Lanka
- 800 milhões de toneladas do tipo amorfo e são encontrados no México, Áustria, Coreia e Comunidade dos Estados Independentes
- As reservas brasileiras da grafita são da ordem de 40 milhões de toneladas do tipo flake cristalino, com teor variando de 10% a 18% de carbono

# Reserva Mundial x Participação Brasileira - 2015



Participação (%) e posição no ranking mundial das principais reservas minerais do Brasil – 2015.

# EMPRESA BRASILEIRA

- Na América do Sul as principais ocorrências da grafita têm suas reservas nos estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia
- A maior produtora de grafita natural beneficiada é a Nacional de Grafite Ltda., fundada em 1939, responsável por 96% da produção brasileira total, lavra grafita natural nos municípios de Itapeçerica, Pedra Azul e Salto da Divida, no estado de Minas Gerais. A Nacional da Grafite beneficia o minério, gerando cerca de 70.000 toneladas anuais de grafita de diferentes características para o mercado.

# EMPRESA BRASILEIRA

Os produtos da Nacional de Grafite são comercializados nos cinco continentes diretamente ou através de distribuidores e estão presentes em diversas aplicações na indústria mundial.

Todos os processos, desde a prospecção do minério até a entrega do produto final, são certificados pela ISO 9001.

# EMPRESAS BRASILEIRAS

- A empresa JMN Mineração S/A, que lavra minério de grafita no município de Mateus Leme, em Minas Gerais, produziu 2,0% do total de grafita em 2013, que foram destinadas ao mercado após simples moagem, vendida para produtores de ferro-gusa.
- A Extrativa Metalquímica S/A explora e beneficia minério de grafita na sua unidade do sul da Bahia, no município de Maiquinique, e produziu aproximadamente 2% da grafita nacional.

# PRODUÇÃO MUNDIAL DA GRAFITA NATURAL EM 2015

- 1,19 milhões de toneladas
- China foi responsável por 65,5% da produção total mundial
- Índia produziu 14,3%
- O Brasil, com produção de 6,9% (mantendo o terceiro lugar na produção mundial)
- Turquia produziu 2,7%
- Coréia do Norte 2,5%
- Canadá 2,5%

Em escala menor foi nos seguintes países:

- Rússia, México, Ucrânia e Madagascar

# PRODUÇÃO E DEMANDA MUNDIAL GRAFITE - 2018

- EUA importou 100% da Grafite em 2018
- China liderou a expansão da indústria da grafite do mercado de EV – Electric Vehicle
- China domina a mineração e o refino da grafite de flake para a cadeia de anodo da bateria de íons de lítio
- China foi responsável por 56% da oferta mundial da grafite em flocos
- China foi responsável por 100% da oferta da grafite esférico sem revestimento do mundo

# PRODUÇÃO E DEMANDA MUNDIAL GRAFITE - 2018

As grandes fábricas estão sendo construídas para produzir células de íon de lítio usando duas químicas:

- níquel-cobalto-manganês (NCM)
- níquel-cobalto-alumínio (NCA)

Para o século XXI, o fornecimento de lítio, cobalto, níquel e manganês para produzir o cátodo para essas células, juntamente com grafite para produzir anodos de bateria, precisam evoluir rapidamente.

# PRODUÇÃO E DEMANDA MUNDIAL GRAFITE - 2018

A ampliação do uso desses materiais, que não são commodities, é um grande desafio para a indústria.

Aqueles que controlam essas matérias-primas e que possuem o know-how de fabricação e processamento, manterão o equilíbrio da energia industrial do século XXI, nas indústrias automobilísticas e de armazenamento de energia.

# PRODUÇÃO E DEMANDA MUNDIAL GRAFITE - 2018

As baterias de íons de lítio estão se tornando uma indústria global

Aumento de demanda dos minerais:

- O lítio aumentará em mais de 8 vezes
- O anodo da grafite em mais de 7 vezes
- O de níquel em 19 vezes
- A de cobalto em 4 vezes, mesmo com a indústria reduzindo o uso de cobalto em uma bateria

Obs: Importante considerar as pesquisas para a criação das super baterias com a utilização do grafeno.

# EXPORTAÇÃO GRAFITE - 2015

- As exportações de bens primários (na forma de concentrados)
  - 20.798 toneladas, gerando faturamento de US\$ 29,4 milhões
- Os principais países de destino da grafita com alto teor de carbono após beneficiamento foram:
  - Estados Unidos (32%), Alemanha (26%), Bélgica (17%), Japão (13%) e Índia (7%)
- Exportadas 4.401 toneladas em produtos manufaturados com composição predominante da grafita, faturando US\$ 14,5 milhões
- Os principais compradores foram:
  - Estados Unidos (20%), Argentina (12%), Peru (10%), Chile (10%) e Tailândia (9%)

# POLITICA DE PREÇO

- A grafite não é negociado em bolsa, como muitos minerais não metálicos
- Não tem preço definido por entidades independentes
- Não existe uma classificação de referência para o setor como um indicador
- O mercado da Grafite tem muitos parâmetros de preços.

# POLITICA DE PREÇO

- Os principais parâmetros são:

Distribuição granulométrica:

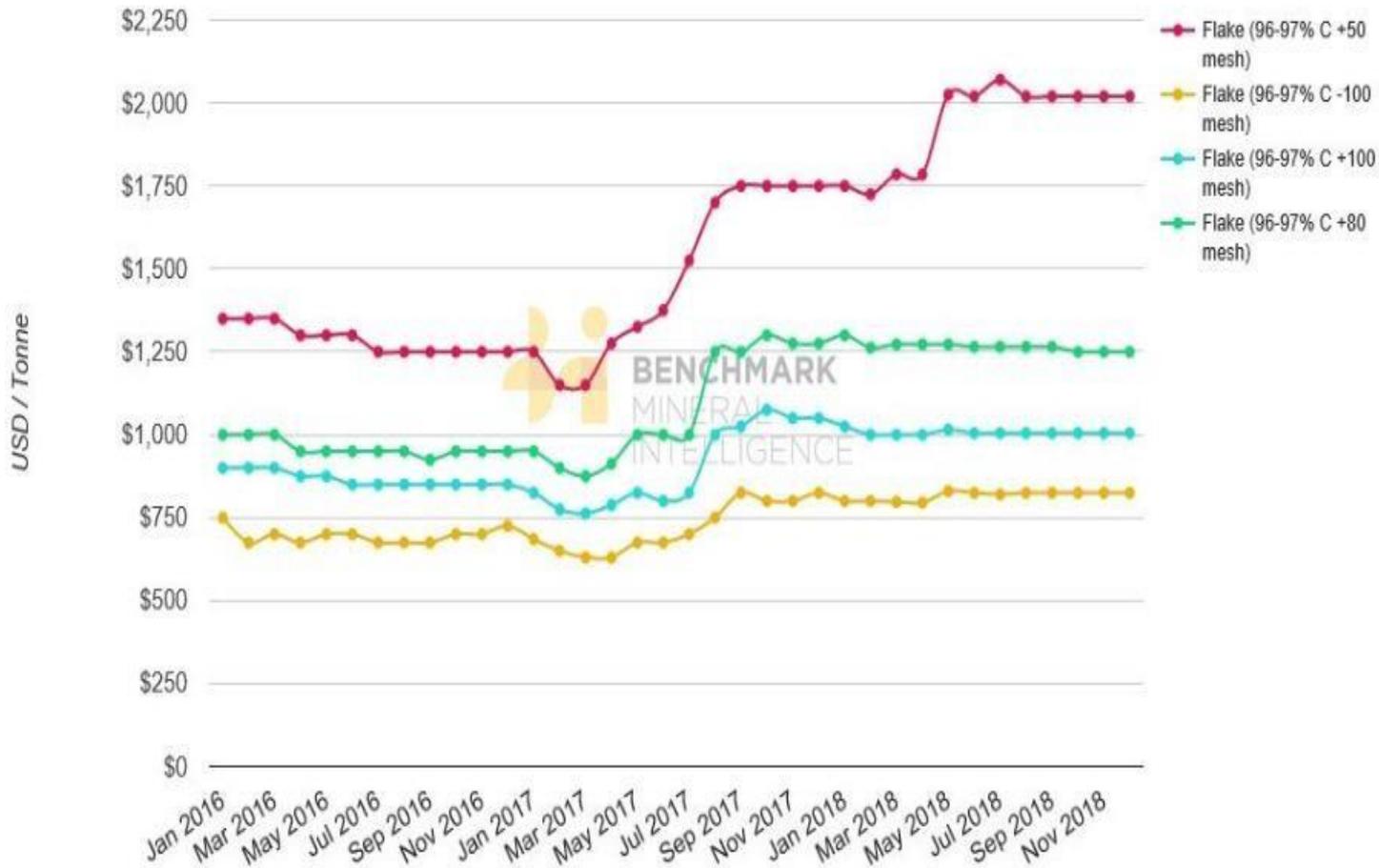
- Flakes extra-grosso (Jumbo): +50 e +35 mesh
- Flakes grosso: +80 mesh
- Flakes Medios: +100 mesh
- Flakes finos: -100 mesh
- Finos (powder): -200 e -325 mesh
- Micronizados e esférico: entre 5 e 25  $\mu\text{m}$
- Nanografite ou grafeno: abaixo 100nm

# POLITICA DE PREÇO

- O Tipo da grafite – Flake, Amorfo, Grafite de Veio ou Sintético.
- Teor de carbono – medido em % de carbono (LOI, TGC, F.C., etc).
- Geralmente quanto mais grosso o flake e com mais alto teor de carbono, mais alto o preço, com exceções.
- Fatores secundários que impactam o preço são:
  - Transporte
  - Taxas
  - Seguro
  - Embalagem
  - Quantidades
  - Etc.

# PREÇO DA GRAFITA

Graphite Prices: Jan 2016 - Dec 2018



# PROJETOS NACIONAIS DO GRAFENO

- Projeto Itabela/BA (Sayoná Mining) está em fase avançada de testes em planta piloto
- Canindé/CE (Lara/Focus) indicando um cenário futuro bastante promissor da mineração de grafita no Brasil.
- Nacional de Grafite, em fase de expansão, principal empresa produtora, anunciou projetos de ampliação de suas plantas de beneficiamento nas unidades produtivas de Pedra Azul e Salto da Divisa (Heider 2017), localizadas no estado de Minas Gerais, com previsão para a implantação integral dessas plantas de beneficiamento para o ano de 2020, com o fim de aumentar a produtividade.

# PROJETOS EM ANDAMENTO

Empresas canadenses e australianas têm demonstrado interesse na produção da grafita natural no Brasil, considerando aspectos relativos ao teor de carbono grafítico das minas.

O projeto Itabela, no estado da Bahia é um dos empreendimentos em fase de avaliação.

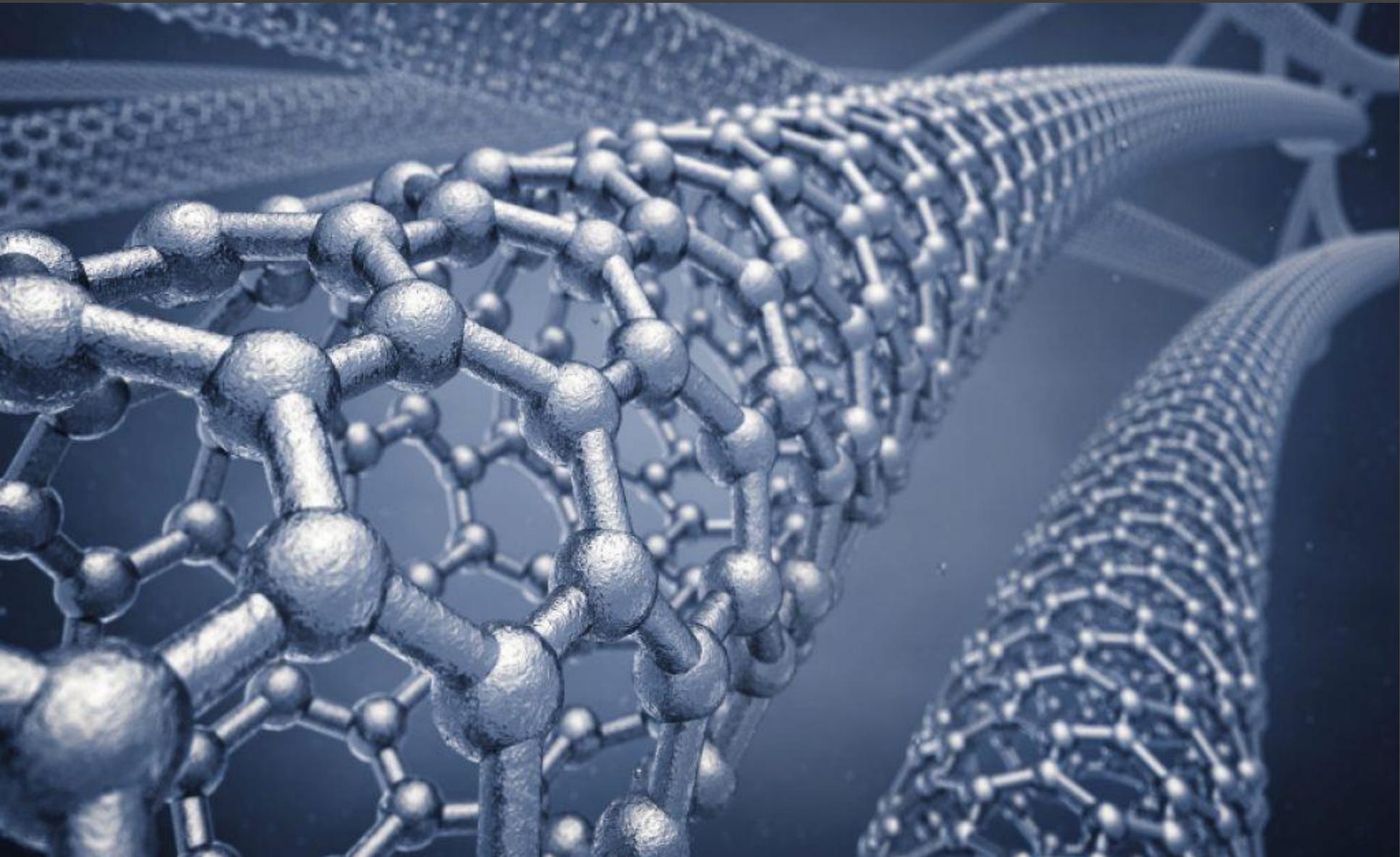
# PROJETOS EM ANDAMENTO

A empresa Paringa Resources detém os empreendimentos da grafite em São Fidélis e Santo Antônio, no Estado do Rio de Janeiro.

A Lara Exploration apresentou resultados da pesquisa mineral, no projeto da grafite Canindé, no Estado do Ceará.

Ainda tem outros projetos em fase de avaliação.

# GRAFENO



# HISTÓRIA DO GRAFENO

- Explorado pela primeira vez pelo físico teórico canadense Philip Wallace em 1947
- Em 1960, acreditava-se que fisicamente o grafeno não poderia existir devido à instabilidade termodinâmica
- O grafeno em si, no entanto, não foi descoberto até 2004 em sua forma totalmente observável e testável
- Desde então, nos últimos 15 anos, os cientistas descobriram que a substância retém algumas propriedades surpreendentes
- Produziram o grafeno pela primeira vez na Universidade de Manchester e foi um avanço na ciência do grafeno e foi trazido por Andre Geim e Konstantin Novoselov

# PESQUISA DO GRAFENO

- 2012 - Universidade Nacional de Cingapura (NUS) investe 11 milhões de dólares em uma "facility" para grafeno
- 2011 - Governo do Reino Unido investe 50 milhões de libras em oportunidades comerciais do grafeno
- 2013 - União Europeia (UE) estabeleceu o programa Graphene Flagship que, com um orçamento de € 1 bilhão (R\$4.2bilhões), é uma das maiores iniciativas de pesquisa científica do mundo, reunindo cientistas de mais de 150 instituições de 23 diferentes países
- 2013 – Coréia do Sul investe 40 milhões de dólares para incrementar a comercialização do grafeno
- 2014 - Reino Unido lança edital de 2,5 milhões de libras para aplicações de grafeno

# PESQUISA DO GRAFENO

- 2014 - Empresa IBM vai investir 3 bilhões de dólares americanos na busca de tecnologia para os chip de próxima geração: e o grafeno é um candidato
- 2018 - A Samsung investiu 13,44 bilhões de euros (R\$ 57,4 bilhões) investidos
- As recentes movimentações financeiras nos países à frente dos investimentos em grafeno dão uma ideia de sua crescente importância econômica: US\$ 21,5 bilhões em 2018, incluindo investimentos em PD&I, investimentos produtivos e a criação de novas empresas e aquisições.

# PESQUISA DO GRAFENO

- A pesquisa feita no Brasil, recebeu o minério extraído do Norte de Minas e do Sul da Bahia, é um salto tecnológico.
- O professor do Departamento de Física da UFMG e coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) de Nanomateriais de Carbono, Marcos Pimenta, da UFMG, captou, até abril de 2019, cerca de R\$ 45 milhões de reais, dos quais, 52% vieram do setor privado (inclui a Petrobras), 45% de fontes governamentais da esfera federal e 3% do governo estadual. “Está na hora de aumentar a participação do Governo do Estado no financiamento desse Centro”, afirmou Pimenta.

# PATENTES DO GRAFENO

Existem mais de 20 mil registros de documentos de patentes relacionados a grafeno para invenções que vão desde pneus de grafeno até celulares flexíveis

Patentes Registradas:

- China já possui cerca de 2.204
- EUA possui cerca de 1.754
- Coréia do Sul possui 1.160
- Samsung (gigante sul-coreana de tecnologia) tem mais de 500 patentes.

# TIPOS DE PESQUISAS DE GRAFENO

| Lugar       | Tipo de pesquisa   | Responsáveis  |
|-------------|--|---|
| Europa      | Uso do grafeno na <u>modificação dos tecidos</u> usados nas roupas de proteção contra o fogo.  | Instituto <i>Hohenstein</i> , as empresas alemãs <i>Ionic Liquids Technologies (IoLiTec)</i> e <i>Fuchsuber Techno-Tex</i> e as belgas <i>Centexbel</i> e <i>Soieries Elite</i> . |
| Alemanha    | Uso das propriedades especiais do grafeno para produzir elementos-chave de uma <u>retina artificial</u> .  | Universidade Técnica de Munique.  |
| Reino Unido | Desenvolvimento de carregador que pode ser utilizado em qualquer celular ou <i>tablet</i> com porta Universal Serial Bus (USB) padrão que <u>recarrega a bateria do celular em 5 minutos através de um supercapacitor de grafeno</u> , substituindo o alumínio que era usado.                                      | Empresa <i>Zap &amp; Go</i> sediada na Universidade de <i>Oxford</i> .  |
| América     | Solução para a dessalinização da água do mar por meio da patente do material <i>Perforene</i> , que é uma solução de filtração molecular projetada para atender à crescente demanda global por <u>água potável</u> . Essa membrana apresenta buracos com tamanho de um nanômetro ou menos em uma folha de grafeno. | <i>Lockheed Martin</i> , empresa sediada em <i>Bethesda</i> (Estados Unidos).   |
| Ásia        | Solução com base no grafeno para a necessidade dos veículos elétricos de baterias que suporte a recuperação e <u>reutilização da energia</u> que normalmente é desperdiçada quando os freios desaceleram o veículo.  | Instituto de Ciência e Tecnologia <i>Gwangju</i> na Coréia,   |
| Irã         | Produção de um biosensor com repetibilidade simples, adequado para a <u>medição da glicose</u> em seres humanos, e conseqüentemente, para diagnosticar a diabetes através de uma combinação de nanopartículas de ouro-grafeno.   | Universidade de Tecnologia de <i>Amirkabr</i>   |
| Oceania     | Introdução do grafeno na <u>espuma dos colchões</u> . O grafeno é combinado ao material <u>para produzir uma memória</u> na espuma para proporcionar não só conforto, como também conduzir o calor para longe do corpo.  | Empresa <i>Sleepyhead</i> , parte do grupo <i>The Comfort NA</i> da Austrália, Nova Zelândia, Nova Guiné.   |

Fonte: Adaptado de Marion, B., & Hasan, N. (2016). Grafeno: Inovações, aplicações e sua comercialização. *Interfaces científicas, exatas e tecnológicas*.

# O QUE É GRAFENO?

- O grafeno é um material formado por um arranjo de átomos de carbono em uma estrutura hexagonal na forma de favos de mel, com espessura de apenas um átomo de carbono.
- O grafeno é um cristal 2D de átomos de carbono, disposto em uma rede alveolar
- Existem dois métodos conhecidos de obter o grafeno, que são:
  - Esfoliação química e mecânica do grafite, com separação das folhas do material
  - Construção da folha de grafeno a partir da deposição de átomos de carbono

# O QUE É GRAFENO?

- Grafeno de camada simples (single-layer graphene - SG)
- Grafeno de dupla camada (bilayer-graphene - BG)
- Grafeno de poucas camadas (few-layer graphene - FG) com número de camadas menor ou igual a 10 (RAO et al., 2013)

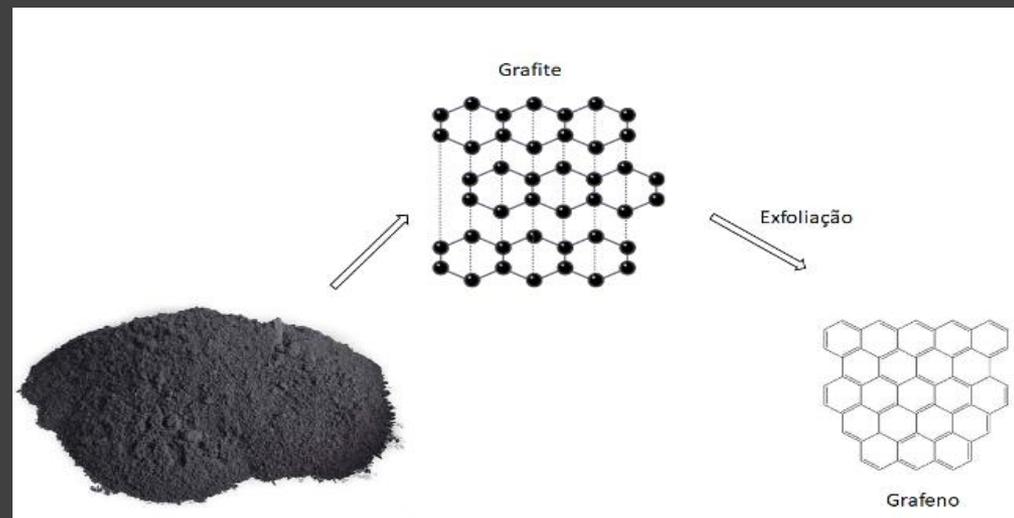
Ainda não se sabe o que é exatamente o grafeno, só se sabe que é um

“SUPER MATERIAL”



# TAMANHO DO GRAFENO

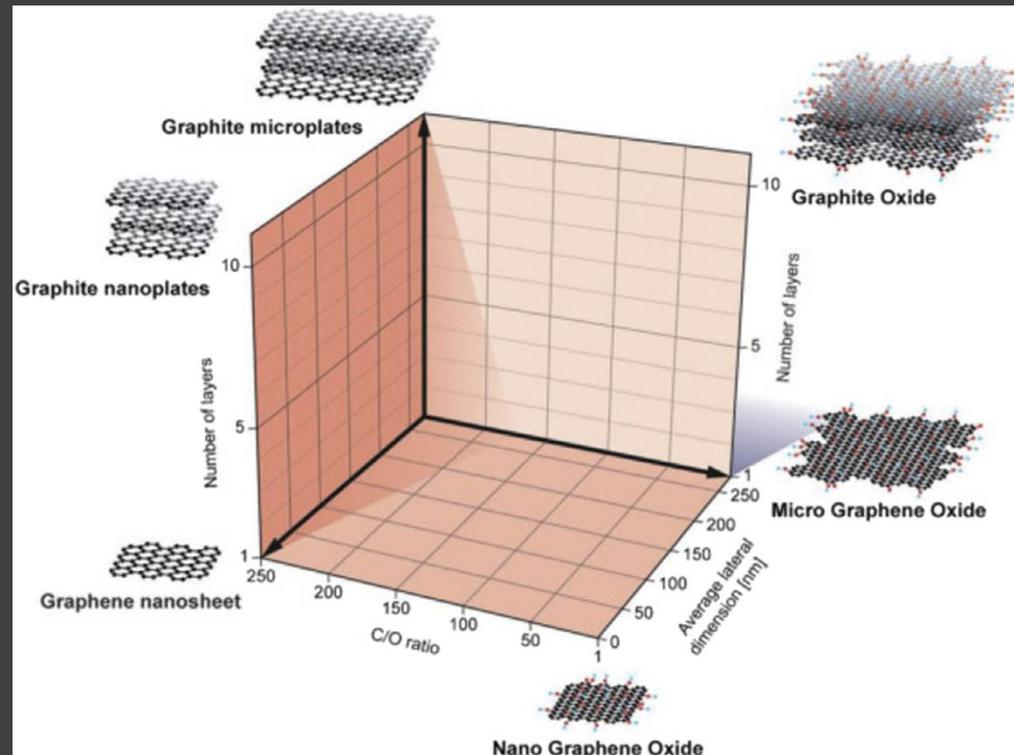
- Uma folha de grafeno isolada tem espessura de 0,37 nm (1 nanometro = 0,0000000001 metros), sendo classificado como um nanomaterial.
- Na escala nano, uma formiga tem 10 milhões nm; um fio de cabelo, 50 mil nm. Mas o grafeno é ainda menor, com diâmetro 50 mil vezes menor que o de um fio de cabelo, e 2 milhões de vezes menor que o de uma minhoca.



# TIPOS DE GRAFENO

O mercado global de grafeno é segmentado com base no produto, usuário final e região.

- Com base no produto é segmentado em:
- Grafeno Monocamada
- Bicamada
- Grafeno multicamada
- Nanoplatelets de grafeno
- Óxido de grafeno - CVD



# PROPRIEDADES DO GRAFENO

O grafeno é um nanomaterial revolucionário, em razão de suas propriedades especiais:

- Registra recorde de condutividade térmica
- A mais alta densidade de corrente
- É um dos melhores condutores elétricos do mundo, conduz eletricidade melhor do que o cobre
- Alta resistência mecânica - 20 vezes maior que o aço
- Alta estabilidade química (embora possa ser ligado a grupamentos químicos diversos)
- Impermeável até mesmo a átomos de Hélio

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

- É o material mais fino que existente.
- Tem conectividade excelente
- Portadores de carga do grafeno se movem a uma velocidade efetiva cerca de 300 vezes menor que a velocidade da luz
- Transparente - reflete menos de 2% dos raios solares
- Tem um efeito de campo elétrico ambipolar à temperatura ambiente

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

## Força

- 200 vezes mais forte que o aço
- É o material mais forte que existente
- É considerado o material mais forte já testado com uma força de 42 N m<sup>-1</sup>, o que equivale a uma força intrínseca de 130 GPa.

## Rigidez

- É considerado o material mais rígido, mas pode ser ainda mais endurecido de uma maneira específica.
- A força de ruptura obtida experimentalmente e o valor experimental da rigidez elástica igual a  $340 \pm 50$  N m<sup>-1</sup>. Corresponde a um módulo de Young de  $1,0 \pm 0,1$  TPa, assumindo uma espessura efetiva de 0,334 nm.

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

## Dureza

- O grafeno é mais duro que o diamante e cerca de 300 vezes mais duro que o aço.
- A resistência à tração do grafeno excede 1 TPa.
- É extensível até 20% do comprimento inicial.

## Resistência:

- Elástico pode esticar 20-25 vezes e não quebrar
- É possível misturar o grafeno a outros materiais, como o plástico, que é flexível, mas rasga com facilidade. Por ser resistente, o grafeno manteria a maleabilidade do plástico, conferindo-lhe mais resistência.

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

## Leveza

- É o material mais leve que existe



- Na indústria aeronáutica é possível produzir aviões mais leves, que gastem menos energia e provoquem menor impacto ambiental.
- No setor das eólicas quanto maior o cata-vento, maior a eficiência da conversão das pás, ou seja, suas pás são maiores e mais leves resultando em maior eficiência energética.

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

- Alta mobilidade eletrônica
- Possui uma combinação única de propriedades ideal para os eletrônicos de última geração
- Tenacidade – Tem constância
- A introdução de grafeno em alumínio e magnésio torna-os mais fortes que o titânio.
- Não é permeável a gases
- Se destaca tanto como material individual quanto como agente de reforço em compósitos

# PROPRIEDADES DO GRAFENO

## Propriedades Ópticas

- Muitos especialistas acreditam que a real oportunidade para o grafeno pode estar na área da fotônica e da optoeletrônica.
- A alta mobilidade do Grafeno permite uma extração ultrarrápida de portadoras geradas por fotos, o que leva a uma operação de alta largura de banda. O grafeno também tem uma ampla faixa espectral do ultravioleta ao infravermelho.
- Parte do sucesso que o grafeno mostrou nas aplicações optoeletrônicas com um laser de grafeno ultrarápido “mod-locked”, fotodetectores baseados em grafeno e computadores ópticos.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

Os nanomateriais à base de grafeno têm muitas aplicações promissoras

- Filtro de Dessalinização:

## TRANSFORMANDO ÁGUA DO MAR EM ÁGUA POTÁVEL

Por meio de um controle muito preciso do tamanho dos furos na folha de grafeno, os filtros de óxido de grafeno poderiam superar outras técnicas de dessalinização por uma margem significativa. Destilação de etanol: As membranas de óxido de grafeno permitem a passagem de vapor de água, mas são impermeáveis a outros líquidos e gases.

–Inclusive as membranas poderiam revolucionar a economia da produção de biocombustíveis e a indústria de bebidas alcoólicas.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Desintoxicar água

Estudos de pesquisadores da Rice University identificaram que o óxido de grafeno é capaz de remover material radioativo da água

- Filtrar água

Na Universidade de Manchester a descoberta foi de que o grafeno é impermeável a todo tipo de resíduo, mas deixa a água o transpor, podendo então, ser usado como filtro

- Aperfeiçoar raquetes

A fabricante de tênis HEAD anunciou um modelo que contém grafeno na composição, garantindo melhor distribuição do peso e maior velocidade ao saque de jogadores

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Embalar alimentos

Na Universidade de Xangai foi criado um papel anti- bactérias para embalar alimentos, feito à base de grafeno

- Fabricar camisinhas

A Fundação Bill e Melinda Gates tem dois projetos para a fabricação de preservativos com grafeno, devido a sua impermeabilidade

- Tatuagem dentes

Na Universidade de Princeton está sendo desenvolvido uma pesquisa que teria como objetivo uma tatuagem no dente composta de um sensor de grafeno para monitorar a saúde bucal

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Transmitir FM

Na universidade americana de Columbia, o grafeno foi usado para desenvolver o menor transmissor de frequência modulada (FM) já feito.

- Tirar fotos

Um sensor para câmeras com grafeno é 10 vezes melhor que os atuais, segundo cientistas da Nanyang Technological University, de Singapura.

- Reparar aviões

Na Universidade de Manchester, estudos avançados para compostos de grafeno que podem estar em reparos de carros e aviões.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Melhorar a internet

Nas Universidades de Bath e Exeter, experimentos apresentaram interruptores óticos de grafeno que aumentam até 100 vezes a velocidade de transmissão de dados.

- Sensores

O grafeno se mostrou útil em sensores de gás, protegendo instalações de acidentes e até de bombas que exalam gases e substâncias químicas.

- Armazenar dados

Na Swinburne University of Technology, pesquisadores desenvolveram um disco capaz de armazenar 3 vezes mais dados que Blu-ray.

# APLICAÇÃO DO GRAFENO

- Ouvir (bem) música

Na Universidade da Califórnia, um estudo aponta que o grafeno pode ser utilizado para produção de fones de ouvido muito melhores.

- Reforçar smartphones

A Nokia utiliza de um prêmio de 1,3 bilhão de dólares para desenvolver melhores acabamentos a smartphones, como telas mais finas, resistentes e moldáveis.

- Recarregar baterias

Na Universidade da Califórnia, Richard Kaner mostrou baterias de smartphones e notebooks que recarregam em até 10 segundos.

- Aplicações promissoras para sensores biológicos e químicos
  - Moléculas biológicas, gases e compostos orgânicos e inorgânicos, detecção de energia, detecção de glicose, maltose, dopamina, ácido úrico, aminoácidos, DNA, etc.
  - Sua estrutura distinta 2D do óxido de grafeno (GO), combinada com sua superpermeabilidade às moléculas de água, leva a dispositivos sensoriais com uma velocidade sem precedentes.
  - O DNA poderá ser analisado em um ritmo recorde. Na Universidade de Harvard e Massachusetts Institute of Technology, pesquisadores utilizaram água, eletricidade, DNA e grafeno para um novo método de sequenciamento de material genético, esse método lê a sequência de bases químicas em uma fita de DNA, enviando a molécula através de uma pequena fenda em uma folha de grafeno.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Acelerar chips

A IBM utiliza o grafeno e silício combinados para fazer um chip mais potente, estando próximo do resultado e lançamento para o público.

- Isolar tumores

Em teste na Polônia, gliomas em animais foram combatidos com uma rede em torno da célula doente formada por grafeno.

- Formar músculos

Na Universidade de Duke, o grafeno serviu de matéria prima para um filme elástico de polímero, que compõe músculos artificiais.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

Armazenamento de energia e células solares

As quatro principais áreas relacionadas à energia em que o grafeno terá impacto são:

- Células solares
- Supercapacitores
- Catálise para células de combustível
- Baterias de grafeno

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Permeação seletiva de moléculas orgânicas e inorgânicas
- Aumentar a eficiência de pilhas e de baterias para armazenar cargas e em baterias recarregáveis
- Baterias de íon lítio de nova geração
- Aumentar a eficiência energética
- Produção de equipamentos esportivos
- Uso em telas sensíveis ao toque
- Usadas em smartphones
- Melhorar a capacidade de energia e taxa de carga
- É um material em potencial para o desenvolvimento de transistores de efeito de campo

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

- Plásticos condutores mecanicamente resistentes
- Tintas e vernizes, que podem gerar filmes e recobrimentos protetores de alto desempenho
- Construção Civil
- Adição a materiais estruturais para reforço de propriedades mecânicas
- Dispositivos de conversão
- Painéis fotovoltaicos

Hoje, todos os dispositivos eletrônicos são feitos com silício.

- Nos últimos anos, experimentamos computadores mais rápidos, com maior capacidade de memória, que chegarão aos limites permitido pelo silício e o grafeno é o material potencialmente capaz de supera-la.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

O grafeno é um condutor tão potente que é impossível 'desligá-lo', e o funcionamento do chip depende do controle da corrente, como um interruptor.

A elevada condutividade elétrica permite sua aplicação em:

- Eletrônica impressa
- Na produção de dispositivos vestíveis
- Tecidos inteligentes
- Confecção de eletrodos
- Filmes finos condutivos

Aproveitando seu tamanho reduzido, leveza e supercondutividade para a criação de microchips de alta potência e roupas inteligentes

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

O setor de energia e armazenamento

É onde se concentra o maior potencial econômico e tecnológico de aplicação do grafeno

Esse material apresenta elevada área superficial, boa estabilidade química e alta condutividade elétrica.

Esses desenvolvimentos irão permitir um aumento significativo da capacidade de armazenamento de energia elétrica em baterias mais seguras, leves e compactas, cobrindo uma gama de utilizações que vai desde o setor de eletro-eletrônica até o de mobilidade em veículos elétricos.

# APLICAÇÕES DO GRAFENO

## UFMG

- O grafeno produzido nos laboratórios da UFMG permite oferecer ao mercado três produtos principais:
- Grafeno A – aplicações sensores, supercapacitores, refratários, têxteis condutores;
- Grafeno B – aplicações em termoplásticos, compósitos (resistência mecânica e condutividade), revestimentos.
- Grafeno C, que são lacas de grafite com dimensão manométrica – aplicações em peças metálicas sinterizadas, lubrificantes, plásticos e em baterias chumbo-ácido.

# DESAFIOS NA PRODUÇÃO DO GRAFENO

Os grandes desafios atualmente são:

reduzir o custo do grafeno

complexidade do processo em grande escala industrial

Ele ainda é um material substituto, que “muitas vezes substitui outras formas de aditivo de carbono, como grafite, CNTs (Carbon nanotubes) ou diferentes formas de carbono”.

# DESAFIOS NA PRODUÇÃO DO GRAFENO

Por exemplo, atualmente, os preços de venda de filmes finos de grafeno monocamada de 50x50 da Graphene Square são de US\$ 263 e US\$ 819 na película de Cu e PET, respectivamente. As nanoplatelets de grafeno (5-8 nm de espessura) fabricadas pela XG Sciences são vendidas a cerca de US\$ 219-229 /kg. O alto custo do grafeno é um dos principais obstáculos à sua adoção generalizada para aplicações comerciais.

# PLANTA PILOTO DO GRAFENO

Parceiras da CODEMIG, CDTN e UFMG desenvolverão escala piloto de produção

Em uma estratégia para alterar o perfil industrial do Estado de Minas Gerais, hoje concentrado na extração mineral e materiais de baixo valor, a Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) buscou parceria com o CDTN e com a UFMG para desenvolver a tecnologia de produção do grafeno, em escala piloto. Trata-se do Projeto “MGgrafeno – Produção de Grafeno a Partir da Esfoliação Química de Grafite Natural e Aplicações”, que receberá investimentos de R\$ 21,3 milhões até meados de 2019.

# PROJETO MGgrafeno

O MGgrafeno já opera em uma planta piloto, sendo a primeira para produção de grafeno no Brasil.

O processo gera dois nanomateriais: o grafeno e as nanoplacas de grafeno, com capacidade instalada de aproximadamente 35 kg/ano e 110 kg/ano, respectivamente.

Transformar grafita em grafeno agregará valor a esse mineral, cujo preço final pode alcançar US\$100,00 por grama, dependendo da aplicação.

# PLANTA PILOTO DO GRAFENO

Montagem de Planta Piloto permita produção do grafeno com a utilização de técnicas de ultrassom e moagem com alta velocidade, para delaminação do grafite natural, que permita:

- Produção de grafeno com qualidade premium, com alta condutividade elétrica, e livre de defeitos
- Produção em larga escala, com alto rendimento e baixo OPEX/CAPEX.

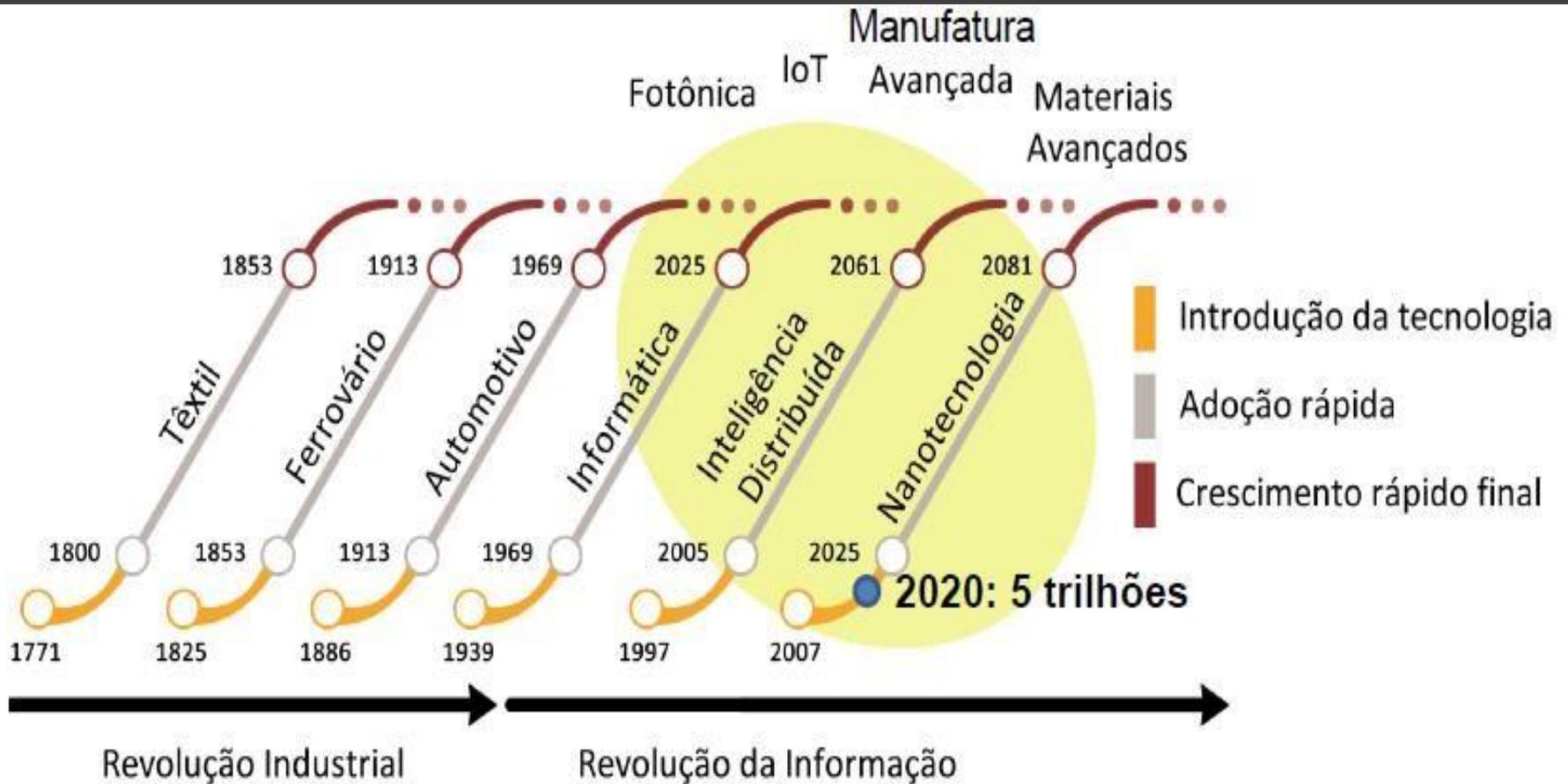
O processo é baseado em água, 100% do resíduo produzido é reutilizado ou reciclado e 100% da água utilizada retorna ao processo. Isso torna a planta ecologicamente correta e sustentável e, até onde se pode afirmar, é a única no mundo com essas características.

# PESQUISADORES DO GRAFENO DA PLANTA PILOTO

- A equipe do CDTN, liderada pelas pesquisadoras Clascídia Furtado (coordenadora) e Adelina Pinheiro Santos, é responsável pelo desenvolvimento da tecnologia de produção do grafeno, separação e demonstração de aplicações em baterias de íon lítio e compósitos poliméricos.
- A equipe da UFMG, cujos pesquisadores principais são os professores Luiz Gustavo Cançado, Daniel Cunha Elias e Flávio Orlando Plentz Filho, é responsável pela caracterização dos materiais produzidos, para garantia da qualidade do produto, e por demonstrar sua adequação a filmes finos condutores, sensores e dispositivos.

# NANOTECNOLOGIA - PREVISÕES

O grafeno está inserido no desenvolvimento da nanotecnologia e segundo a previsão, até 2020 serão gerados 5 trilhões no setor. Deste valor, uma grande fatia pode fazer parte da cadeia produtiva do grafeno.



# PREVISÕES DO MERCADO GLOBAL DO GRAFENO

"Em vários anos, os preços do grafeno a granel podem cair abaixo do silício, permitindo que o grafeno entre em todos os mercados"

- De acordo com o último relatório "Grafeno: Tecnologias, Aplicações e Mercados" divulgado pela BCC, o mercado global de grafeno está projetado para crescer US\$ 675,1 milhões até 2020 em uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 58,7% em um período de 5 anos.
- De acordo com o estudo de mercado da *DataM Intelligence 4Market Research*, projeta-se que o mercado mundial de grafeno seja de R\$ 1,1 bilhão até 2025, com crescimento médio anual de 32%.

# Empresa Canadense South Star Mining Corp.

Empresa Canadense South Star Mining Corp. compra 100% da Brazil Graphite SA em 2018 e inicia Projeto Santa Cruz Grafite localizado no segundo maior distrito produtor de grafite de floco do mundo e está localizado no Estado da Bahia.

Atualmente, a companhia canadense tem 100% de 13 licenças de exploração aprovadas no Brasil, cobrindo aproximadamente 13.000 hectares.

O projeto está localizado no segundo maior distrito produtor de grafite do mundo.

Estudos indicam que a mina tem tempo de vida de 19 anos, com potencial de 12 milhões de toneladas de grafite e pode ser usado como moderador ou refletor dos reatores nucleares.

# MAIORES PRODUTORES DO GRAFENO

No grupo das maiores produtores de grafeno, até 2015, estão:

- A Graphene Square Inc (Coreia do Sul)
- Graphenea (Espanha)
- Graphensic (Suécia)
- AMO GmbH Aachen (Alemanha)
- Graphene Supermarket (EUA)
- Varbeck Material (EUA)
- XG Sciences (EUA)

# PIONEIRA NA FABRICAÇÃO DE NANOPLATELETS DE GRAFENO

A XG Sciences, Inc. (“XGS”), formada em maio de 2006, é pioneira e líder de mercado no projeto e fabricação de nanoplatelets de grafeno.

A XGS vendeu produtos para mais de 1.000 clientes em 47 países que estão em vários estágios de teste de seus produtos para diversas aplicações. A XGS também licenciou elementos de sua tecnologia para os principais parceiros da cadeia de suprimentos e distribuição, como Cabot Corp e POSCO.

Com sede em Lansing, Michigan, a empresa arrecadou US\$ 32 milhões até o momento e conta com 23 funcionários em tempo integral.

# PIONEIRA NA FABRICAÇÃO DE NANOPLATELETS DE GRAFENO

“Apesar da crescente concorrência de um punhado de novos participantes no espaço do grafeno, a XG continua sendo a líder de baixo custo e também possui a mais impressionante execução de negócios até hoje”.

O mercado global de LiB é grande e está crescendo rapidamente. De acordo com a Avicenne Energy [1], o mercado LiB de 2014 é de US\$ 13,6 bilhões e está crescendo para US\$ 21,5 bilhões em 2016, impulsionado pela rápida proliferação de tablets, smartphones, veículos elétricos e aplicações de armazenamento em grade.

A parte do mercado que a XGS aborda é o segmento de materiais anódicos, que a Avicenne avalia em cerca de US\$ 850 milhões em 2014 e espera crescer para US\$ 1,3-1,4 bilhão em 2018.

# PLAYERS NO MERCADO DO GRAFENO

Alguns dos principais players no mercado global de grafeno são:

A ACS Material LLC

A Nanquim XFNANO Materials Tech

A Graphenea AS

A Nano Material Tech

A Applied Graphene Materials

A Advanced Graphene Products

A Applied Nanotech Inc.

A Haydale

Graphene Frontiers

Grafoid Inc.

# PRODUÇÃO FUTURA NECESSÁRIA

- O aditivo de grafeno pode representar apenas 10% dos eletrodos, mas mesmo assim os fabricantes precisarão de até 30.000 toneladas de grafeno por ano.
- Com a introdução de novos materiais anódicos com 40% de grafeno, serão necessárias mais de 120.000 toneladas por ano. Isso sem mencionar os vários compósitos, polímeros, células solares, etc. Mesmo a produção de produtos tradicionais sofrerá mudanças, dada a capacidade do grafeno de alterar radicalmente as propriedades dos materiais básicos comuns.

# CUSTO DE PRODUÇÃO DO GRAFENO

O custo atual de produção da Abalonyx, desenvolvedora de óxido de grafeno da Noruega, é de cerca de € 800 por Kg (base seca), atualmente usado por pesquisadores e esforços iniciais de P & D.

A Abalonyx estima que, à medida que o volume de produção aumenta, o preço da produção pode chegar a cerca de 22 euros / kg. A projeção baseia-se na própria extrapolação da capacidade atual e no efeito da automação total.

Atualmente, a Abalonyx está vendendo seu óxido de grafeno a € 1.300 - € 4.000 por Kg, dependendo da quantidade e do valor (€1.300 - € 4 por grama).

# CUSTO DE PRODUÇÃO DO GRAFENO

- A empresa Abalonyx produz 1,1 kg por lote e geralmente produz menos de 1 lote por semana, pois a demanda ainda é limitada. A empresa diz que pode facilmente aumentar sua produção para cerca de 800 Kg / ano.
- O filme de grafeno CVD de 4 polegadas da Graphenea em um wafer de silício custava US\$ 572 em 2017, o que representava uma queda de 33% em relação ao preço de 2015 (US\$ 849).
- Dos cinco produtos de Grafite da empresa Graphenea queda de preços desde 2015 varia de 12% a 38%.

# PREÇO DO GRAFENO

O óxido de grafeno em solução é vendido por 99 euros por 250 mL. O pó de óxido de grafeno (grafeno funcionalizado com oxigênio e hidrogênio) é barato e tem sido usado para análise de DNA e para outras aplicações avançadas de compósitos e biotecnologia.

O grafeno exfoliado mecanicamente (obtido com a famosa técnica de “fita adesiva”) vem em flocos pequenos e de alta qualidade. Possui as melhores propriedades físicas, alcançando a condução de corrente prevista teoricamente, a resistência mecânica, etc. O preço desse grafeno pode ser da ordem de vários milhares de dólares por floco.

O grafeno CVD, disponível com alta qualidade da Graphenea, oferece qualidade suficiente para praticamente qualquer aplicação de grafeno.

O preço do grafeno CVD (grafico) está ligado ao volume de produção e aos custos de transferência do substrato de cobre, sobre o qual é cultivado, para outro substrato.

A tecnologia de grafeno em escala industrial leva a um baixo custo de grafeno CVD para pedidos em massa. Os pedidos em massa desse grafeno podem ser mais baratos do que, por exemplo, o carboneto de silício, um semicondutor importante.

# COMPARATIVO DE PREÇO GRAFITA X GRAFENO

A grafita vendida com preço médio de US\$1.700/t passa pela produção de grafeno a cada 1kg de grafita é possível produzir 150g de grafeno e cada grama de grafeno é vendido a US\$100, podendo chegar a US\$200,00 dependendo da aplicação e qualidade.

Então, 150g de grafeno custam 15 mil dólares.

A tonelada de grafite, inicialmente vendida a US\$1.700 dólares, consegue então, produzir 150kg de grafeno e render 15 milhões de dólares.

O que significa que as atenções deveriam estar na indústria da transformação dos minerais.

# MERCADO GLOBAL

- No mundo, há cerca de 100 empresas relacionadas ao grafeno, sendo que a maioria atua tanto na produção quanto na exploração de aplicações desse novo e extraordinário nano material.
- A América do Norte deterá a maior participação no mercado global de grafeno e será rastreada pela Europa até o final de 2023.

# EXPORTAÇÃO DO GRAFENO

- O mercado global de grafeno é segmentado na América do Norte, Ásia-Pacífico, Europa, América Latina, Oriente Médio e África.
- Foram mapeadas 98 empresas, dos principais países potenciais compradores, Estados Unidos (EUA), China, Reino Unido, Canadá e Alemanha que, basicamente, utilizam 14 produtos à base de grafeno no mercado de tintas, baterias, filamento de impressão 3D e equipamentos esportivos.

# MAIORES EMPRESAS CONSUMIDORAS DE GRAFENO NO MUNDO

- IBM (EUA) - produzindo componentes eletrônicos e materiais para uso na informática
- A SAMSUNG - produzindo componentes eletrônicos
- A BASF (Alemanha) - que utiliza o grafeno para compósitos e materiais poliméricos
- A SANDISK (Canadá) - para uso em componentes eletrônicos
- A Bayer Material Science (Alemanha), que trabalha com desenvolvimento e inovação do grafeno.

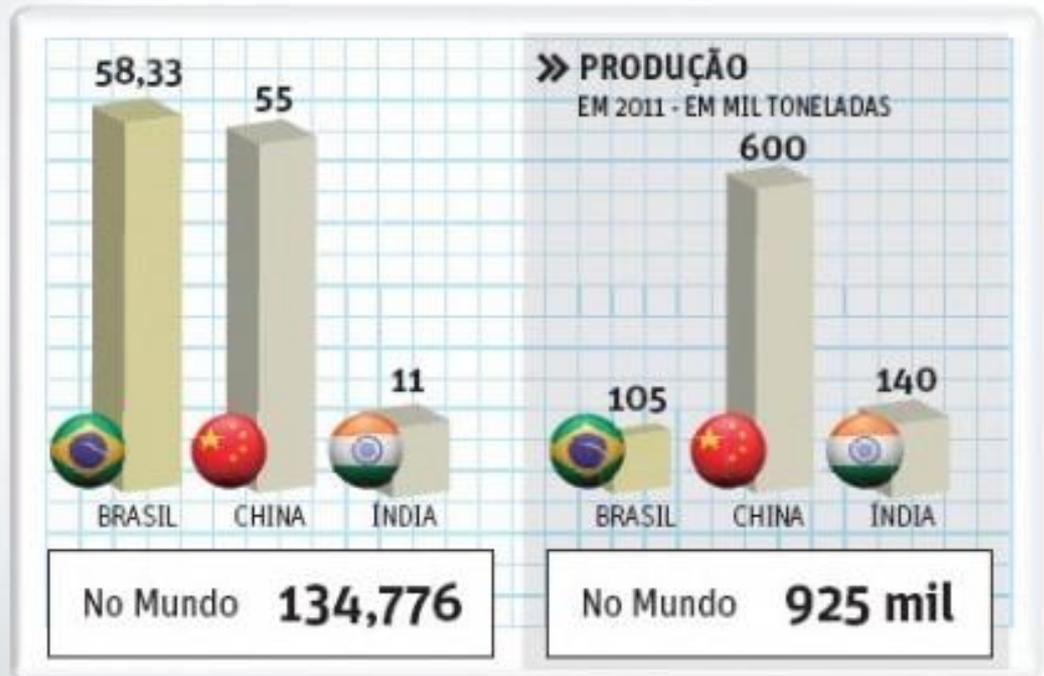
A empresa Bayer Material Science é líder mundial em produção de nanotubos de carbono e amplia seu foco de atuação para pesquisas com grafeno.

# RESERVAS DO GRAFENO

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de grafite e responde pela terceira maior produção do mineral atualmente, sendo que Minas Gerais lidera a produção brasileira, contribuindo com mais de 70% do grafite produzido.

## RESERVAS DE GRAFITE

Em milhões de toneladas



FONTES: DNPM E PESQUISA

# PROCESSOS ANM - GRAFITA

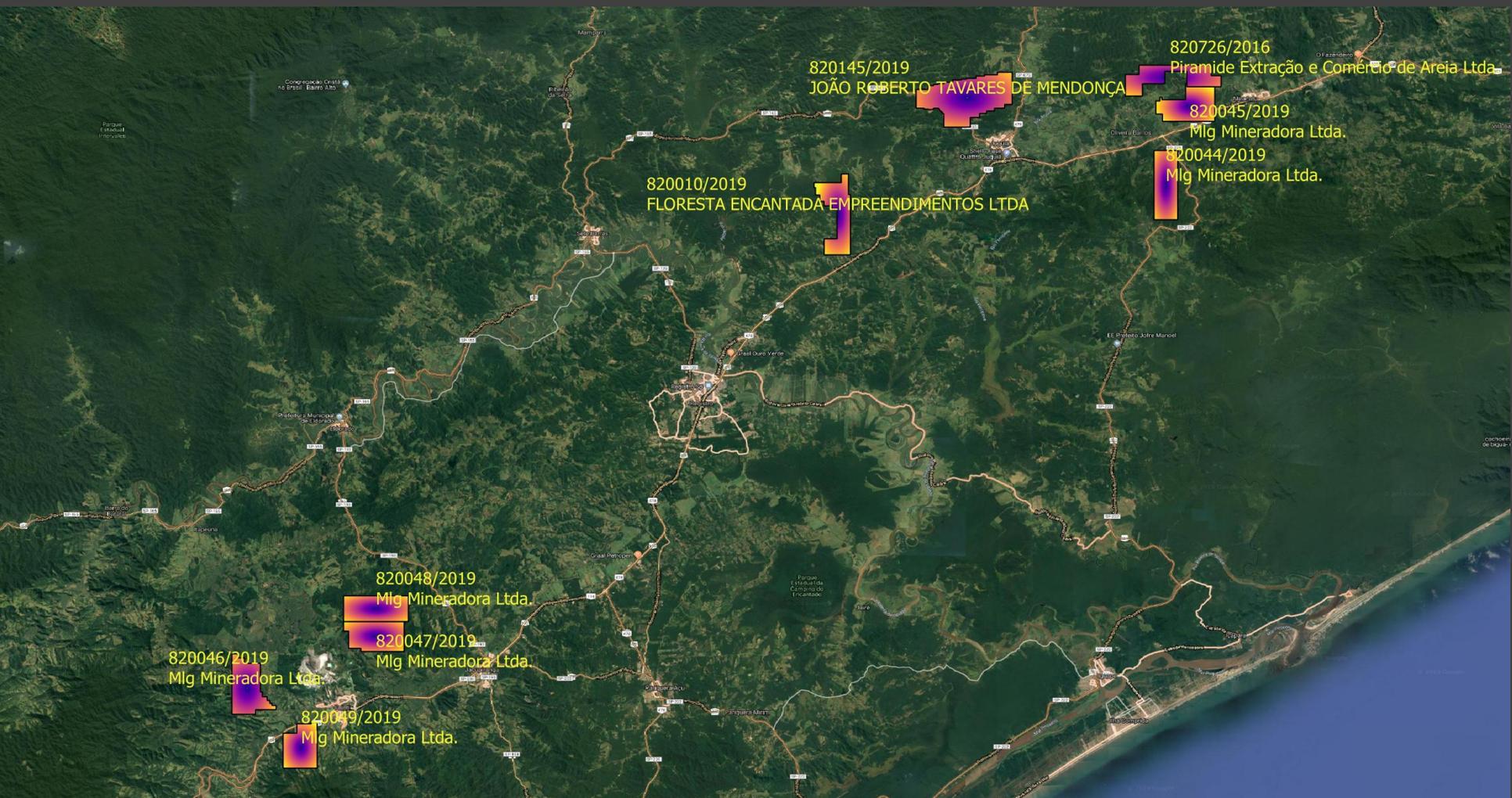
| Fase do Processo          | Número de Processos |
|---------------------------|---------------------|
| Concessão de lavra        | 44                  |
| Requerimento de lavra     | 64                  |
| Autorização de pesquisa   | 1286                |
| Requerimento de pesquisa  | 1324                |
| <b>Total de Processos</b> | <b>2718</b>         |

| Ano do Processo | Número de Processos por Ano |
|-----------------|-----------------------------|
| 2012            | 333                         |
| 2013            | 46                          |
| 2014            | 44                          |
| 2015            | 37                          |
| 2016            | 34                          |
| 2017            | 74                          |
| 2018            | 55                          |
| 2019            | 60                          |

# REQUERIMENTOS DE GRAFITE EM SÃO PAULO

| Processo     | Tipo de requerimento                          | Fase atual               | Nome do titular                             | Municípios               | Substâncias |
|--------------|---|--------------------------|---|--------------------------|-------------|
| 820.010/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Autorização de Pesquisa  | FLORESTA ENCANTADA EMPREENDIMENTOS LTDA     | JUQUIÁ/SP                | GRAFITA     |
| 820.046/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Autorização de Pesquisa  | Mlg Mineradora Ltda.                        | CAJATI/SP                | GRAFITA     |
| 820.045/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Autorização de Pesquisa  | Mlg Mineradora Ltda.                        | MIRACATU/SP              | GRAFITA     |
| 820.044/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Autorização de Pesquisa  | Mlg Mineradora Ltda.                        | IGUAPE/SP                | GRAFITA     |
| 820.145/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | JOÃO ROBERTO TAVARES DE MENDONÇA            | JUQUIÁ/SP                | GRAFITA     |
| 001.818/1963 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Concessão de Lavra       | Votorantim Cimentos S A                     | SALTO DE PIRAPORA/SP     | GRAFITA     |
| 820.049/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | Mlg Mineradora Ltda.                        | CAJATI/SP                | GRAFITA     |
| 820.048/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | Mlg Mineradora Ltda.                        | CAJATI/SP                | GRAFITA     |
| 820.047/2019 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | Mlg Mineradora Ltda.                        | CAJATI/SP                | GRAFITA     |
| 820.726/2016 | Requerimento de Disponibilidade para pesquisa | Autorização de Pesquisa  | Piramide Extração e Comércio de Areia Ltda. | MIRACATU/SP              | GRAFITA     |
| 820.821/1997 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Lavra    | Eco Blasting Servico e Comercio Ltda        | PINDAMONHANGABA/SP       | GRAFITA     |
| 001.984/1935 | Requerimento de Manifesto de Mina             | Concessão de Lavra       | LINDOLFO PIO DA SILVA DIAS                  | SÃO JOSÉ DO RIO PARDO/SP | GRAFITA     |
| 805.117/1977 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | MARDEN IVAN NEGRAO                          | SETE BARRAS/SP           | GRAFITA     |
| 813.877/1972 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | STELA ALMEIDA VILHENA RESSTEL               | ELDORADO/SP              | GRAFITA     |
| 807.946/1968 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Requerimento de Pesquisa | PAULO ANAWATE                               | PIEDADE/SP               | GRAFITA     |
| 000.281/1943 | Requerimento de Autorização de Pesquisa       | Autorização de Pesquisa  | JOSÉ ALVES DE SOUZA                         | TAUBATÉ/SP               | GRAFITA     |

# REQUERIMENTOS GRAFITA VALE DO RIBEIRA – 2019



# BASE PARA O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

O diretor de Ciência, Tecnologia e Inovação da Fapemig, Paulo Sérgio Lacerda Beirão, destacou a importância do financiamento público para pesquisas em etapas embrionárias, quando ainda não é possível vislumbrar seus desdobramentos, e comentou que a Fundação apoiou desde o início o projeto que deu origem ao CTNano.

“Se apostarmos que esse tipo de modelo pode ser a base para o desenvolvimento econômico e social do nosso país e do nosso estado, certamente colheremos frutos, embora não sejam imediatos”, observou.

Todas as áreas de aplicações do grafeno são grandes por si só, e ainda não se sabe qual o melhor tipo de grafeno existente, ainda precisa se avaliar para encontrar o melhor.



O FUTURO DO BRASIL PODE ESTAR NA  
INDÚSTRIA DA TRANSFORMAÇÃO

O Instituto do desenvolvimento da Mineração agradece por poder contribuir com as informações necessárias para o melhor conhecimento tanto do grafite quanto do grafeno.



**Suelen Geremia**

Presidente da Câmara de Gestão e Estudos Superiores do  
IDM Brasil.

02/08/2019