



CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC



Wilton Mota de Brito Costa

**GRAFENO: Conhecendo as Propriedades,
Processamento e Aplicações**

Pindamonhangaba – SP

2020



CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC



Wilton Mota de Brito Costa

**GRAFENO: Conhecendo as Propriedades,
Processamento e Aplicações**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Bacharel pelo curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário FUNVIC.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Claudio Kelly

Pindamonhangaba – SP

2020



Costa, Wilton M. B.

Grafeno: conhecendo as propriedades, processamento e aplicações / Wilton Mota de Brito Costa / Pindamonhangaba-SP : UniFUNVIC Centro Universitário FUNVIC, 2020.
41f. : il.

Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) UniFUNVIC-SP.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Kelly.

1 Grafeno. 2 Sustentabilidade. 3 Aplicações tecnológicas.

I Grafeno: conhecendo as propriedades, processamento e aplicações II Wilton Mota de Brito Costa.



CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNVIC



WILTON MOTA DE BRITO COSTA

**GRAFENO: CONHECENDO AS PROPRIEDADES,
PROCESSAMENTO E APLICAÇÕES**

Monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Diploma de Bacharel pelo curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário FUNVIC.

Data: 09/12/2020

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudio Augusto Kelly – Centro Universitário FUNVIC – UniFUNVIC

Assinatura _____

Prof. Dra. Daniela Camargo Vernilli - Centro Universitário FUNVIC – UniFUNVIC

Assinatura _____

Prof. Me. Ricardo Alexandre de Carvalho - Centro Universitário FUNVIC - UniFUNVIC

Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais e familiares, alicerce para todos meus desafios durante a vida e a graduação.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Claudio Augusto Kelly, por todo o afinho e colaboração demonstrada durante a produção deste trabalho e na trajetória do curso.

Agradeço aos meus colegas de turma, aos que saíram, e aos que trilharam este caminho até o fim, agradeço pelo companheirismo durante o percurso de toda a graduação.

Agradeço a todos os meus professores, cujo passaram seus valiosos conhecimentos durante a graduação.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê. (Arthur Schopenhauer (1788 – 1860)).

RESUMO

Chamado de material do futuro, o grafeno tem propriedades que prometem revolucionar várias áreas, como por exemplo, a engenharia civil, a química, a aeroespacial e a área de energia. O grafeno é um cristal de duas dimensões que possui somente um átomo de espessura e é derivado do carbono. É considerado o material mais forte, mais resistente, mais fino e mais condutivo do mundo, além de sua impermeabilidade, flexibilidade e transparência. A nanotecnologia está cada vez mais mudando o rumo da tecnologia, pois por meio dos nanomateriais será possível desenvolver vários objetos capazes de facilitar a vida humana. E quando se fala em materiais em escalas nanométricas, o grafeno ganha destaque, pois com ele muito poderá ser feito, dessalinização da água, potencialização da internet e sequenciamento de DNA são apenas alguns exemplos do que será possível fazer utilizando o grafeno. É uma área que tem contribuído para o crescimento econômico de diversos países. A nanociência promete inovações em tudo. Visto isso, o conteúdo é para fomentar o conhecimento sobre grafeno, bem como sua extensa utilização, e futura, visto que o material é de grande valia para muitos casos, e demonstrar, através de pesquisa bibliográfica, o quão inovador é esta matéria prima. De fato, o grafeno irá mudar o futuro impactando na vida das pessoas, mostrando seu imenso valor econômico direto e indiretamente na geração de empregos.

Palavras-chave: Grafeno. Sustentabilidade. Aplicações Tecnológicas.

ABSTRACT

Called the material of the future, graphene has properties that promise to revolutionize several areas, such as civil engineering, chemistry, aerospace and the energy field. Graphene is a two-dimensional crystal that is only one atom thick and derived from carbon. It is considered the strongest, toughest, thinnest and most conductive material in the world, in addition to its impermeability, flexibility and transparency. Nanotechnology is increasingly changing the direction of technology, because through nanomaterials it will be possible to develop various objects capable of facilitating human life. And when it comes to materials on nanoscale scales, graphene stands out, because with it a lot can be done, water desalination, internet potentiation and DNA sequencing are just a few examples of what will be possible using graphene. It is an area that has contributed to the economic growth of several countries. Nanoscience promises innovations in everything. Given this, the content is to foster knowledge about graphene, as well as its extensive and future use, since the material is of great value in many cases, and to demonstrate, through bibliographic research, how innovative this raw material is. In fact, graphene will change the future, impacting people's lives, showing its immense economic value directly and indirectly in generating jobs.

Keywords: Graphene. Sustainability. Technological Applications.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Apresentação esquemática da obtenção do grafeno por meio da esfoliação mecânica.	18
Figura 2 - Apresentação esquemática da obtenção do grafeno por meio do método de esfoliação química.	19
Figura 3 - Processo CVD, primeira etapa.	20
Figura 4 - Processo CVD, segunda etapa.	21
Figura 5 - Processo CVD, terceira etapa.	21
Figura 6 - Processo CVD, quarta etapa.	22
Figura 7 - Processo CVD, quinta etapa.	22
Figura 8 - Processo CVD, sexta etapa.	23
Figura 9 - Processo CVD, sétima etapa.	23
Figura 10 - Processo CVD, oitava e última etapa.	24
Figura 11 - Apresentação esquemática de diferentes alótropos de carbono.	26
Figura 12 - Principais aplicações do grafeno baseado em suas principais propriedades.	27
Figura 13 - Telas flexíveis.	29

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGM	Applied Graphene Materials
Ah	Ampere-hora
cm ²	Centímetros Quadrados
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Codemge	Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais
CVD	Chemical Vapor Deposition
EPI	Equipamentos de Proteção Individual
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo Fundo
FEDER	Europeu de Desenvolvimento Regional
FET	Field Effect Transistor
FM	Frequência modulada
GI	Grafeno Intercalado
GE	Grafeno Expandido
GEIC	Graphene Engineering and Innovation
Gpa	Giga Pascal
IoT	Internet das coisas
Kg	Quilograma
LPE	Esfoliação em fase líquida
Mpa	Mega Pascal
Mbar	Milésimos de bar
mm	Milímetros
NGI	National Graphene Institute
N m	Newton metro
OCDE	Organização para a cooperação e desenvolvimento econômico
RF	Rádio Frequência
S/m	Siemens por metro
TPa	Tera Pascal
UCS	Universidade de Caxias do Sul

UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
V.s	Velocidade por segundo
W/ (m.K)	Watts por metro por Kelvin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Justificativa	12
1.2.	Objetivos	13
1.2.1.	Objetivo Geral.....	13
1.2.2.	Objetivos Específicos	13
2	MÉTODO	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1.	Propriedades	15
3.1.1.	Propriedades Elétricas	15
3.1.2.	Propriedades Térmicas.....	16
3.1.3.	Propriedades Mecânicas	16
3.1.4.	Propriedades Óticas	17
3.2.	Processamento do Grafeno	17
3.2.1.	Esfoliação Mecânica.....	17
3.2.2.	Esfoliação Química.....	18
3.2.3.	Deposição Química de Vapor.....	19
3.2.4.	Redução Térmica	24
3.3.	Relação com o Carbono e Alótropos	25
3.4.	Áreas de Aplicações	26
3.5.	Grafeno como Inovação	31
3.6.	Expansão do Grafeno	33
3.6.1.	Europa.....	33
3.6.2.	Brasil.....	34
3.7.	Considerações Finais	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O grafeno um material novo e interessante que atraiu muita atenção na última década e está sendo extensivamente explorado por causa de suas propriedades superlativas. Era de conhecimento a existência do grafeno, cristal de duas dimensões, entretanto, ninguém havia extraído esse material. Até que, em 2004, dois cientistas da Universidade de Manchester, Konstantin Novoselov e Andre Geim, isolaram o grafeno. Feito este que os consagrou em 2010, o Prêmio Nobel de Física pelo seu trabalho pioneiro (MANCHESTER, 2020). Para extrair o grafeno do grafite, os dois cientistas estavam polindo uma amostra de grafite com fita e notaram flocos extremamente finos grudados na fita. Isso os inspirou a criar a amostra mais fina possível e, como resultado, o grafeno nasceu. Desde então, tem havido um tremendo interesse da academia, indústrias, instituições e órgãos na exploração de propriedades do grafeno. (REALGRAPHENE, 2020)

Grafeno, um material de carbono bidimensional, surgiu com o formato de material mais exótico nesta primeira década do século XXI e tem recebido enorme atenção de pesquisadores do mundo inteiro devido a suas excepcionais propriedades elétricas, ópticas, mecânicas, e térmicas, como alto módulo de Young (1,0 TPa), grande área de superfície específica ($2.630 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$), condutividade elétrica (6000 S / cm), alta condutividade térmica (5.000 W mK^{-1}), transmissão de 92,7 % da luz incidente e resistência à fratura (130 GPa). O grafeno é um promissor candidato para a fabricação de novos dispositivos, como transistores de efeito de campo (FETs) com frequências superiores a 100 GHz e eletrodos transparentes. Além disso, o grafeno pode ser adicionado a outros materiais (compósitos a base de grafeno), melhorando suas propriedades elétricas e mecânicas (S. ZHAO, 2020)

1.1. Justificativa

O grafeno tem despertado interesse em pesquisas das mais diversas áreas do conhecimento. Devido às suas excelentes propriedades físico-químicas, mecânicas, térmicas, elétricas e ópticas, pode ser utilizado em sistemas que abrange desde dispositivos eletrônicos a células solares.

A exploração da nanociência e da nanotecnologia traz conhecimentos e aplicações que influenciam no cotidiano de toda a sociedade, desde a miniaturização de componentes eletrônicos até ao desenvolvimento de cosméticos.

A descoberta do grafeno foi muito importante para o avanço da nanociência, sendo este

determinante influente para o progresso da ciência e de tecnologias modernas, pois permite significativa evolução de componentes em áreas variadas, resultando em avanços significativos com o seu uso.

1.2. Objetivos

Neste capítulo são descritos o objetivo geral do presente trabalho, bem como os objetivos específicos.

1.2.1. Objetivo Geral

Estudo exploratório que objetiva mostrar de um modo bem claro e sucinto a potencialidade do grafeno nas mais diversas aplicações em diferentes campos do conhecimento e áreas específicas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Informar através do estudo bibliográfico a importância do grafeno;
- b) Analisar as propriedades do material, verificando sua versatilidade e possíveis usos para aplicações tecnológicas;
- c) Relatar de que maneira o grafeno desde a sua descoberta impacta nas múltiplas áreas de aplicações.

2 MÉTODO

O desenvolvimento deste trabalho baseia-se numa revisão da literatura realizada em sites acadêmicos, livros e artigos científicos, usando como palavra-chave os seguintes termos: grafeno, processamento, aplicações tecnológicas, nanotecnologia e sustentabilidade.

Visando fundamentar a pesquisa, Marconi e Lakatos (1996), diz que a pesquisa bibliográfica proporciona o exame de um tema sob um novo enfoque, ao confrontar diferentes interpretações com a análise do cenário atual, não se tratando de repetições do que já foi dito ou escrito sobre determinado assunto.

Adotou-se a técnica de pesquisa documental e bibliográfica, baseando-se em informações obtidas através de livros, artigos científicos, entre outros. Materiais (fontes) que já foram publicados irão fornecer referências à estruturação deste trabalho, contemplando novas informações.

Foi adotada uma abordagem qualitativa, que se difere da quantitativa, à medida que não emprega um instrumento estatístico como base na análise de um problema, não pretendendo medir ou numerar categoria. (DALFOVO et al, 2008, apud RICHARDSON, 1989).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O grafeno é um cristal bidimensional formado por ligações entre átomos de carbono, com hexágonos que formam algo parecido com um favo de mel. Ele é, portanto, mais um alótropo sintético do carbono, sendo proveniente de um de seus alótropos naturais, a grafite, a mesma usada nos lápis para escrever. Pode ser produzido por intermédio da extração de camadas superficiais do grafite, um mineral abundante na Terra e está entre os mais comuns alótropos do carbono (NASCIMENTO, 2013).

As propriedades desse material passaram a ser mais estudadas e divulgadas em 2004 pelos cientistas Andre Geim e Konstantin Novoselov, da Universidade de Manchester, que, por isso, receberam o Prêmio Nobel de Física de 2010. Eles obtiveram o grafeno quando realizavam a limpeza da superfície de uma placa de grafite, desgastando-a aos poucos sobre uma fita adesiva. Quando analisaram os resíduos do grafite que ficaram na fita em um microscópio atômico, viram que esses resíduos mantiveram a estrutura cristalina hexagonal do grafite e que possuíam também um peculiar arranjo simétrico de elétrons que aumentava sua condutividade.

3.1. Propriedades

3.1.1. Propriedades Elétricas

As partículas portadoras de cargas elétricas do grafeno possuem características únicas e esse é um dos temas mais incríveis desse material. Essas partículas chegam a se mover a uma velocidade real, por volta de 300 vezes menos que a da luz. Tanto é que os elétrons do grafeno são conhecidos pela massa de inércia nula, e é isso que dá a alta condutividade elétrica do grafeno (NASCIMENTO, 2013).

O grafeno é um material eletricamente condutor com alta mobilidade de elétrons ($2 \times 10^5 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) superando em muito o silício e condutividade elétrica (6500 S/m^{-1}). O grafeno demonstrou melhorar muito a condutividade elétrica de polímeros em baixos teores de preenchimento. (ANDREW T. SMITH, 2019).

Outro aspecto importante do grafeno é o seu efeito de campo que é ambipolar na temperatura ambiente. Ou seja, quando o sistema está perante uma polarização positiva, ocorre uma ascensão de elétrons, tornando a banda de condução com ocupação maior. Quando o sistema está perante uma polarização negativa, buracos são abertos na banda de valência.

Dessa forma, a resistência do grafeno vai depender da tensão que será aplicada e para toda tensão, a resistência terá um valor mínimo. A condutividade vai variar de forma linear com a tensão aplicada para cada valor mínimo de resistência (BOEHM & STUMPP, 2007; NOVOSELOV et al., 2004).

Por conta das propriedades apresentadas acima, o grafeno tem um grande potencial para ser usado no desenvolvimento de Transistores de Efeito de Campo (FET's) Os FET's (Field Effect Transistor) feitos a partir do grafeno é capaz de atingir a frequência de corte de 100 GHz, frequência essa maior do que a que os transistores feitos com silício apresentam. Os transistores de grafeno possuem ainda uma vantagem em relação ao fato de poderem ser melhorados e terem seus tamanhos diminuídos (LIN et al., 2010).

3.1.2. Propriedades Térmicas

A alta condutividade térmica dos materiais alótropos do carbono é dada por causa da ligação covalente de carbono-carbono ser bem forte. Antes do grafeno, eram os nanotubos de carbono que lideravam a lista de materiais com a maior condutividade térmica na temperatura ambiente. O grafeno na sua forma pura pode chegar a alcançar mais de 5000W/mK (BALANDIN, 2011).

É graças à alta condutividade térmica do grafeno, que ele pode ser utilizado na otimização dos aparelhos eletrônicos. Pois, os elementos eletrônicos geram bastante calor quando estão operando e este, precisa se dispersar.

3.1.3. Propriedades Mecânicas

Os alótropos do carbono são muito conhecidos por suas propriedades mecânicas, como por exemplo, a alta dureza e o alto módulo de Young. Mas quando se trata do grafeno, os pesquisadores ainda encontram algumas dificuldades para mensurar suas propriedades mecânicas por causa de seu tamanho muito pequeno, em escala nanométrica, porque as técnicas tradicionais não conseguem ir além da escala macroscópica (NASCIMENTO, 2013). Através da nanoindentação (medir dureza e elasticidade de camadas finas), foram obtidos módulo de Young de 1 TPa, resistência à tração intrínseca 130,5 GPa e uma resistência à ruptura de 42 N m⁻¹. A tenacidade à fratura do grafeno foi estudada por Zhang et al., e relatada como sendo tão baixa quanto $4,0 \pm 0,6$ MPa m^{1/2}, confirmando a baixa fratura das folhas de grafeno (ANDREW

T. SMITH, 2019). Uma espécie de “papel” foi desenvolvida com óxido de grafeno e obteve um módulo de Young de, aproximadamente, 30 GPa e resistência à fratura de, aproximadamente, 120 MPa ((NASCIMENTO, 2013).

3.1.4. Propriedades Óticas

No grafeno a luz é absorvida de forma linear conforme o número de camadas vai aumentando. Essa absorção é plana no intervalo de 300 a 2500 nm, e tem o máximo de absorção em 250 nm. O grafeno consegue absorver 2,3% da luz que incide em um extenso espaço de comprimento de onda (NASCIMENTO, 2013).

O comprimento de onda da transição eletrônica do grafeno é alterado através da modulação elétrica. E esse material tem a capacidade de desenvolver fotoluminescência por meio de gap apropriado (SINGH ET al., 2011).

Por causa dessas propriedades elétricas, térmicas, mecânicas e óticas o grafeno é um material que apresenta grande potencial para ser utilizado em novos produtos tecnológicos.

3.2. Processamento do Grafeno

A investigação ativa e focada do grafeno começou há menos de 10 anos, depois que uma maneira simples e eficaz de produzir amostras isoladas de grafeno relativamente grandes foi descoberta. Também conhecido como técnica de clivagem micromecânica, o 'método da fita adesiva' tem uma baixa barreira de entrada, pois não requer grandes investimentos ou equipamentos complicados, o que tem ajudado consideravelmente a ampliar a geografia da ciência do grafeno.

Hoje existem vários métodos de produção de grafeno que podem ser estendidos à escala industrial. Dentre os principais estão: Esfoliação Mecânica (Clivagem Mecânica), Esfoliação Química, Deposição Química a Vapor e Redução Térmica.

3.2.1. Esfoliação Mecânica

A esfoliação mecânica foi o método pioneiro para obtenção do grafeno. Além de ser o mais antigo também é o mais simples, pois não exige o uso de instrumentos complexos. Os materiais necessários nesse método são: fita adesiva, grafite pirolítico altamente orientado

(HOPG), substrato de óxido de silício e, o ambiente deve estar limpo (ALENCAR; SANTANA, 2017).

O grafite pirolítico altamente orientado é fixado na fita adesiva e em seguida a fita é dobrada. A partir daí, a fita é puxada com cuidado algumas vezes e a fita, com a amostra que ficou fixa, é colocada em cima do substrato de óxido de silício e por causa da grande afinidade da folha do grafeno, ela adere ao óxido. Esse método se dá a partir da quebra das forças de Van der Waals que existem entre uma camada e outra de grafite (ALENCAR; SANTANA, 2017).

Embora esse método seja o que produz grafeno de maior qualidade, ele tem a desvantagem de não ser produtivo. Ou seja, o processo de obtenção do grafeno através da esfoliação mecânica não é viável para ser produzido em larga escala e por isso, é mais utilizado em laboratórios, conforme a figura 1.

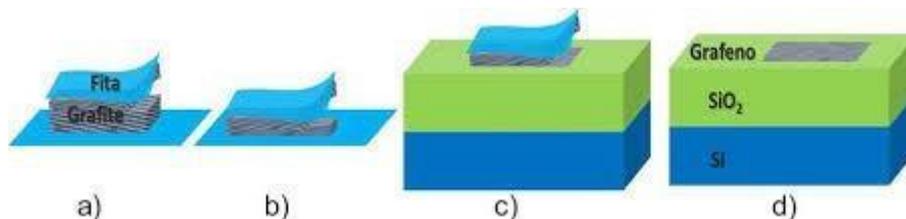


Figura 1 - Apresentação esquemática da obtenção do grafeno por meio da esfoliação mecânica.

Fonte: Cadore, 2013

3.2.2. Esfoliação Química

No método de esfoliação química precisa-se submeter a grafite a três estágios, transformá-lo em Grafite Intercalado (GI), transformar o GI em Grafite Expandido (GE) e depois submeter o GE a outro processo, transformando-o em uma estrutura monoatômica, e em seguida o transformando em Grafeno (JANUÁRIO; REMÉDIO; SOUSA, 2014).

Os GI são átomos que tem átomos agregados nos espaçamentos das camadas de suas estruturas. Existem espaços entre as lâminas do grafite de ordem nanométrica, as ligações dessas lâminas são fracas, mas as ligações das moléculas do grafite são resistentes. O grafite é um derivado do Grafeno, cada camada do Grafite é um grafeno e chamamos essas camadas de estágios. Quanto menor o número de camadas (estágios), melhor será o processo de obtenção do grafeno. O GI pode ser obtido tanto por tratamento químico quanto por eletroquímico, adicionam-se ácidos concentrados e inicia-se um processo de agitação intensa. Além da

purificação a oxidação, que é a causadora dos espaçamentos das lamínas (JANUÁRIO; REMÉDIO; SOUSA, 2014).

O GE é justamente um produto do GI, submete-se o GE a uma altíssima temperatura (1000 °C) em um intervalo de 30 segundos, isso enfraquece as ligações entre os planos (JANUÁRIO; REMÉDIO; SOUSA, 2014).

Após esse processo submetemos a um banho ultrassônico para quebra definitiva das interações obtendo assim as formas moleculares monoatômicas do grafite, o grafeno (JANUÁRIO; REMÉDIO; SOUSA, 2014). O exemplo do processo de Esfoliação Química conforme a figura 2.

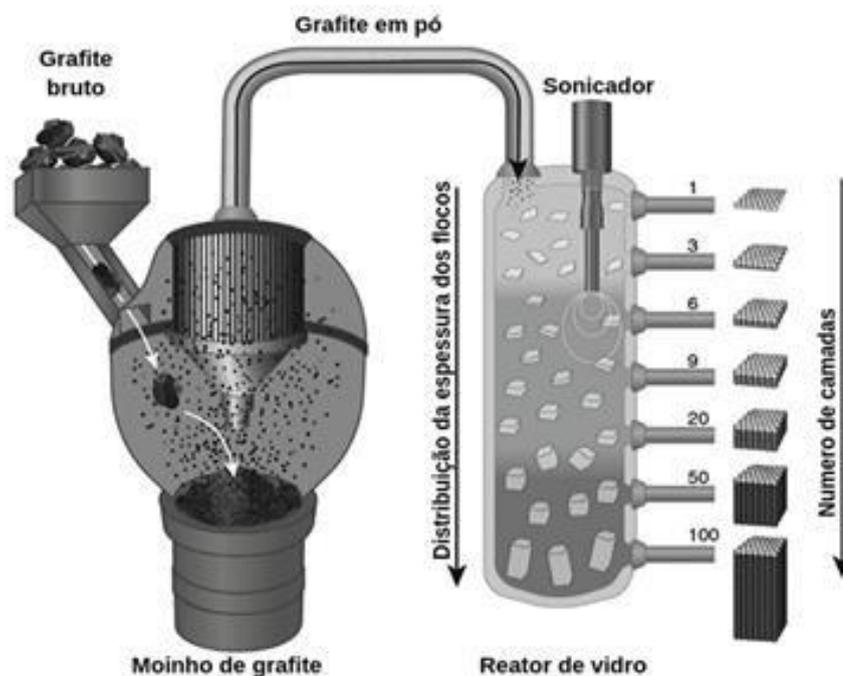


Figura 2 - Apresentação esquemática da obtenção do grafeno por meio do método de esfoliação química.

Fonte: canal ciência, 2019

3.2.3. Deposição Química de Vapor

Um exemplo é a obtenção do grafeno através da deposição química na fase de vapor em substrato de cobre. O cobre tem pouca afinidade com o carbono e torna uma ligação fraca resultando na possibilidade de crescimento do grafeno sobre ela (ALENCAR; SANTANA, 2017).

Aplica-se o gás argônio e hidrogênio na superfície do cobre, fazendo assim um tratamento térmico na superfície do cobre. Após isso é posto no forno o gás carbonáceo a uma

alta temperatura e baixa pressão. Com isso proporciona o crescimento do grafeno, após isso o forno é esfriado e o grafeno é retirado (ALENCAR; SANTANA, 2017).

Por ser um método relativamente simples e barato, é viável para produção em escala e acaba que sendo um método com um baixo custo (ALENCAR; SANTANA, 2017).

Uma visão geral de alto nível do processo usado para cultivar grafeno por Deposição Química de Vapor (CVD). Em um nível muito básico, o crescimento do grafeno envolve duas etapas: 1) síntese em um substrato de catalisador; e 2) transferência para um substrato alvo. Embora muitas substâncias possam ser usadas como um catalisador para cultivar grafeno por CVD, folhas de cobre ou níquel são normalmente usadas, cobre no caso de grafeno monocamada e níquel no caso de multicamada (TECH, P. 2020). A seguir, uma representação do processo por sequencia das Figuras 3 a 10.



Figura 3 - Processo CVD, primeira etapa.
Fonte TECH, 2020



A folha de cobre é colocada dentro do tubo de processo de quartzo.

Figura 4 - Processo CVD, segunda etapa.
Fonte TECH, 2020



Sob vácuo, o forno é aquecido a $\sim 1.000^\circ\text{C}$ e uma combinação de gás metano e hidrogênio é injetada no tubo de quartzo.

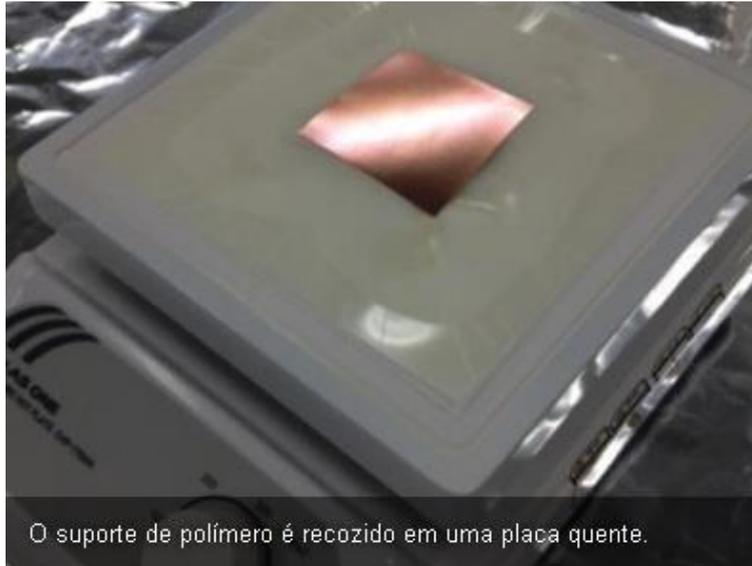
Figura 5 - Processo CVD, terceira etapa.
Fonte TECH, 2020



Figura 6 - Processo CVD, quarta etapa.
Fonte TECH, 2020

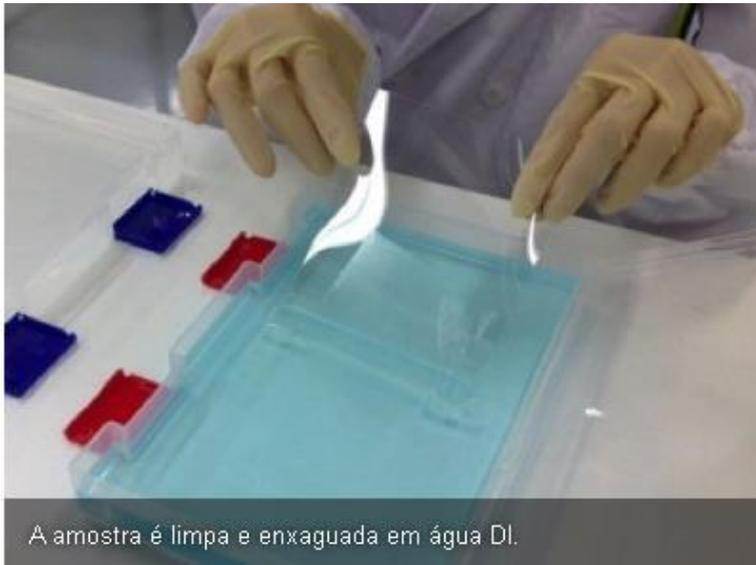


Figura 7 - Processo CVD, quinta etapa.
Fonte TECH, 2020



O suporte de polímero é recozido em uma placa quente.

Figura 8 - Processo CVD, sexta etapa.
Fonte TECH, 2020



A amostra é limpa e enxaguada em água DI.

Figura 9 - Processo CVD, sétima etapa.
Fonte TECH, 2020



Figura 10 - Processo CVD, oitava e ultima etapa.
Fonte TECH, 2020

Por fim, assim como na esfoliação química, na redução térmica os flocos de grafite são tratados com um agente oxidante forte, normalmente uma solução de ácido sulfúrico ou ácido nítrico. Porém, o que distingue esses dois métodos é que na redução térmica, ao invés de utilizar um agente redutor, o óxido de grafite sofre um aquecimento extremamente rápido ($> 2000 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$) fazendo com que suas folhas sejam divididas por causa da expansão do CO_2 principalmente, aumentando a pressão entre as camadas.

Quando essa pressão excede as forças de Van der Waals, que mantém as camadas unidas, o óxido de grafite se divide em folhas individuais de grafeno. Para obter informações acerca da viabilidade do processo são utilizados indicadores como o aumento do volume e o aumento da área superficial. (SEGUNDO, 2016).

3.2.4. Redução Térmica

Para o processo de Redução Térmica, coloca-se o material em um vaso de pressão de aço inoxidável para processamento em várias temperaturas a uma pressão de 4,2 mbar, o sistema é aquecido até determinadas temperaturas entre $200 \text{ }^\circ\text{C}$ a $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Utiliza-se uma taxa de aquecimento de $5 \text{ }^\circ\text{C/minuto}$. Utiliza-se um cadinho de inox com tampa permitindo a saída do ar no processo de redução (CARDOSO, 2017).

É um processo complexo e menos viável que o de Deposição Química de Vapor, mas é

mais vantajoso e replicável que o de esfoliação mecânica (CARDOSO, 2017).

3.3. Relação com o Carbono e Alótropos

Atualmente, sabe-se que os carbonos apresentam diferentes estruturas em baixa dimensionalidade e este tem uma grande variedade de propriedades físicas, químicas, mecânicas e óticas.

O carbono é um dos elementos que pode apresentar uma forma de diversos alótropos, tem baixo custo, abundante na terra e tem capacidade de formar diferentes compostos químicos. Essas propriedades fazem com que os compostos e materiais à base de carbono sejam versáteis para diversas aplicações.

Os alótropos do carbono correspondem a um dos nanomateriais mais pesquisado na comunidade científica nos dias atuais, por apresentar importantes utilidades, em diversas áreas. O termo alótropo refere-se à formação de várias substâncias a partir de um único elemento químico, a exemplo do carbono, permitindo a formação de outros materiais. As estruturas compostas por este elemento, que difere apenas quanto à configuração espacial a hibridização específica do carbono e as ligações estabelecidas com os átomos ao seu redor irão determinar a natureza do alótropo, podendo este ser, um nanotubo de carbono, fulereno, grafeno, grafite ou diamante (FERNANDES, 2012).

Na Figura 11 estão apresentados diferentes alótropos de carbono.

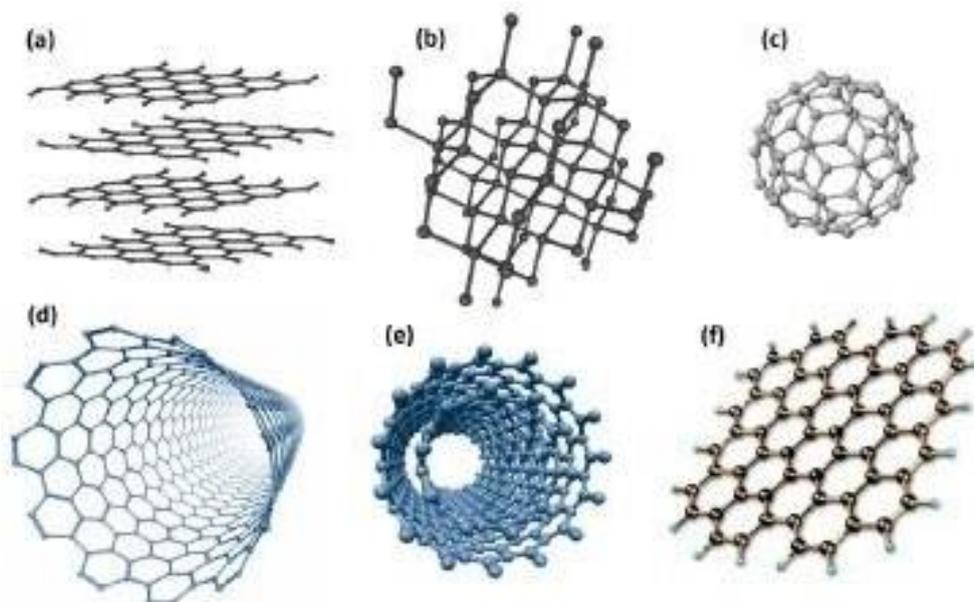


Figura 11 - Apresentação esquemática de diferentes alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de parede simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno.

Fonte: Química Nova

3.4. Áreas de Aplicações

O grafeno foi uma descoberta muito importante, pois com ele irá revolucionar o mundo tecnológico. Então desde que Andre Geim e Konstantin Novoselov encontraram o grafeno, pesquisadores de todo o mundo estão trabalhando em diversas aplicações. A descoberta do grafeno foi tão revolucionária, que os pesquisadores responsáveis por ela conquistaram o Prêmio Nobel de Física, no ano de 2010.

O grafeno puro geralmente tem a sua superfície interagindo com diversas moléculas através da adsorção física (π - π interações). E para que essa superfície tenha uma maior reação, normalmente grupos funcionais ou defeitos são incluídos. Um exemplo disso é a dopagem química, através da inserção de grupos funcionais (carbonila, carboxila, amina, entre outros) com átomos (B, N, entre outros) conseguem regular propriedades eletrônicas e de superfície do grafeno. (VIEIRA & VILAR, 2017).

A Figura 12 mostra a interação das áreas de aplicação do grafeno e suas propriedades. Aplicações desde sistemas eletroquímicos para armazenamento de energia até compostos poliméricos, dispositivos eletrônicos, transistores, sensores, entre outros.

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

Figura 12 - Principais aplicações do grafeno baseado em suas principais propriedades. Fonte: ABINEE TEC, 2013

A cada dia que se passa as redes de comunicação exigem mais de sistemas independentes de fios. A utilização de transistores de radiofrequência permite aumentar os sinais, sendo imprescindível obter ganhos eletrônicos nas altas frequências. (MOLITOR et. al., 2007). Deste modo, transistores feitos a partir do grafeno, são capazes de aperfeiçoar o desempenho em aplicações que exigem a radiofrequência.

O grafeno também é utilizado na fabricação de sensores, na forma de substrato para tais, e engloba um amplo número de possibilidades para detecção, como por exemplo, as biomoléculas, compostos inorgânicos e orgânicos, glicose, DNA, entre várias outras aplicações. E isso pode acontecer por causa das ótimas características de condução e de transparência do grafeno (VIEIRA & VILAR, 2017).

Na classe dos equipamentos eletroquímicos que servem para liberação, reversível e rápida, e armazenamento de energia estão os supercapacitores. Para um supercapacitor ser considerado de alto desempenho ele precisa ter um ciclo de vida muito longo e uma densidade de energia alta. Esses supercapacitores são bastante promissores no uso de baterias (SUN et. Al., 2011).

Os supercapacitores que possuem seus eletrodos feitos com grafeno têm a capacitância

aumentada em 20 a 30%. Como a área superficial do grafeno é grande, a capacidade de íons armazenados é maior. Além do mais, propriedades como a espessura em escala nanométrica, transparência, morfologia e uma camada dupla elétrica do grafeno, são ótimas para a utilização em capacitores (VIEIRA & VILAR, 2017). O grafeno permitirá uma geração de dispositivos com desempenho bastante eficaz. As propriedades deste material já permitiu a fabricação de eletrodos transparentes, hidrogênio fotocatalítico, entre outros.

Atualmente, as baterias feitas com íons de lítio são as mais usadas em aparelhos eletrônicos móveis. Porém, a cada dia que passam, os aparelhos estão exigindo cada vez mais baterias com ciclos de vida elevados e também uma densidade de energia maior, principalmente os veículos elétricos. Dessa forma, para que a bateria tenha um bom desempenho, a sua estrutura e as características dos eletrodos precisam ser de qualidade. Geralmente, o grafite é o material anódico usado nas baterias, entretanto ele contém alguns limites (LIANG & ZHI, 2009). Então, uma alternativa a essas limitações é o uso do grafeno nestas baterias, pois ele apresenta uma maior condutividade, propriedades eletrônicas mais avançadas e uma área superficial maior. Por isso, os eletrodos feitos a partir do grafeno, tem uma importância muito grande, podendo inclusive substituir os eletrodos de grafite (VIEIRA & VILAR, 2017).

Estes foram alguns exemplos de onde o grafeno pode ser aplicado. Essas aplicações são muito importantes, pois inúmeros problemas serão solucionados graças ao grafeno. Além dessas, há várias outras áreas que serão beneficiadas pelo grafeno, a Figura 5 evidencia uma dela. Com o grafeno será possível à fabricação de telas e baterias dobráveis.

A seguir, será apresentada uma lista de possibilidades de aplicações do grafeno. Aplicações essas que vão do mais simples aos mais complexos, mas que, com certeza, irão contribuir para uma melhor qualidade de vida das pessoas. Exemplos aplicações futuras com o grafeno Figura 13.



Figura 13 - Telas flexíveis. Fonte: PET NEWS, 2013

- Na computação, já existem estudos a fim de usar o grafeno como supercondutor usando como polímero o ouro.
- Na aviação, por ser um material mais resistente que o aço e mais maneiro também o grafeno pode ser usado na fabricação de todos os tipos de aeronaves.
- Na área de energia, assim como na computação o grafeno pode ser usado como supercondutor para aumentar a eficiência dos painéis solares. Hoje a eficiência dos painéis solares é de aproximadamente 20%, estimasse com o avanço das pesquisas no grafeno aumentarem para 40% em 10 anos.
- Na energia eólica já é usado, por ser leve ajuda bastante na produção das pás das turbinas eólicas.
- Na produção de carros elétricos também, usando como supercondutor o grafeno pode ser usado para aumentar a eficiência das baterias, a TESLA já usa o grafeno em seus automóveis e nas baterias dos próprios, e também outras montadoras como, Toyota, Honda, entre outras.
- Aceleração de chips. A IBM conseguiu desenvolver uma combinação de grafeno e silício em um chip mais potente que os atuais, e afirmou que já está perto de lançar no mercado.
- Aperfeiçoamento de raquetes. A fabricante de equipamentos esportivos HEAD apresentou um modelo de raquete feita com grafeno e afirmou que este, irá auxiliar em uma distribuição de peso melhor e numa velocidade maior no saque dos jogadores.
- Desintoxicação da água. Um grupo de cientistas da Rice University (Texas) constatou que o óxido de grafeno pode eliminar elementos radioativos presentes na água.
- Embalagem de alimentos. Pesquisadores da Universidade de Xangai desenvolveram um tipo de papel antibacteriano, feito com grafeno, para ser utilizado na embalagem de alimentos.
- Fabricação de preservativos. A Fundação Bill Gates está trabalhando em duas propostas de camisinhas feitas com grafeno, por causa de sua característica impermeável.
- Filtragem de água. A Universidade de Manchester (Inglaterra) descobriu que o grafeno é impenetrável a qualquer tipo de resíduo, mas a água consegue transpassar, então nesse caso o grafeno pode ser utilizado como uma espécie de filtro.
- Formação de músculos. A Universidade de Duke (Carolina do Norte) conseguiu desenvolver um filme elástico polimérico a base de grafeno que pode compor músculos

artificiais.

- Fotos. Um sensor utilizado em câmeras feito com grafeno tem uma eficácia 10 vezes maior em relação aos já existentes. Esse sensor foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores da Nanyang Technological University (Singapura).
- Isolamento de tumores. Gliomas foram vencidos em animais, através de uma rede feita de grafeno, desenvolvida na Polônia, ao redor das células doentes.
- Sequenciamento de DNA. Cientistas da Universidade de Harvard e do Instituto de Tecnologia de Massachusetts conseguiram desenvolver uma nova técnica de sequenciamento de DNA utilizando grafeno.
- Potencialização da internet. Na Universidade de Bath (Inglaterra) e na Universidade de Exeter (Inglaterra) foram desenvolvidos interruptores óticos feitos a partir do grafeno que são capazes de aumentar a velocidade de transferência de dados em até 100 vezes.
- A empresa Haydale Graphene Industries PLC (Reino Unido) está utilizando o grafeno para a fabricação de termoplásticos, elastômeros, tintas, entre outros. A impressão 3d também está no portfólio da empresa.
- O grupo Graphene Flagship Partners (União Europeia) lançaram vários produtos que possuem o grafeno na composição, alguns deles são: um capacete para motociclistas que garante mais conforto e mais segurança; tintas que poderão ser utilizadas em circuitos inteligentes e Internet das Coisas (IoT); fones de ouvido mais leves e flexíveis com agudos e graves mais aprimorados; borracha com maior condutividade térmica.
- A Real Graphene (Los Angeles) lançou baterias feitas com grafeno bastante promissoras, com (1) 10Ah e 60W que carregam em 47 minutos; (2) 5Ah e 60W que carregam em 17 minutos e (3) 10Ah e 100W que carregam em 27 minutos, sendo essa última um lançamento de 2020.
- O Team Group, em 2017 lançou um dissipador de calor à base de grafeno, que ainda estando em um lugar fechado oferece um ótimo resfriamento térmico para ser usado no módulo SSD.
- A Applied Graphene Materials – AGM (Reino Unido) lançou uma linha de dispersões à base de grafeno. A linha G Enable, que conta com produtos como, por exemplo, tintas, compostos de polímeros, ceras, polimentos automotivos, entre outros. E também a linha Innovation Accelerator que conta com químicos de dispersão customizados feitos com grafeno.
- A Planar Tech utilizou as propriedades do grafeno antiestáticas e antimicrobianas para desenvolver máscaras faciais para proteção contra o Covid-19, laváveis e com um revestimento que repele a água.

3.5. Grafeno como Inovação

Como mostrado pelos pesquisadores da área, o grafeno possui um grande potencial inovador. Para melhor estudar sua aplicação e adoção pelo mercado, é importante estudá-lo como uma forma de inovação. Usualmente, as classificações de inovações analisam a tecnologia a partir de suas próprias características. Dadas as inúmeras possibilidades de aplicação do grafeno em virtude de suas características, optou-se por classificar esta inovação de acordo com suas aplicações. Esta é uma proposta nova na literatura, mas que apresenta coerência com o foco prospectivo deste estudo. Além disso, a geração de uma inovação, à medida que está se difunde, pode permitir que outras inovações sejam desenvolvidas, ocasionando um “processo em cadeia” que pode redefinir um ou inúmeros setores.

De acordo com Freeman (1987), há duas categorias de inovação: Incremental e Radical. O grafeno pode ser considerado como ambas as categorias, dependendo de como é utilizado, devido às suas peculiaridades. Inicialmente, o material gera uma inovação considerada incremental por adicionar novas ideias a tecnologias já existentes, como na área de dispositivos de radiofrequência, em que o grafeno apenas permite que dispositivos com uma frequência maior possam ser desenvolvidos através da alta mobilidade elétrica do material.

Há, também, a possibilidade de se considerar o grafeno como uma forma de inovação radical, por romper paradigmas anteriores. Um exemplo disso é a alternativa de substituição do silício, material utilizado como base na eletrônica, pelo grafeno, levando a grandes implicações, como a criação de sistemas eletrônicos com tamanhos mínimos, mas eficiência superior à de sistemas baseados em silício.

Quanto ao tipo de inovação, o grafeno pode ser classificado em três tipos. Dois deles, propostos pela OCDE (2006): Inovação de produto, e Inovação de processo; e um tipo proposto por Rennings (2000), definido como Inovação ambiental.

Como uma inovação de produto, o grafeno pode levar à criação de novos produtos que podem gerar valor a todas as partes envolvidas, desde a organização que o produzir até o consumidor final. Um exemplo de inovação de produto gerada pelo grafeno é a criação de folhas de grafeno, criadas para difusão térmica em uma superfície, material comumente utilizado em componentes de computador para evitar seu superaquecimento.

Além da inovação de produto, o grafeno pode ainda ser classificado como uma inovação de processo ao se introduzir novos conceitos e métodos no processo de produção, distribuição

e comercialização do material. Isto ocorre devido à ausência de materiais bidimensionais na natureza, como apontado por Geim (2009), o que leva à necessidade de se desenvolver métodos eficientes e economicamente viáveis para sintetização do material, causando mudanças nos processos da organização de forma a acomodar a adoção do material. Um exemplo de inovação de processo causada pela adoção do grafeno é apresentado por Ren e Cheng (2014), em que são descritos novos métodos desenvolvidos por organizações para a sintetização de grafeno de diversas qualidades, a determinados custos.

O grafeno pode ainda ser considerado uma inovação ambiental, por permitir novas ideias e métodos para diminuir fardos ao ambiente, conceito definido por Rennings (2000). Pesquisadores e organizações estão em constante busca por formas de minimizar e reverter impactos negativos causados ao ambiente, e o desenvolvimento do grafeno não é uma exceção.

Ainda que o grafeno seja um material com muitas aplicações, ele ainda carrega com si algumas desvantagens. Como visto no exemplo de dispositivos de lógica apresentado por Fazzio (2015), o grafeno não é capaz de ser usado para a criação de tais dispositivos, sendo necessário criar certos defeitos no material, e até mesmo misturá-lo com outras estruturas bidimensionais para criar uma nova estrutura capaz de ser utilizada para tal finalidade.

O viés pró-inovação em pesquisas sobre grafeno, descrito por Rogers (1983) como um viés que implica que toda inovação deve ser difundida rapidamente sem a necessidade de ser reestruturada ou rejeitada, pode impactar negativamente o desenvolvimento sustentável, pois a constante busca por métodos industriais de desenvolvimento de grafeno, como o CVD, podem gerar danos ao ambiente.

A Graphene Laboratories (2015) aponta, ainda, que foi descoberto que o óxido de grafeno é capaz de ser nocivo ao meio ambiente. Esta descoberta gera um possível risco ao meio ambiente ao se produzir e utilizar o grafeno em certas atividades e produtos. Para isso, são realizadas pesquisas de forma a melhor compreender e minimizar esse risco.

Há também outros riscos ao se produzir grafeno, como apontado por Fazzio (2015), que diz que, ainda que o material seja produzido com muito cuidado nos laboratórios, alguns processos de sintetização envolvem muitas reações, que podem gerar resíduos que, se não forem propriamente descartados, podem causar danos ao ambiente. Além disso, entrar em contato com pequenos flocos de grafeno pode ser prejudicial à saúde humana, devido ao fato de a borda do grafeno ser extremamente reativa.

3.6. Expansão do Grafeno

Com o interesse e projeção para o futuro, diversos centros de pesquisas, instituições, empresas e companhias realizam parcerias para o desenvolvimento e exploração da capacidade do grafeno ao redor do mundo, como “Graphene Flagship consortium”, o Graphene Flagship, criado em 2013 pela União Europeia, coordena aproximadamente 170 grupos de pesquisa acadêmica e industrial em 22 países e tem mais de 100 membros associados em seu projeto principal. O novo projeto 2D-Experimental Pilot Line (2D-EPL) tem 9 parceiros em toda a Europa, muitos dos quais também fazem parte do projeto principal”. (FLAGSHIP, Consortium, 2020).

Nós tópicos a seguir, serão mostrados alguns exemplos dessas empresas que estão trabalhando para trazer melhorias na qualidade de vida humana e também dos produtos a partir do grafeno.

3.6.1. Europa

Com investimentos na ordem de 1bilhão de euros, o grupo Graphene Flagship realiza uma coordenada pesquisa conjunta com inúmeros parceiros em uma escala impressionante, buscando tanto pesquisadores como empresas no intuito de retirar o grafeno do rol laboratorial para sociedade e em específico a Europa no espaço de 10 anos, buscando economia e oportunidades no setor tecnológico. O consorcio é formado por acadêmicos e indústrias separados em grupos por mais de 20 países da Europa. Os projetos recém lançado na missão de apoiar a produção de carros e aeronaves mais seguras e sustentáveis, além de melhorar a eficiência nos sistemas de comunicação e nas redes de energia, tornando-os mais rápido e confiável. (COMMISSION, 2020)

Universidade de Manchester, com vasta experiência acadêmica, diversas parcerias, infraestrutura e o poder de alavancar pesquisas para gerar valor, propriedade intelectual e habilidades para o desenvolvimento de produtos e aplicações. O Instituto Nacional de Grafeno (NGI) obteve financiamento na ordem de 38 milhões de libras esterlinas do Governo do Reino Unido, como parte dos 50 milhões alocados para pesquisa de grafeno. Os restantes 23 milhões de libras foram atribuídos à Universidade pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER). O Centro de Inovações em engenharia de grafeno Graphene Engineering Innovation

Center (GEIC) é especializado no rápido desenvolvimento e aumento de escala de grafeno e outras aplicações de materiais 2D; concentrado em áreas de aplicações como compósitos, energia, membranas, tintas, produção entre outros. Manchester busca tornar-se a casa do grafeno (MANCHESTER T. U., 2020)

3.6.2. Brasil

O Brasil ocupa a nona posição no ranking das maiores economias do mundo (SANTOS, 2015), porém a área de pesquisa e tecnologia é deixada um pouco de lado, temos alguns fatores que podem tentar explicar a situação, mas os preponderantes são os políticos e sociais. Em meio a todo esse cenário, pesquisadores desenvolvem estudos para introduzir desenvolvimento e tecnologia no Brasil.

Adiante serão expostos exemplos nacionais de investimentos na inserção do grafeno para melhorar a qualidade dos produtos, materiais e da vida das pessoas.

No Brasil, a Universidade Presbiteriana Mackenzie, no campus Higienópolis em São Paulo, vem estudando o grafeno desde 2013 e realizou investimentos na ordem de R\$ 100 milhões no centro de pesquisa avançada em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias (MackGraph) contando com diversas parcerias brasileira e internacionais como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Universidade Nacional de Singapura e o programa de pesquisa e inovação da União Europeia, o Projeto Horizon 2020; acreditando em todo o potencial futuro para o grafeno. (MACKENZIE, U. P. 2020)

Uma parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (Codemge), desde 2016 na implementação de uma fábrica de pesquisa e exploração do grafeno, a Neographene, no projeto MGgrafeno, localizado no campus da UFMG em Belo Horizonte/MG; investimentos na ordem de R\$ 50 milhões e produção em torno de 150kg de grafeno ao ano com expectativa para 300kg até 2022, em um processo ecologicamente correto e sustentável. MGgrafeno além da produção do grafeno em escala industrial, obteve resultados positivos nas aplicações com elastômeros, sensores eletroquímicos, tecidos inteligentes, membranas de dessalinização e separação de água e óleo, tintas condutoras, revestimentos anticorrosivos, filtros, lubrificantes, superfícies hidrofóbicas, supercapacitores e baterias, cimentos, Refratários. (CODEMGE, 2020).

UCSGRAPHENE é uma planta de produção de grafeno em larga escala e sustentável;

considerada a maior da América Latina, instalada pela Universidade de Caxias do Sul (UCS) no Parque de Ciência, Tecnologia e Inovação (TecnoUCS) – (RS) é o resultado de 15 anos de pesquisas na área e conta com parcerias nacionais e internacionais. Está em atividade desde 2020, com capacidade de 500 kg/ano podendo ser ampliado para 5000 kg/ano. Trabalhando com aplicações em revestimentos, cerâmicas, polímeros, equipamentos de segurança, materiais inteligentes, medicina regenerativa, nanotecnologia, metais entre outros; buscando fornecer grafeno de qualidade, soluções tecnológicas e inovadoras, com foco no desenvolvimento econômico, social e humano. (UCSGRAPHENE, 2020).

3.7. Considerações Finais

É possível afirmar com certeza que o grafeno vai mudar o mundo de forma significativa, pesquisas em nanotecnologia com o uso do grafeno já mostram seu potencial, áreas como a da saúde, aeroespacial, aeronáutica, computação quântica e muitas outras serão afetadas. Será uma grande revolução na parte de energia, automação e resistência dos materiais. O estudo dessa tecnologia tem uma importância imensurável.

Em países como o Brasil o foco tem de ser em investimentos em tecnologias do futuro, como é o caso do grafeno e nanotecnologias. Esses estudos ajudarão no desenvolvimento do país além de oferecer uma melhor qualidade de vida para seus habitantes direta e indiretamente com a geração de empregos.

As empresas apresentadas mostram a grande adição que farão com estudo e produção em larga escala do grafeno. De certa forma essas empresas influenciara a criação de outras empresas e democratizara o acesso ao grafeno com a produção de larga escala. Essas empresas não apenas ajudam no desenvolvimento de seus países de origem assim como em todo o mundo.

Produzir o grafeno em larga escala ainda é um problema a ser resolvido. Sua produção precisa de pressões e temperaturas específicas que são difíceis reproduzir, mas estamos a passos largos no desenvolvimento dessas tão revolucionaria tecnologia.

As características únicas do grafeno, o torna um material inovador e muito promissor, ele é flexível, transparente, resistente, pode se comportar como condutor e mais leva que qual quer outro material com resistência parecida. O Brasil detém a maior reserva de grafite natural do mundo e isso o torna muito privilegiado em relação a outros países. Dessa forma é de suma importância o incentivo a desenvolvimento de tecnologias e pesquisas como grafeno.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Eduardo; SANTANA, Delano. **Processos de obtenção do grafeno, suas aplicações e sua importância para o Brasil**. Revista Acadêmica: Oswaldo Cruz, São Paulo, v. 16, n. 4, dez. 2017.
- ANDREW T. Smith, A. M. (1 de março de 2019). **Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites**. Acesso em 11 de outubro de 2020, disponível em ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589965119300042>
- APPLIED Graphene Materials. **Graphene powder**. Disponível em: <<http://www.appliedgraphenematerials.com/products/graphenepowder/>>. Acesso em: 22 set. 2020.
- BALANDIN, A. A. **Thermal Properties Of Graphene And Nanostructured Carbon Materials**. Na Ture Materials, v. 10, p. 569-581, 2011.
- BOEHM, H.P.; STUMPP, E. Citation errors concerning the first report on exfoliated graphite. Carbon, v. 45, n. 7, p. 1381-1383, 2007.
- CARDOSO, Quezia de Aguiar. **Estudo do processo de redução térmica em vácuo do óxido de grafeno visando à obtenção de matéria-prima para supercapacitor**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Nuclear - Materiais, Autarquia Associada À Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- CODEMGE. (2020). **Grafeno**. Acesso em 15 de novembro de 2020, disponível em <http://www.codemge.com.br/atuacao/industria-de-alta-tecnologia/grafeno/>
- COMMISSION, E. (10 de janeiro de 2020). **European industries lead new Graphene Flagship commercialisation projects**. Acesso em 11 de novembro de 2020, disponível em Eruopen Commission: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-industries-lead-new-graphene-flagship-commercialisation-projects>
- DALFOVO, Michael S.; LANA, Rogério A.; SILVEIRA, Amélia. **Métodos Quantitativos e Qualitativos: Um resgate teórico**. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada. v.2, n.4, p.01-13. Blumenau, 2008.
- FAPESP, A. (2019). **Biossensor para diagnóstico rápido e preciso de zika**. Acesso em 22 de maio de 2020, disponível em <http://agencia.fapesp.br/biossensor-para-diagnostico-rapido-e-preciso-de-zika/30787/>

FERNANDES, Ana Luiza Castro et al. **Nanopartículas de prata, fulerenos e nanotubos de carbono: as interações de nanomateriais com a unidade imunológica cutânea.** Tese de Doutorado. Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. Rio de Janeiro. 2012

FLAGSHIP, G. (2018). **What is graphene?** Acesso em 26 de maio de 2020, disponível em <http://graphene-flagship.eu/material/graphene/Pages/What-is-graphene.aspx>

FLAGSHIP, G. (2020). **Consortium.** Acesso em 11 de outubro de 2020, disponível em: <https://graphene-flagship.eu/project/Pages/Consortium.aspx>

FLAGSHIP, G. (2020). **Smog-eating graphene composite reduces atmospheric pollution.** Acesso em 21 de maio de 2020, disponível em <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/12/191203104759.htm>

FREEMAN, C. Technology policy and economic performance. Londres: Pinter Publishers London and New York, 1987

GEIM, A. **Graphene: Status and Prospects.** Science Magazine, v. 324, p. 1530-1534, 2009.

FLAGSHIP, G. (2020). **Consortium.** Acesso em 26 de Novembro de 2020, disponível em Graphene Flagship: <https://graphene-flagship.eu/project/Pages/Consortium.aspx>

GRAPHENE-INFO. (2019). **What is Graphene?** Acesso em 26 de MAIO de 2020, disponível em <https://www.graphene-info.com/graphene-introduction>

HEAD. (2020). **Graphene 360+.** Acesso em 21 de maio de 2020, disponível em <https://www.head.com/cs-CS/sports/tennis/technology/graphene360plus/>

INBEC. (2020). **O que é grafeno e quais suas aplicações na Construção Civil?** Acesso em 26 de MAIO de 2020, disponível em <https://inbec.com.br/blog/o-que-grafeno-quais-suas-aplicacoes-construcao-civil>

JANUÁRIO, A.C.; REMÉDIO, B.R.; SOUSA, R. A. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Produção de grafeno pelo método de esfoliação química e suas potenciais aplicações.** Florianópolis: COBEQ, 2014.

LIN, Y-M.; DIM ITRAKOPOULOS, C.; J ENKINS, K. A.; FARMER, D. B.; CHIU, H.-Y.; GRILL, A.; AVOURIS, P. 100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene. Science, v. 327, n. 5966, p. 662-665, 2010.

MACKENZIE, U. P. (2020). **mackgraphe.** Acesso em 26 de maio de 2020, disponível em <https://www.mackenzie.br/mackgraphe/>

MANCHESTER, T. U. (2020). **About.** Acesso em 22 de outubro de 2020, disponível em <https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn>

MANCHESTER, U. d. (2020). **Graphene supermaterial goes superpermeable: Can be used to distill alcohol.** Acesso em 21 de maio de 2020, disponível em <https://www.sciencedaily.com/releases/2012/01/120126100639.htm>

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisas; Amostragens e técnicas de pesquisa; Elaboração, análise e interpretação de dados**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

NASCIMENTO, J.P. **Esfoliação Química do Grafite Natural em mistura de solventes orgânicos: a obtenção de grafenos de poucas camadas**. Dissertação de Mestrado CDTN, 2013.

NOVOSELOV, K.S. GEIM, A.K. MOROZOV, S.V. JIANG D., ZHANG Y., DUBONOS, S.V., GRIGORIEVA, I.V., FIRSOV, A.A., **Science** **306**, 666, 2004
ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO.
Manual de Oslo: **Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação**. 3ed. OCDE e Eurostat. 2006

PADILHA, J E. Fazzio, A A JR da Silva. van der Waals **heterostructure of phosphorene and graphene: tuning the Schottky barrier and doping by electrostatic gating**. **American Physical Society**, 2015. Disponível em:https://scholar.google.com.br/citations?user=O6z734cAAAAJ&hl=pt-BR#d=gs_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Dpt-BR%26user%3DO6z734cAAAAJ%26citation_for_view%3DO6z734cAAAAJ%3AA8cqit5AE6sC%26tzom%3D180 Acesso em: 10 out 2020.

RAO, C. N. R.; SOOD, A. K.; SUBRAHMANYAM, K. S.; GOVINDARAJ, A. Graphene: The New **Two-Dimensional Nanomaterial**. *Angew. Chem. Int.*, v. 48, p. 7752-7777, 2009.

REALGRAPHENE. (2020). **REALGRAPHENE**. Acesso em 11 de Novembro de 2020, disponível em <https://realgrapheneusa.com/>

RENNINGS, K. **Redefining innovation-eco-innovation research and the contribution from ecological economics**. Ecological Economics, v. 32, p. 319-332, 2000.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations**. 3 ed. New York: Free Press. 1983.

S. ZHAO, M. L. (2020). **Graphene-based free-standing bendable films: designs, fabrications, and applications**. Acesso em 11 de novembro de 2020, disponível em ScienceDirect: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590049820300072>)

SANTOS, Marcos. **Brasil vai cair 2 posições para 9ª maior economia, diz FMI**. 2015.

Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/brasil-vai-cair-2-posicoes-para-9a-maior-economia-diz-fmi>>. Acesso em: 24 set. 2020.

SEGUNDO, J. E., & VILAR, E. O. (2016). **Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 11(2), 54-57.

SINGH, V.; JOUNG, D.; ZHAI, L.; DAS, S.; KHONDAKER, S. I.; SEAL, S.

Graphene Based Materials: Past, Present and Future. Progress in Materials Science, v. 56, p. 1178–1271, 2011.

TECH, P. (2020). **GRAPHENE SYNTHESIS**. Acesso em 11 de outubro de 2020, disponível em planar tech: <https://www.planartech.com/synthesis-process.html>

UCSGRAPHENE. (2020). **UCSGRAPHENE**. Acesso em 24 de novembro de 2020, disponível em <https://www.ucsgraphene.com.br/>

UFMG. **Evento internacional sobre grafeno reúne especialistas em BH**. 2010. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/online/arquivos/017642.shtml>>. Acesso em: 21 set. 2020.

UNIVERSITY, R. (2020). **Lab turns trash into valuable graphene in a flash 'Green' process promises pristine graphene in bulk using waste food, plastic and other materials**. Acesso em 21 de maio de 2020, disponível em

<https://www.sciencedaily.com/releases/2020/01/200127134751.htm>

VIEIRA, J. E. D.; VILAR, E. O. **Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 11, No. 2, p. 54–57, 2016.

ZHANG, L.; LI, X.; HUANG, Y.; MA, Y.; WAN, X.; CHAN, Y. **Controlled synthesis of fewlayered graphene sheets on a large scale using chemical exfoliation**. Carbon, v. 48, p. 2361-2380, 2010.

Autorizo a cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins comerciais sem prévia autorização específica do autor. Autorizo também a divulgação do arquivo no formato PDF no banco de monografias da Biblioteca institucional.

Wilton Mota de Brito Costa

Pindamonhangaba, 16 de dezembro 2020