

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA-UNIFOR-MG**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**RANGEL CARDOSO CAETANO**

**GRAFENO:**  
**CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES.**

**FORMIGA – MG**  
**2017**

**RANGEL CARDOSO CAETANO**

**GRAFENO:  
CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Química do UNIFOR-MG como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.

**FORMIGA – MG**

**2017**

C127 Caetano, Rangel Cardoso.

Grafeno: características, propriedades e aplicações / Rangel Cardoso  
Caetano. – 2017.

52 f.

Orientador: Antônio José dos Santos Júnior.

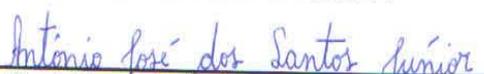
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
Química)-Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga,  
2017.

Rangel Cardoso Caetano

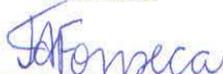
GRAFENO:  
CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES E APLICAÇÕES

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao curso de Engenharia Química do UNIFOR-  
MG, como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Química.

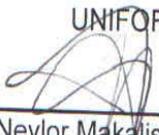
BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Ms. Antônio José dos Santos Júnior

Orientador

  
Prof. Ms. Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca

UNIFOR-MG

  
Prof. Neylor Makalister Ribeiro Vieira

UNIFOR-MG

Formiga, 31 de outubro de 2017.

*Dedico a presente monografia a todos os professores do curso, ao meu orientador e mestre Antônio José dos Santos Júnior, a minha família e amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse projeto.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Ao Centro Universitário de Formiga-UNIFOR-MG, seu corpo docente, direção e administração por me proporciona a realização de um sonho.

Agradeço a minha mãe, que me ensinou a ser um ser humano íntegro, com caráter, coragem e dignidade para enfrentar a vida, obrigado mamãe por me deixar sempre livre para seguir minhas escolhas, mas sempre me indicando o caminho correto,

A minha avó Maria que me deu todos os mimos que pôde e que eu sei que tem um grande orgulho de mim, mas tenha certeza que a senhora foi a base para que tudo isso realizasse.

Aos meus familiares que de alguma forma contribuiu para que eu sempre seguisse em frente, obrigado mesmo.

Aos meus amigos de tempos, João Paulo, Jonas, Elíton, Andrezza, Maikon, Talita, Williane, Raquel, Laila, Daiani, Gisane, Brenda, Fran que sempre me apoiaram com meus sonhos e nunca me deixaram desistir de realiza-los, de coração sem vocês não chegaria onde estou.

Ao meu patrão Rodrigo que muitas das vezes me ajudou nas horas que mais precisava, muito obrigado por me mostrar o grande homem que você é, aprendi muito trabalhando com você.

Ao meu gerente Gabriel pelos conselhos e amizade, obrigado por me deixar conhecê-lo e me ajudar sempre em questões de horários para estudar, fazer trabalhos e por me entender, sem essa ajuda de forma alguma chegaria até aqui.

Aos meus professores desde a Escola Estadual Padre Paulo até o UNIFOR, que foram incansáveis na arte de ensinar e me acompanharam desde o início da minha vida, marcando assim, os meus maiores passos. Obrigado pelo empenho e dedicação.

Em especial agradeço o meu mestre Antônio José dos Santos Júnior por ser um excelente orientador, sendo sempre correto e justo, duro quando

necessário, com você pude aprender muito, te desejo todo o sucesso do mundo e que você continue sendo esse professor brilhante que você. Obrigado grande mestre!

## RESUMO

A nanotecnologia é um estudo em escala nanométrica que está revolucionando o mundo em diversas áreas como, medicina, eletrodomésticos, química, petroquímica, indústria alimentícia, entre outras. O objetivo desse trabalho é o estudo teórico sobre a nanotecnologia, suas aplicações e o que ela está proporcionando ao mundo, abordar os estudos dos materiais como o carbono e seus alótropos, o grafite e o grafeno, material que existe há anos atrás. No entanto somente em 2004 André Geim e Kostya Novoselov descobriram como obter as folhas de grafeno através apenas de uma fita de empacotar e um substrato, conseguindo um prêmio Nobel. Este material contém ótimas propriedades e está sendo estudado em diversas áreas, como nanoeletrônica, nanomedicamentos, nanocompósitos, etc. Tendo em vista as propriedades do Grafeno, este trabalho propõe a utilização do mesmo em um equipamento que realiza troca de calor, o conhecido trocador de calor a placas, no qual usualmente as placas são feitas de aço inoxidável AISI-316. O grafeno é cientificamente conhecido por ter propriedades térmicas mais interessantes que as do aço. Baseando nisso, é proposta a substituição deste material pelo grafeno, o que poderia proporcionar uma otimização do processo de resfriamento e aquecimento de diversos fluídos.

Palavras-chave: Nanotecnologia. Grafeno. Trocador de Calor.

## **ABSTRACT**

A nanotechnology and a nano-scale study that is revolutionizing the world in several areas such as medicine, home appliances, chemistry, petrochemicals, food industry, among others. The objective of this work is the theoretical study on a nanotechnology, its applications and what it is providing to the world, to approach studies of materials such as carbon and its allotropes, graphite and graphene, material that existed years ago. However, in 2004 André Geim and Kostya Novoselov discovered how to obtain as sheets of graphene through a packaging tape and a substrate, achieved a Nobel Prize. This material is present in various areas such as nanoelectronics, nanomedicines, nanocomposites, etc. Considering as properties of graphene, this work proposes a use of same in a heat exchange equipment, the known heat exchanger to plates, without quality usually as plates are made of stainless steel AISI-316. Graphene is scientifically known to have more interesting thermal properties than steel. Based on this, it is proposed a substitution of this material with graphene, which we want to improve an optimization of the process of cooling and heating of various fluids.

Keywords: Nanotechnology. Graphene. Heat exchanger to plates.

## Lista de Ilustrações

Figura 1 – Áreas de aplicação da Nanotecnologia .....	18
Figura 2 – Estruturas das três variedades do carbono.....	20
Figura 3 – Diferentes tipos de CNT'S.....	23
Figura 4 – Fragmento de grafite natural. ....	24
Figura 5 – Representação das estruturas de lamelas da grafite. ....	25
Figura 6 - Método de obtenção de camadas finas de grafite utilizando uma fita adesiva feito por Gein e Novoselov.....	27
Figura 7 - Estrutura do Grafeno em 2D. ....	28
Figura 8 - Caráter “materno” do grafeno, em relação aos fulerenos, nanotubos de carbono e grafite .....	29
Figura 9- Método CVD (Deposição química a vapor).....	32
Figura 10- Retina Artificial .....	34
Figura 11 - Exemplos de trocas térmicas em um trocador de calor com 8 canais.....	37
Figura 12 - Modelos de Trocadores de Calor.....	38
Figura 13 - Variedades de tamanhos e modelos de placas usadas no trocador de calor. ....	39
Figura 14 - Partes principais do trocador de calor a placas. ....	40

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Propriedades Físicas do Carbono.....	19
Quadro 2 - Propriedades físicas e térmicas do Grafeno e do Aço Inoxidável AISI-326. ....	42

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
IBM	International Business Machines
Prov.	Provérbios
MWNT'S	Multicamadas de Nanotubos de Carbono
SWNT'S	Camada Simples de Nanotubos de Carbono
CNT'S	Nanotubos de Carbono
AISI-316	American Iron and Steel Institute – 316

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVOS .....	13
2.1.	Objetivo geral.....	13
2.2.	Objetivos específicos.....	13
3.	JUSTIFICATIVA .....	14
4.	NANOTECNOLOGIA .....	15
4.1.	Princípios da Nanotecnologia.....	15
4.2.	Aplicações da nanotecnologia .....	17
5.	CARBONO .....	19
5.1.	Nanotubos de Carbono .....	21
5.2.	Estrutura.....	22
6.	GRAFITE .....	24
7.	GRAFENO .....	27
8.	PROPRIEDADES DO GRAFENO .....	30
8.1.	Principais métodos de produção .....	31
8.1.1	Microesfoliação mecânica .....	31
8.1.2	Microesfoliação química.....	31
8.1.3	Deposição química a vapor .....	32
9.	GRAFENO NO MUNDO E SUAS APLICAÇÕES .....	33
10.	TROCADOR DE CALOR DE PLACAS.....	37
11.	GRAFENO x AÇO INOXIDÁVEL AISI-316 .....	42
12.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45



## 1. INTRODUÇÃO

Os estudos em escala nanométrica têm evoluído e levado muitos cientistas a revolucionarem as áreas de química e fármacos, saúde e medicina, fabricação e materiais, ambiental e energia, biotecnologia, agricultura, eletrônica, computação e tecnologia da informação. Contudo, o interesse nessa área do conhecimento teve seu início quando em 1959 houve uma palestra ministrada por Richard Feynman intitulada “There’s plenty of room at the bottom” (“Há muito espaço lá embaixo”) (MEDEIROS, 2007). O pesquisador anunciou ser possível compactar, na cabeça de um alfinete, todos os 24 volumes da Enciclopédia Britânica, sugerindo que o homem um dia pudesse manipular objetos de dimensões atômicas e assim estruturas de tamanho muito reduzido segundo o seu livre arbítrio (FEYNMAN, 1959)

Uma das evidências de que Feynman estava certo são os materiais utilizados na construção dos lasers dos toca-discos atuais, que não ocorrem naturalmente, mas são fabricados pelo homem, átomo por átomo (VIEIRA, A. et al., 2011, p. 1).

De acordo com a (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), 2010), a nanotecnologia tem um significado especial para a inovação industrial. Entre diversas inovações convergentes, a nanociência e nanotecnologia entram nessa grande aventura como uma alternativa para o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais na escala atômica, molecular e macromolecular.

O grafeno foi um dos materiais descoberto no mundo da nanotecnologia. Produzido a partir de grafite, teve sua primeira extração em 2004, por Novoselov e Geim, tal material é um ótimo condutor térmico e elétrico, além de possuir propriedades físicas e químicas extraordinárias. Cientistas descrevem o grafeno como sendo o material mais fino e mais resistente conhecido atualmente (MILCZEVSKY, 2012).

As suas propriedades podem ser aplicadas em diversas áreas. Esse trabalho propõe o uso de folhas de grafeno em um trocador de calor do tipo placas, que atualmente é fabricado com placas de aço inox e utilizado para a fabricação ou tratamento de alimentos como leite, sucos ou cerveja, dentre os

quais se destacam os tratamentos térmicos, como resfriamento, aquecimento, pasteurização e esterilização (BERTO, 2000). Como o grafeno possui condutividade térmica e elétrica maior que o aço, essa substituição se mostrada com uma boa eficiência, pode fornecer para as empresas uma grande margem de lucro, pois o material poderá reduzir manutenção e melhorar a produção.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Estudar as propriedades e características do grafeno e propor a sua utilização em um trocador de calor do tipo placas, já que esse material apresenta melhores condutividades, propriedades e eficiência em substituição ao aço inox, material hoje utilizado na fabricação das placas que constitui o trocador de calor.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Estudar os avanços da nanotecnologia e suas contribuições para diversos segmentos da sociedade, inclusive o industrial;
- Compreender o material grafeno, suas propriedades, características e aplicações;
- Comparar as propriedades do grafeno e do aço inox, atualmente utilizado em trocadores de calor tipo placas;
- Propor a utilização do grafeno em um trocador de calor para uma melhor eficiência.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O grafeno é um material que apresenta propriedades eletrônicas, térmicas e mecânicas excepcionais, além de possuir alta condutividade térmica (FRAZIER, 2009). Através de estudos, pode-se notar que o material contém propriedades mais eficientes que o aço inox, dessa forma propõe-se então a troca desse material por grafeno, uma vez que ele pode ser mais eficiente e viável para a fabricação de trocadores de calor do tipo placas.

## 4. NANOTECNOLOGIA

### 4.1. Princípios da Nanotecnologia

Nanotecnologia é a habilidade de manipular átomos e moléculas individualmente (BASTOS, 2006).

A natureza vem constantemente realizando proezas nanotecnológicas, por meio do arranjo de átomos e moléculas. Sistemas biológicos combinam química e eletroquímica em um só ser vivo, além de que, os fenômenos naturais como as erupções vulcânicas e incêndios florestais podem ser definidos como eventos nanotecnológicos (NEVES, 2011 apud SCOTT, 2007, P.9)<sup>1</sup>.

A evidência científica de que tudo é constituído de átomos é muito atual. Há aproximadamente cem anos, os cientistas obtiveram provas de que a velha hipótese atômica, desenvolvida há dois e meio milênios condiz com a realidade da natureza. No passar do século XIX, os cientistas foram progressivamente se convencendo de que a melhor forma de esclarecer quantitativamente as reações químicas é considerando que essas se dão entre unidades bem precisas de cada composto. Alguns físicos, já quase no fim do século XIX, criaram uma teoria estatística da matéria, em que se busca explicar a conduta dos corpos com os quais se lida a todo o momento pelo comportamento dessas pequenas unidades invisíveis da matéria, as moléculas e os átomos (SILVA, 2002).

No entanto para que os cientistas pudessem manipular tais materiais, tão pequenos, invisíveis a olho nu, por meados de 1980, foi inventado o microscópio de tunelamento, um dos mais práticos instrumentos inventados na década por Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, que trabalhavam nos laboratórios da IBM (*International Business Machines*). Mas antes dessa descoberta alguns pioneiros mais ousados se perguntavam: o que aconteceria se pudessemos desenvolver novos materiais, átomo a átomo, manipulando diretamente os tijolos básicos da matéria? Entre esses pioneiros, foi conhecido um dos maiores físicos do século XX: o grandioso Richard Feynman. Na era do desenvolvimento da primeira bomba nuclear, era necessária a realização de cálculos complexos, Feynman teve a grande ideia de dividir os cálculos em

operações mais claras, que podiam ser praticadas ao mesmo tempo. O cientista colocou várias secretárias para operar cada qual uma máquina de calcular, sendo esta feita a mão ou calculadora mecânica limitada para operações aritméticas muito simples (SILVA, 2002).

Por meados de 1959, Feynman em uma palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia, propôs que em um futuro próximo os engenheiros pegariam átomos e os colocariam onde quisessem, mas é claro, se não fossem violadas as leis da natureza. Como Feynman colocava em sua conferência, nada, nesse grande sonho, desrespeita as leis da natureza e, no entanto, é somente uma questão de conhecimento e tecnologia para torna-lo realidade (SILVA, 2002)

Segundo o Centro Ecológico (2009), alguns pesquisadores dizem que o desenvolvimento da nanotecnologia é o evento mais significativo que aconteceu no planeta Terra desde a Revolução Industrial. Átomo a átomo, molécula a molécula, a nanotecnologia irá refazer o mundo criado pelo ser humano, descobrindo uma onda de inovações em tudo. Em muitos países em 2007, especialmente no norte, 1.300 empresas, de 76 setores, com investimentos de US\$ 14 bilhões, faziam pesquisas nas áreas de máquinas, eletrônica, engenharia, vestuário, defesa, alimentação, agricultura, entre outros utilizando a nanotecnologia como alicerce para o desenvolvimento de seus materiais. No Brasil em 2001 o Governo federal lançou o primeiro edital na área da Nanotecnologia e Nanociência, e assim o país ganhou uma forma mais institucionalizada em relação à nanotecnologia.

O Brasil atualmente ocupa a 19ª colocação em produção nanotecnológica, mas ainda assim a produção é modesta, uma vez que a nanotecnologia acrescenta valores aos produtos. Sendo assim há um desafio para o desenvolvimento nacional de matérias primas para a obtenção de produtos de base e insumos. Por enquanto a nanotecnologia ainda está começando (SERAFIM, 2010).

## 4.2 Aplicações da nanotecnologia

Segundo Instituto de pesquisas internacional *Lux Research*, a nanotecnologia movimentou cerca de US\$ 3,1 trilhões em 2015, 15% do mercado global. Em 2009, só nos EUA, os nanoproductos tiveram giro de US\$ 88 bilhões, foram cerca de 1.000 produtos que se beneficiaram dessas nanopartículas em todo o mundo (SERAFIM, 2010). Algumas aplicações como na química e petroquímica, medicamentos, sensores, materiais magnéticos, computação quântica, feitas em catálise, são exemplos da nanotecnologia sendo colocada em prática no Brasil (SILVA, 2002).

A nanotecnologia pode ser aplicada em setores da produção agrícola, processamento e nas embalagens de alimentos. Também pode ser empregada no monitoramento de propriedades agrícolas e dos próprios alimentos. Contudo, estas possibilidades podem significar risco de a nanotecnologia intervir no controle global das grandes corporações sobre a agricultura e sobre os sistemas alimentares, diminuindo o poder dos agricultores sobre a produção de alimento (Centro Ecológico, 2009).

As possibilidades de aplicações são quase incalculáveis, e espera-se que a nanotecnologia cause um efeito mais profundo na sociedade do que o impacto causado pelos automóveis, computadores e televisões do século XX. Muitos dos grandes impactos podem vir do aumento das velocidades das reações, com o uso de nanocatalisadores e integração da eletrônica molecular, a nanotecnologia poderá proporcionar fabricação de novos produtos e novas oportunidades de mercado, através da tecnologia e da ciência. Atualmente as indústrias poderão se beneficiar com inovações da nanotecnologia. Produções em larga escala terá que passar por uma revisão de modo que considere o alto valor agregado dos nanomateriais e o valor social irá diminuir o impacto ambiental na manufatura dos produtos, processos mais limpos e com maior eficiência utilizando energia irão contribuir para uma melhor qualidade de vida (FERREIRA, RANGEL 2009).

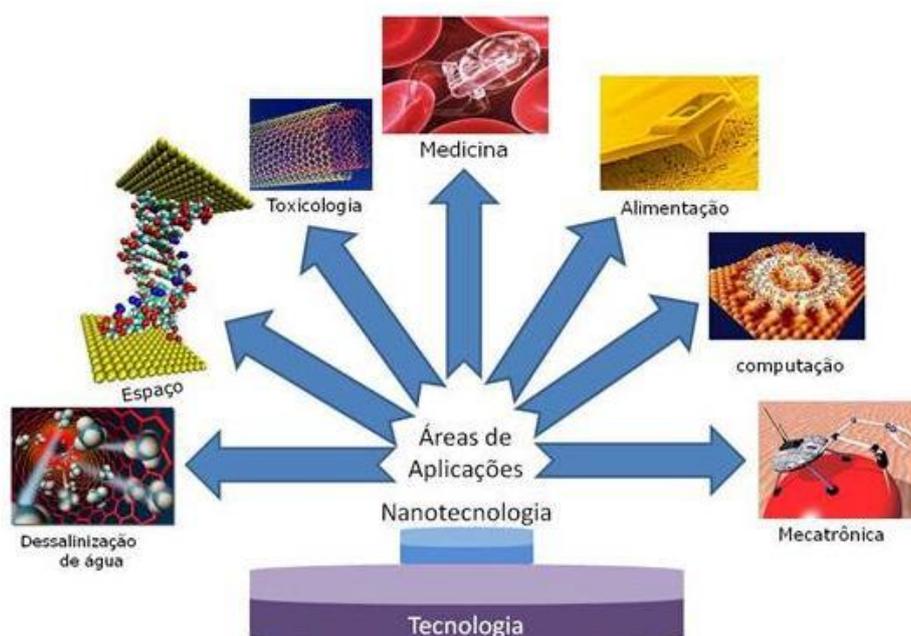
A nanotecnologia também está presente nas embalagens de plástico aplicadas no setor alimentício, fabricadas com polímeros provenientes do petróleo, o plástico comparado com papel, madeira, vidro, metais e cerâmicas, tem vantagens como o peso, resistência mecânica, flexibilidade, e também

outras características como físico-químicas e biológicas, ligadas à saúde, segurança e qualidade (ALMEIDA; FRANCO; PEIXOTO; PESSANHA; MELO, 2015).

A nanotecnologia está se fazendo muito presente na área da saúde, a *European Medicines Agency* a define com a aplicação de estruturas de 1.000 nanômetros de diâmetro. Nas áreas de nanomedicina e nanotecnologia farmacêutica, estão realizando pesquisas para manipular nanomedicamentos, e diferentes nanopartículas estão sendo desenvolvidas para área terapêutica ou diagnóstico (DIMER; FRIEDERICH; BECK; GUTERRES 2013).

Vários produtos estão sendo produzidos em nanoescala, como dióxido de titânio, prata, ouro e cobre que misturados a tintas, plásticos e outros materiais, beneficia o seu desempenho. Veículos de transportes de drogas no corpo humano e nanotubos de carbono estão próximos de serem comercializados (FERREIRA, RANGEL, 2009). O que resta ao homem é aprender a transformar e progredir todo o conhecimento em riquezas para o país (SILVA, 2002). Na FIG-1 podemos ver as diversas áreas em que a nanotecnologia está sendo aplicada.

Figura 1 – Áreas de aplicação da Nanotecnologia



Fonte: <http://redes-e-servidores.blogspot.com.br/2011/01/nanotecnologia.html>, 2011.

## 5. CARBONO

De acordo com o Centro Ecológico (2009) os governos têm definido a nanotecnologia como o estudo e a manipulação do carbono numa escala que vai de 1 a 100 nanômetros, pois seria nessa faixa que ocorreriam as mudanças que interessam aos cientistas e pesquisadores.

Carbono é um nome dado por Lavoisier em 1789. Vem do latim *carbo* que significa carvão, e como o carvão, o carbono manifesta-se nas mais antigas escrituras da humanidade, por exemplo, na bíblia: Prov. 26, 21 (1000 a.C) “*Como o carvão é para o borralho, e a lenha para o fogo, assim é o homem contencioso para acender rixas*” (PEIXOTO, 1997). Não há dúvidas que o carbono é o maior presente de Deus aos químicos, a sua versatilidade exige uma química dedicada apenas aos compostos desse elemento (SANTOS, 2014). No QUADRO 1, podem-se ver algumas propriedades físicas do carbono e que ele não tem descobridor, nem ano de descoberta, provando assim a sua existência há muitos anos antes de Cristo:

Quadro 1 - Propriedades Físicas do Carbono

Número atômico	6
Massa atômica	12,0107 uma
Ponto de Fusão	3500,0 ° C ( 3.773,15 K, 6332,0 ° F)
Ponto de Ebulição	4827,0 ° C ( 5.100,15 K, 8720,6 ° F)
Número de prótons/elétrons	6
Número de Nêutrons	6
Classificação	Não-Metálicos
Densidade a 293 K	2,62 g / cm <sup>3</sup>
Cor	Pode ser preto
Data da descoberta	Conhecido pelos antigos
Descobridor	Desconhecido
Nome de Origem	Do Latim <i>Carbo</i> (Carvão)
Usos	Aços e Filtros
Obtido a partir de	Queima com oxigênio insuficiente

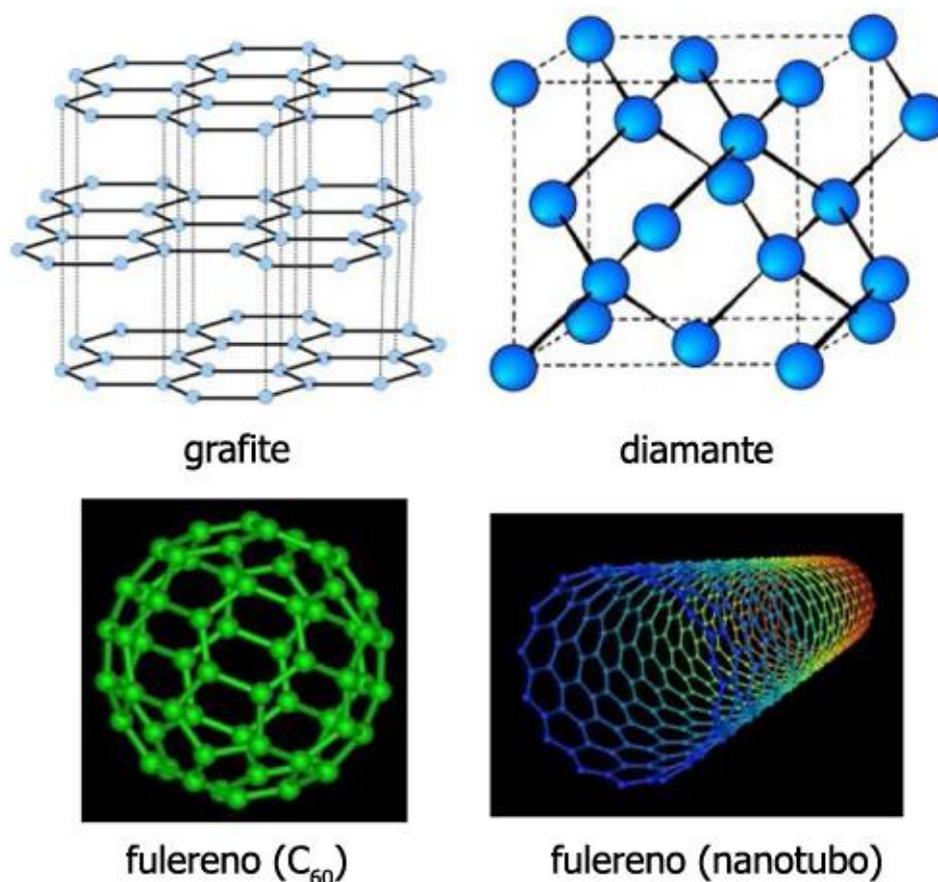
Fonte: O autor (2017).

O carbono é um elemento em que a dureza, o brilho, a transparência, a opacidade, a cor negra metálica, o fascínio do diamante e o plebeísmo do

grafite, são resultados de apenas uma diferença: a ligação dos átomos (SIMOES, 1992).

Os átomos de carbono têm a propriedade de se unir formando estruturas denominadas cadeias carbônicas. Essa propriedade é a responsável pela existência de milhões de compostos orgânicos (BLANCO, 2011). O grafite e o diamante são as mais importantes formas alotrópicas do carbono, seguidas do fulereno, mostradas na FIG-2.

Figura 2 – Estruturas das três variedades do carbono.



Fonte; Química Nova 2014, p 1.

O grafite é composto por inúmeras camadas de átomos de carbono ligados entre si com hibridização  $sp^2$ , já os átomos de carbono do diamante formam um arranjo tridimensional tetraédrico com hibridização  $sp^3$ . Essas diferenças estruturais são responsáveis pelas diferentes propriedades destas duas formas alotrópicas (PAYOLLA, 2014).

Em 1985 os fulerenos foram descobertos por H. W. Kroto (Universidade de Sussex, em Brighton, Inglaterra) e R. E. Smalley (Universidade Rice, em Houston, Texas, EUA) (ROCHA FILHO, 1996). Juntos eles notaram estruturas constituídas de 44 a 90 átomos de carbono, as estruturas de 60 átomos de carbono tinham uma forma parecida com uma bola de futebol com 32 faces, sendo 20 hexagonais e 12 pentagonais. Essa forma foi chamada de *buckminsterfulereno*, em tributo ao arquiteto Richard Buckminster Fuller, e agora chamada apenas de fulereno ou  $C_{60}$ . O descobrimento do  $C_{60}$  impulsionou a descoberta de outras estruturas de fulerenos, os materiais nanoestruturados, sendo umas das principais formas, os nanotubos de carbono (PAYOLLA, 2014).

## 5.1 Nanotubos de Carbono

Os nanotubos de carbono são sistemas de referência para a nanociência e a nanotecnologia, cujas propriedades são determinadas pela morfologia e pelo tamanho, originando uma sintonia em suas propriedades físico-químicas. Essas estruturas são bastante versáteis para as diferentes áreas do conhecimento e são capazes de promover uma multidisciplinaridade muito forte. Atualmente as pesquisas sobre nanotubos de carbono estão dominando as áreas da química, física, biologia, ciências dos materiais e também no campo de farmacologia (SOUZA, FAGAN 2007).

Em 1991 o físico Sumio Iijima observou pela primeira vez os MWNTs (nanotubos multicamadas). Dois anos depois Iijima e alguns pesquisadores do Japão, Bethune, e EUA publicaram um trabalho sobre a síntese dos SWNTs (nanotubo de camada simples) ao mesmo tempo. Por enquanto não se sabe a quem de fato são atribuídos os créditos da descoberta dos nanotubos de carbono, contudo sabe-se que a pesquisa de Iijima sobre nanotubos fez com que muitas pesquisas fossem iniciadas (SOUZA, FAGAN 2007). Desde a descoberta dos CNTs (nanotubos de carbono) têm despertado um interesse em diversas áreas de aplicações, isso devido às suas características como propriedades eletrônicas, químicas e sua grande resistência mecânica, com uma força de tensão 100 vezes maior que a do aço. Estes materiais possuem

uma excelente condutividade térmica e elétrica, atualmente são um dos componentes mais usados no desenvolvimento da nanotecnologia, e vem sendo estudados por diversos ramos da indústria de alta tecnologia (CESARINO, 2011).

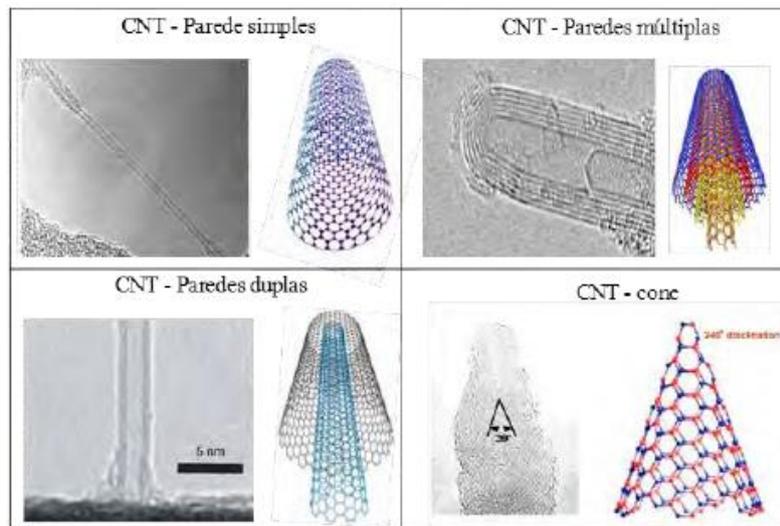
## 5.2 Estrutura

Os nanotubos podem ser classificados de duas formas quanto ao número de camadas, a primeira é os nanotubos multicamadas (*“multi-wall carbon nanotubes – MWNTs”*) que envolvem um conjunto de três ou mais nanotubos enrolados sobre si, e a segunda é os nanotubos de camada simples (*“single-wall carbon nanotubes – SWNTs”*) que são como uma folha de grafeno enrolada sobre si mesma para formar um tubo cilíndrico. Dependendo da aplicação desejada é utilizada a forma mais apropriada (CESARINO, 2011).

Outros tipos de CNTs podem ser sintetizados tais como: nanotubos de carbono de paredes duplas, nanotubos de carbono alinhados, nanotubos de carbono em formato de cone (*cup-stack*) como mostrado na FIG-3, dentre outros. Onde a formação destas estruturas são simplesmente variações das condições de síntese (SOUZA, FAGAN 2008).

Muitos progressos têm sido realizados nos diferentes métodos de síntese dos nanotubos, e mesmo assim não se pode chegar a uma conclusão onde seja possível controlar a estrutura do nanotubo. É necessário ressaltar que a maneira como a folha de grafite é enrolada determina a estrutura e as propriedades físicas dos nanotubos (SOUZA, FAGAN 2008).

Figura 3 – Diferentes tipos de CNT'S



Fonte: CESARINO, 2011, p.11.

## 6. GRAFITE

O grafite é o alótropo do carbono mais estável em condições normais de temperatura e pressão, por isso é encontrado naturalmente e com bastante fartura. Ele oxida-se a temperaturas maiores que 550°C em atmosfera, e tem alta condutividade elétrica (MACEDO, 2011).

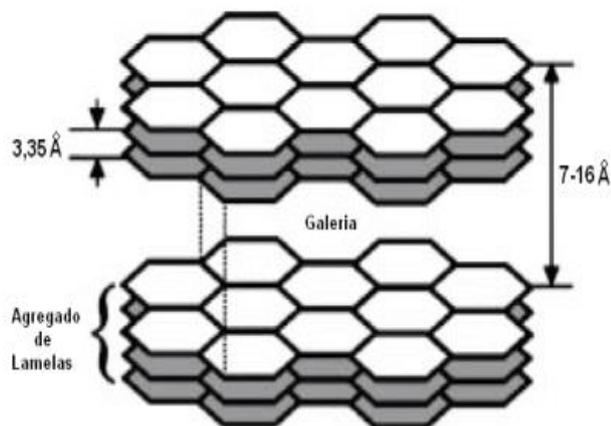
Figura 4 – Fragmento de grafite natural.



Fonte: Ensinando Química na Geral (2014).

A estrutura cristalina do grafite é formada por camadas chamadas de grafeno, onde o hexágono de átomos de carbono com hibridização  $sp^2$  forma uma espécie de colmeia, em que os átomos de carbono são ligados covalentemente (BORGES, 2007). Segundo Ferreira, (2008) o grafite se encontra no formato de lamelas e possui uma espessura de 2 a 8 nm em cada folha. Essas lamelas são encontradas agregadas, e juntas constituem uma espessura de 7 a 16Å. O espaço entre as lamelas do grafite é de aproximadamente 3,35Å, como mostra na FIG-5.

Figura 5 – Representação das estruturas de lamelas da grafite.



Fonte: ALÉM DO HORIZONTE, 2017.

Essa distância é o que permite que uma camada de grafeno deslize sobre a outra. Pode-se dizer que em termo de dureza o grafeno é o material mais duro encontrado na natureza, devido ao seu alto módulo elástico (BORGES, 2007).

O grafite contém propriedades como boa condutividade elétrica, aceitável resistência à corrosão e alta condutividade térmica. As nanofolhas do grafite estabelecem o baixo custo e a estrutura lamelar das argilas com as propriedades térmicas e elétricas maiores do que as dos nanotubos de carbono, podendo ser uma ótima opção para ambos, resultando em excelentes propriedades multifuncionais (FERREIRA, 2008). De acordo com Ministério de Minas e Energia de (2009) o grafite é utilizado em variadas aplicações na indústria, as principais são: peças refratárias, tijolos, catôdo de baterias alcalinas, lubrificantes sólidos ou a base de água e óleo, escovas de motores elétricos, mina de lápis e lapiseiras, e gaxetas de vedação.

O grafite reage com várias substâncias químicas para constituir compostos químicos classificados em três grupos: compostos superficiais, que são formados pela reação com os átomos da superfície do grafite, de substituição, que são as espécies reagentes substituídas, e os de intercalação, em que as espécies reagentes são colocadas nos interstícios interplanares do

grafite, de forma que a estrutura de camadas é mantida (CHUNG, 2002 apud SMANIOTTO, 2015).<sup>1</sup>

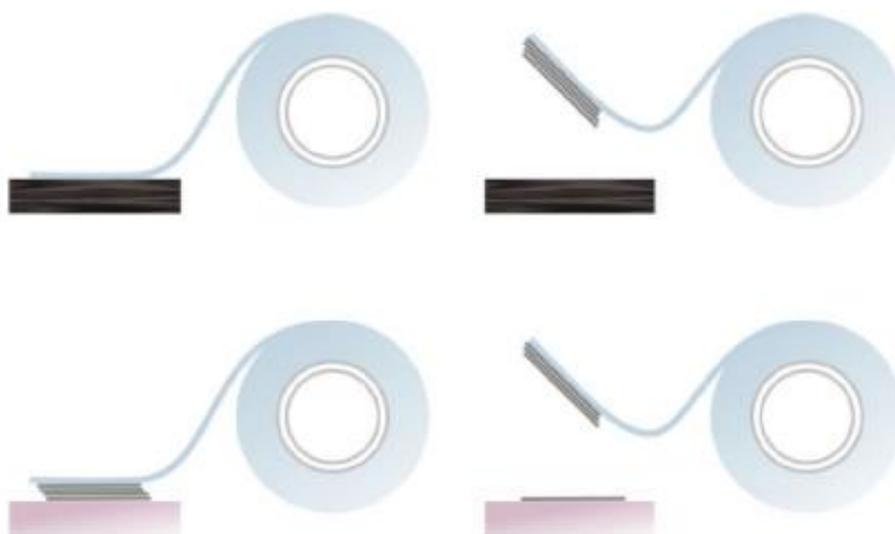
---

<sup>1</sup> CHUNG, D. D. L. Graphite. *Journal of Materials Science*, v.37, p.1457-1489. 2002.

## 7. GRAFENO

O grafeno é um material estudado há muitos anos, mas que só foi obtido recentemente no ano de 2004 quando os físicos da universidade de Manchester André Gein e Kostya Novoselov conseguiram isolar folhas individuais de grafeno usando um método relativamente fácil para extrair as folhas através da estrutura do grafite. Eles usaram fitas adesivas para retirar algumas camadas de grafite, e depois usaram um substrato para diminuir ainda mais o número de camadas de grafite até obterem somente uma camada, que é então denominada Grafeno. Esse método foi chamado de “*Scotch-tape*”, e assim Gein e Novoselov ganharam em 2010 o prêmio Nobel de física (FONSECA, 2011) A FIG-6 ilustra o processo utilizado por Gein e Novoselov.

Figura 6 - Método de obtenção de camadas finas de grafite utilizando uma fita adesiva feito por Gein e Novoselov



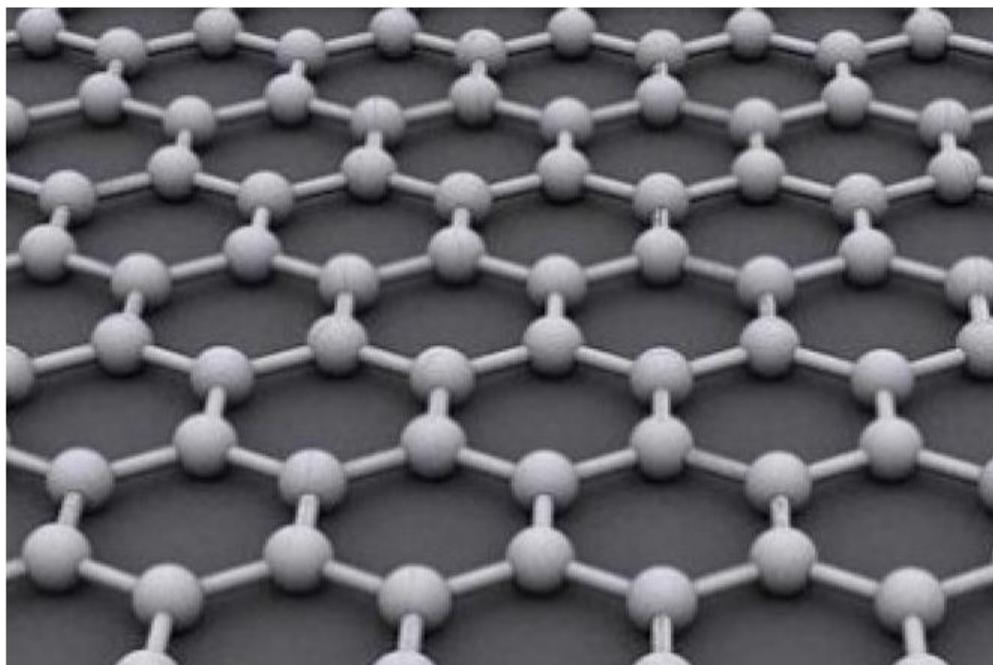
Fonte: FONSECA, 2011.p. 14.

O método também deu origem a cristais visíveis a olho nu, de dimensões da ordem de milímetro, mas não pode ser utilizado para produção em grande escala. De qualquer forma o interesse neste material foi tão grande

que em menos de 6 anos, a empresa Samsung já dispunha de métodos para a produção de folhas de grafeno com 75 cm de diagonal (SANTOS, 2014).

A extração só foi realizada em 2014, por duas razões, a primeira era que não se esperava que se encontrasse o grafeno em estado livre, e a segunda era a dificuldade de se encontrar uma ferramenta capaz de procurar menos de uma camada. A folha de grafeno é um material bidimensional constituída por átomos de carbono (MARTINS, 2014), como mostra a FIG-7.

Figura 7 - Estrutura do Grafeno em 2D.



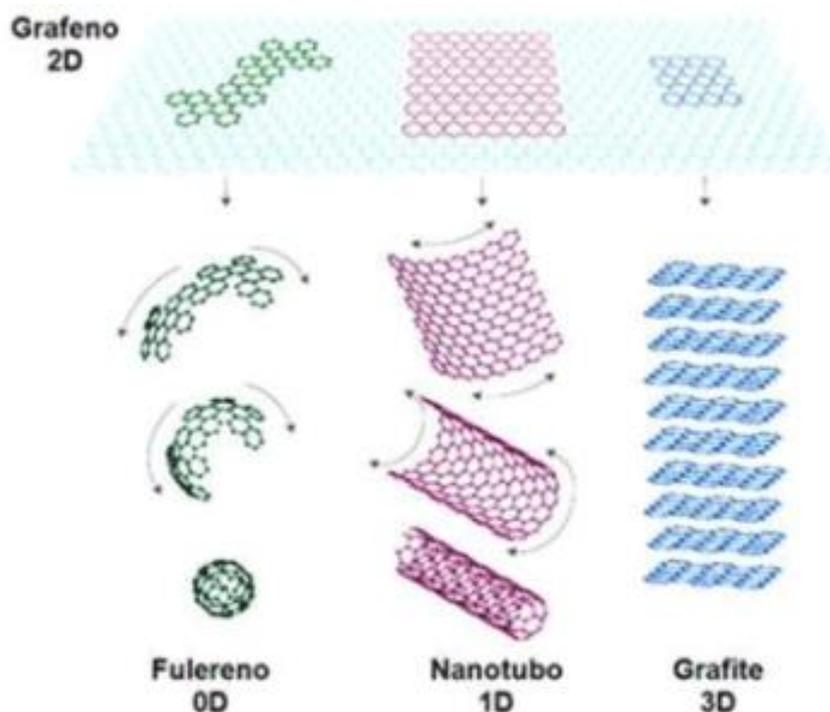
Fonte: MILCZEVSKY, 2012, p. 18.

De acordo com Guimaraes, Freire e Jesus (2012) o grafeno é um alótropo do carbono e considerado o bloco de construção básico para as nanoestruturas de carbono como mostrado na FIG-7. Com exceção do diamante, uma folha de grafeno feita de uma forma pode se transformar em outras formas de carbono (BALUCH, 2008 apud GUIMARAES; FREIRE; JESUS 2012).<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Baluch AS, Wilson B, Miller JC. Patenting graphene: opportunities and challenges. *Nanotechnol. Law & Business*, 2008.

Figura 8 - Caráter “materno” do grafeno, em relação aos fulerenos, nanotubos de carbono e grafite



Fonte: LQES NEWS, 2010.

O grafeno possui uma diversidade estrutural que é refletida nas suas propriedades eletrônicas. A hibridização  $sp^2$  entre um orbital p conduz a uma estrutura planar trigonal com a formação de ligações entre átomos de carbono que são separados por uma distância  $d = 1,44 \text{ \AA}$ . Essas ligações são responsáveis pela robustez da estrutura cristalina do grafeno (MARTINS, 2014).

Como visto anteriormente, os fulerenos e nanotubos de carbono podem ser visualizados como sendo uma folha de grafeno enrolada, que forma uma esfera e sobre o próprio eixo forma um cilindro. A diferença do grafite é que ele pode ser descrito como uma pilha de folhas de grafeno deslocados (GUIMARAES; FREIRE; JESUS, 2012).

## 8. PROPRIEDADES DO GRAFENO

Segundo Santos (2014) o grafeno foi o primeiro material ordenado, bidimensional, planar, com a espessura de um só átomo, isolado e medido. Houve boas razões para se acreditar que a ordem cristalina e a natureza bidimensional deviam ser incompatíveis, e foi surpreendente quando encontraram cristais de grafeno, com mínimos defeitos, ordenados e coerentes em dimensões laterais macroscópicas. O grupo de Manchester mostrou em 2005 que, derivando de outros materiais, como o grafite, são constituídos por camadas fracamente ligadas, sendo possível a produção de outros cristais bidimensionais. Para os cientistas e pesquisadores foi libertador descobrir que podem vir um dia trabalhar, fabricar e manipular estruturas com espessura de um átomo. Pode-se pensar em uma folha de grafeno como se fosse um tecido. O que impede de se usar uma roupa feita por esse tecido é sua transparência, além do mais, este material absorve 2,3% da luz o que dá contraste suficiente para o vermos.

O material consegue se esticar reversivelmente cerca de 20%, mas precisaria de muita força para que isso acontecesse, é aproximadamente 10 vezes mais a força necessária para obter a deformação em uma folha do melhor aço e com a mesma espessura, cerca de 3Å. O grafeno também é muito difícil de ser perfurado, sendo pressionado com uma agulha feita com diamante de 20 nanômetros de raio, é possível medir a força necessária para perfura-lo em dimensões atômicas (SANTOS, 2014).

De acordo com James Hone (2008), para se apresentar as propriedades do grafeno em perspectivas: se uma folha de "*cling film*", que tem espessura aproximadamente de 0,1 mm, tivesse a mesma resistência intrínseca que o grafeno, necessitaria de uma força de 20.000N para ser perfurada por um lápis.

O grafeno é um excelente impermeável, a sua malha é muito pequena para permitir a passagem de moléculas de água, é impermeável a quase tudo. Estas propriedades mecânicas resultam da grande estabilidade das ligações planares C-C da folha de grafeno (SANTOS, 2014).

## **8.1. Principais métodos de produção**

Até o momento, amostras de grafeno têm sido obtidas utilizando métodos de microesfoliação química, microesfoliação mecânica e deposição química a vapor. Cada uma dessas formas tem vantagens e desvantagens, em termos de facilidade de uso, qualidade e escalonamento (GUIMARAES, M. J. O. C., 2012).

### **8.1.1 Microesfoliação mecânica**

A síntese por microesfoliação mecânica não é tão suficiente e envolve a saída de camadas de um cristal de grafite. A energia de interação entre as camadas de grafeno na estrutura de grafite é da ordem de grandeza das forças de Van der Waals. Esta força é suficientemente fraca e pode ser facilmente atingida com o uso de uma fita adesiva para retirar essas camadas. A técnica é feita friccionando uma ponta afiada de vidro em micropilares de grafite e em seguida deposita-se o material obtido em um local desejado. Uma das vantagens dessa técnica é a possibilidade de escolher a localização da deposição do grafeno, e a principal desvantagem é que pode gerar resíduos de cola fita na amostra, para isso usa-se uma etapa de tratamento térmico de redução para retirar os resíduos orgânicos (SOLDANO, 2010).

### **8.1.2 Microesfoliação química**

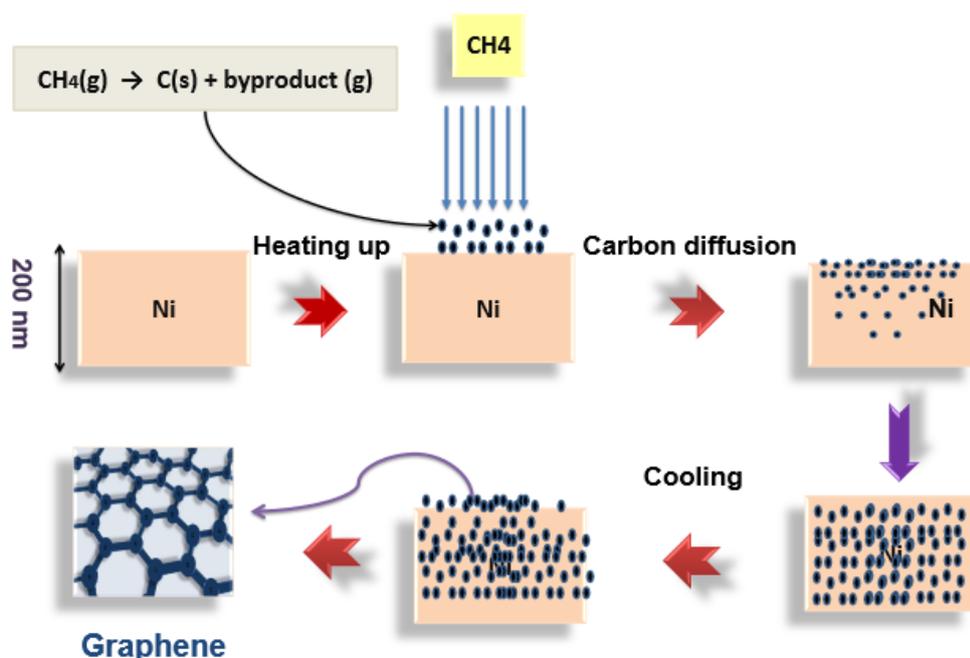
A microesfoliação química gera o enfraquecimento das forças de Van der Waals com inserção de reagentes no espaço entre as camadas. O uso desses reagentes proporciona uma sobrepressão com formação de gases provocando o rompimento parcial da rede  $sp^2$ - $sp^2$ , gerando uma folha  $sp^2$ - $sp^3$  com uma estabilidade inferior. A forma mais rápida e segura para a obtenção do óxido de grafite disperso é emergir grafite em uma mistura de ácido sulfúrico, nitrato de sódio e permanganato de potássio a 45°C por 2 horas (LAMMERT, 2009). O espaço entre as camadas chega a 0,70 nm e depende do teor de água em solução, essa técnica no final gera uma mistura mal definida de grafeno e óxido de grafeno. A desvantagem é a modificação química que acontece na estrutura

do grafite com a conversão de grande fração da configuração C-C  $sp^2$  em  $sp^3$ . E a diferença entre a microesfoliação química e a mecânica é que o óxido de grafeno obtido na química mostra diferentes propriedades eletrônicas, e para recuperar as propriedades específicas do grafeno é necessária uma etapa de redução química (FREIRE, 2012).

### 8.1.3 Deposição química a vapor

É o método mais antigo, usado desde 1970, se baseia na obtenção do grafeno diretamente através de substratos sólidos, são usados dois mecanismos diferentes: ou a decomposição térmica de carbetos, ou o crescimento suportado em substratos metálicos por deposição química a vapor. Como exemplo, o crescimento de grafeno em superfície metálica de níquel pela passagem de monóxido de carbono (SOLDANO, 2010). Este método é de baixo custo e produz dispositivos de alto desempenho, oferecendo uma alternativa capaz de produzir grafeno em grande escala (JESUS, 2012).

Figura 9- Método CVD (Deposição química a vapor)



Fonte: Consol Blog, (2014).

## 9. GRAFENO NO MUNDO E SUAS APLICAÇÕES

Atualmente há uma grande investigação e aprofundamento nas pesquisas e estudos sobre o grafeno, o foco destes estudos está no mercado dos últimos anos, apontando a produção em escala industrial de nanomateriais e aplicações em várias áreas como em comunicação, optoeletrônica, compósitos, biomedicina e sensores, energia, revestimentos e tintas, aeronáutica e automotivo, entre outras. Por possuir propriedades eletrônicas extraordinárias, o material oferece para o mercado de nanomateriais ótimas propriedades térmicas e mecânicas e alta condutividade, tais características fazem com que este material seja uma opção ao diamante e ao silício em aplicações de condutores transparentes, eletrodos flexíveis e transparentes para células de energia solar ou de cristal líquido, transistores de efeito de campo, ressonadores e sensores de pressão (JESUS, FREIRE, GUIMARÃES. 2012 apud. FRAZIER *et al.* 2009 e SOLDANO *et al.* 2010)<sup>3</sup>.

Diversas empresas no mundo vêm investindo no desenvolvimento de produtos com a utilização do grafeno em diversas aplicações. Entre elas pode-se citar algumas empresas e instituições, como exemplo, a Universidade Técnica de Munique na Alemanha, onde alguns físicos estão utilizando as propriedades do grafeno para a produção de uma retina artificial. Atualmente os implantes de retina são realizados através da conversão da luz incidente em impulsos elétricos que são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, e então acontece a conversão dos sinais em imagens, permitindo assim que pessoas cegas possam ver. Tais implantes foram desenvolvidos em 2013, muitas das vezes sem sucesso, pois o material é rejeitado pelo organismo. Agora com os estudos e pesquisas sobre o grafeno, descobriram que o material é significativamente mais biocompatível que os demais materiais usados para a produção da retina, devido à sua flexibilidade e durabilidade química (MARION, HASAN 2016 apud. CUTHBERTSON, 2014).<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Frazier RM, Daly DT, Swatloski RP, Hathcock KW. *Recent Progress in Graphene-Related Nanotechnologies. Recent Patents on Nanotechnology.* 2009, 3: 164-176.

<sup>4</sup> CUTHBERTSON, Anthony. *Graphene retinas could help give sight to the Blind.* 2014.

Figura 10- Retina Artificial



Fonte: Level Feed, 2017.

Já na América tem-se a empresa Lockheed Martin que está trabalhando para solucionar a dessalinização da água do mar por meio de uma patente do material *perforene* que nada mais é que uma solução de filtração molecular que foi criada para atender à crescente demanda global por água potável. O material é uma membrana de folha de grafeno que contém furos com tamanho de um nanômetro ou menor, os furos são bastante pequenos e capazes de reter o sódio, o cloro e outros íons a partir da água do mar, melhorando o fluxo das moléculas de água, evitando assim o entupimento e a pressão sobre a membrana, além de que a água também vai passar a fluir 100 vezes melhor do que os sistemas de osmose reversa, tornando o processo mais eficaz (MARION, HASAN 2016 apud. LOCKHEED, 2013).<sup>5</sup>

Na Ásia os cientistas do Instituto de Ciência e Tecnologia Gwangju na Coreia podem ter encontrado uma solução para os veículos elétricos de bateria que suportam a reutilização e recuperação de energia que geralmente é descartada quando os freios desaceleram o veículo. Eles criaram supercapacitores de alto desempenho de grafeno que armazenam quase a mesma energia que uma bateria de lítio, as baterias podem carregar e descarregar em 16 segundos e manter o ciclo de carga por 10.000 vezes sem

---

<sup>5</sup> LOCKHEED Martin. *Wanted: Clean Drinking Water*. 2013.

diminuição relevante da capacidade. Eles têm trabalhado e aperfeiçoado para que uma forma altamente porosa de grafeno possua uma grande área de superfície interna, os pesquisadores criaram esta forma de grafeno diminuindo as partículas de óxido de grafeno com hidrazina em água agitada com ultrassom (MARION, HASAN 2016 apud. MIT, 2013).<sup>6</sup>

A empresa Kibaram Resources junto com o Grupo 3D está avançando nas pesquisas para a aplicação do grafite e do grafeno no mercado de impressões 3D. Essa empresa está evoluindo rapidamente, com um crescimento de US\$ 3,8 bilhões em 2014 para US\$ 16,2 bilhões em 2018, o grafeno pode ser flexível e tem melhor condutividade elétrica que o cobre, tem potencial de expandir as aplicações de impressão 3D, e até mesmo dirigir uma nova revolução industrial (MARION, HANSAN 2016 apud. PROACTIVE, 2014)<sup>7</sup>.

O Brasil atualmente ocupa a nona posição no ranking das maiores economias mundiais (MARION, HANSAN 2016 apud. SANTOS, 2015)<sup>8</sup>. Porém há algumas iniciativas de universidades que querem mudar essa colocação e inserir o país no cenário da tecnologia. Um dos exemplos nacionais é o MackGrafe, que é um centro de pesquisas avançadas em Grafeno, nanomateriais e nanotecnologia que foi criado e teve investimento da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Suas atividades tiveram início em 2014, em São Paulo com uma verba de aproximadamente US\$ 15 milhões, com o objetivo de sintetizar o grafeno, caracterizá-lo e desenvolver dispositivos, com o foco principal em fotônica (MARION, HANSAN 2016 apud. MACKGRAFE, 2015).<sup>9</sup>

A UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) realizou um evento de nível internacional sobre o grafeno em 2010 que recebeu visitas de especialistas, cientistas e pesquisadores na cidade de Belo Horizonte. O “International Graphene Conference – Graphene Brazil 2010” foi promovido pela Universidade de Boston (EUA) e pelo Instituto Nacional de Ciência e

---

<sup>6</sup> MIT Technology Review. *Graphene supercapacitors ready for electric vehicle energy storage, say Korean engineers*. 2013.

<sup>7</sup> PROACTIVE Investors. *Kibaran resources inks MOU for graphene use in 3D printing*. 2014.

<sup>8</sup> SANTOS, Marcos. Brasil vai cair 2 posições para a 9ª maior economia , diz FMI. 2015.

<sup>9</sup> MACKGRAFE Mackenzie. Sobre.

Tecnologia (INCT) de Nanomateriais de Carbono e coordenando pela UFMG (MARION, HANSAN 2016 apud. UFMG, 2010).<sup>10</sup>

Com todas essas aplicações pode-se ver que são inúmeros os benefícios que o grafeno, interligado com as nanotecnologias irá gerar para a humanidade, desde a formação de grandes profissionais, desenvolvimento de novos processos e produtos, melhoria na qualidade de vida, materiais com novas propriedades até o desenvolvimento científico, econômico, social e tecnológico, e é por esses motivos que os estudos sobre nanotecnologia são extremamente importantes (MARION, HANSAN, 2016).

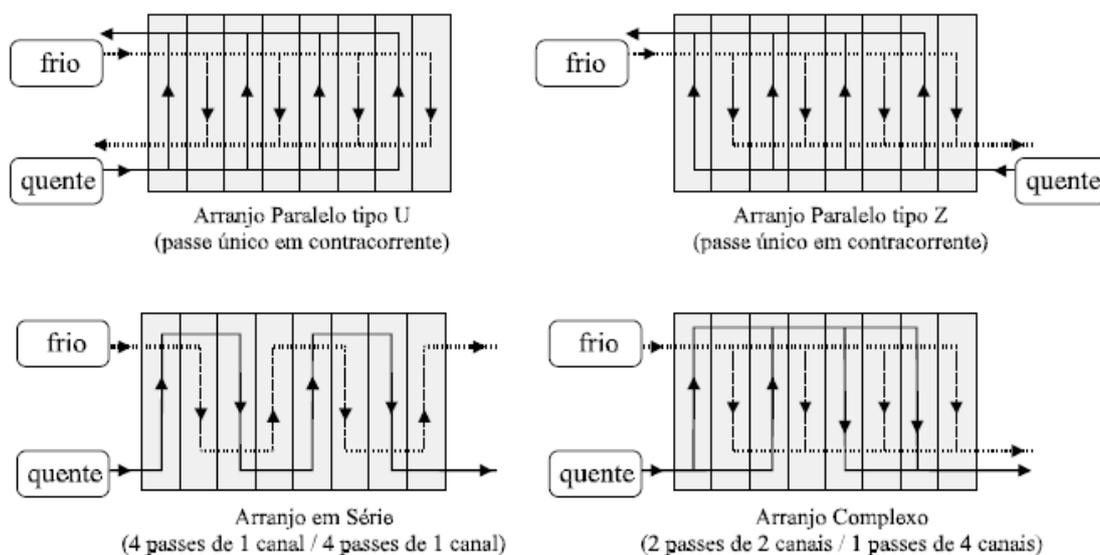
---

<sup>10</sup> UFMG. Evento internacional sobre grafeno reúne especialistas em BH. 2010.

## 10. TROCADOR DE CALOR DE PLACAS

Trocadores de calor são equipamentos com uma elevada área de troca térmica capazes de aumentar a troca de calor, fazendo com que o lado quente perca o máximo de carga térmica e que o lado frio a absorva com eficiência como mostrado na FIG.9. Nas indústrias existem diversos tipos de equipamento, entre eles podem-se citar os casco e tubos e o trocador de calor de placas. Atualmente os trocadores de calor de placas são muito utilizados nas empresas química, petroquímica, farmacêutica, alimentar, refinarias, plataformas de petróleo e plantas de geração de energia, isso devido à grande densidade de área por unidade de volume destes trocadores de calor, facilidade de abertura para limpeza e esterilização assim como a sua alta eficiência (CARLA FERNANDES 2007, et al. SOBRINHO, 2014).

Figura 11 - Exemplos de trocas térmicas em um trocador de calor com 8 canais.

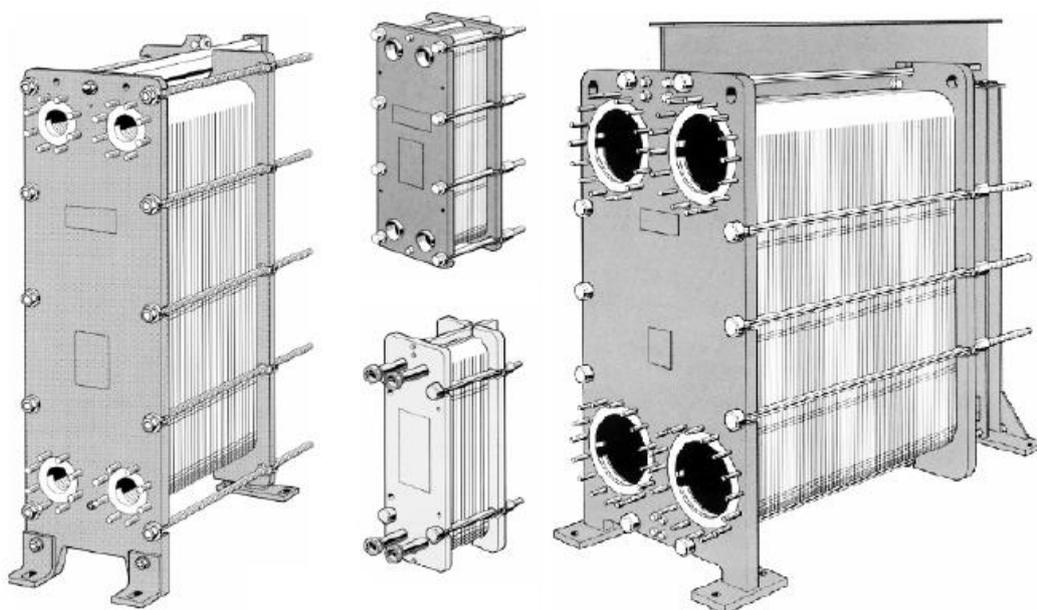


Fonte: Configurações ótimas para trocador de calor, (GUT,2003).

O trocador de placas com todas as suas características, se tornou um equipamento bastante usado para o resfriamento e aquecimento de fluídos. O primeiro trocador de placas veio da Alemanha em 1878, para a fabricação de vinagre, vinho, cerveja. Logo após a liberação para o uso para o

processamento de Leite na Inglaterra em 1941, teve sua evolução de placas simples e planas para placas prensadas em aço inox, enfeixadas com pressão, com guarnição e presas aos suportes de meta (MARTUCCI, 1976). Ele é constituído de várias placas finas metálicas corrugadas apertadas por parafusos em um pedestal. No meio de cada par de placas é usado um reforço chamado gaxeta para produzir canais de escoamento onde os fluidos quentes e frios poderão circular alternadamente, realizando a troca de calor (GUT, 2003). Na FIG-10 são mostrados alguns modelos de trocadores de calor.

Figura 12 - Modelos de Trocadores de Calor.



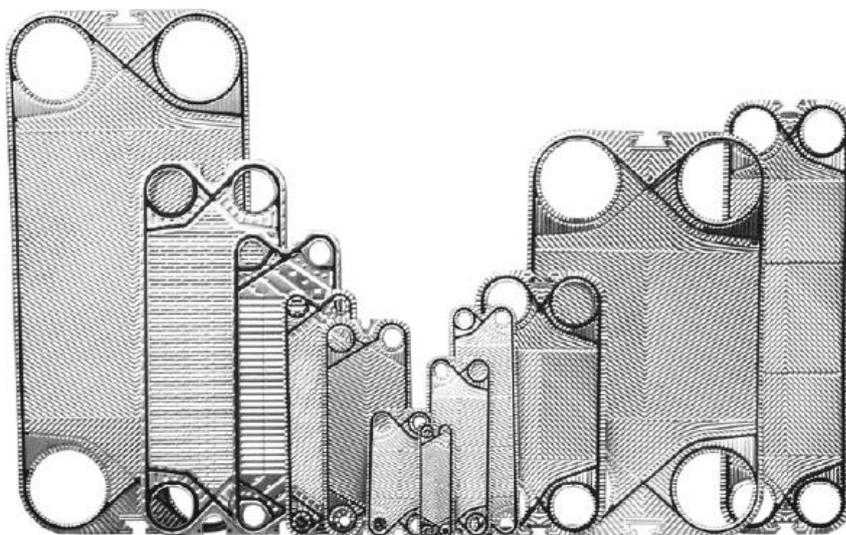
Fonte: Configurações ótimas para trocador de calor,(GUT, 2003).

As placas prensadas feitas de aço inox são constituídas da forma menos pesada para o trabalho. A maneira geométrica do canal de escoamento com diversas formas de corrugações e depressões, proporciona, mesmo a número de Reynolds menores, alta turbulência nos fluidos, quebrando o filme que interrompe a superfície de transferência de calor. Estes equipamentos podem ser facilmente modificados, as placas são de fácil remoção para limpeza, podendo diminuir ou aumentar a quantidade de placas com que se deseja trabalhar, podem realizar mais de uma tarefa em um só suporte, e ainda

forneem a mais adequada e produtiva forma de recuperao direta de calor (MARTUCCI, 1976) (GUT, 2003).

A FIG-11 apresenta as variedades de tamanhos e modelos de placas usadas para a fabricao de trocadores de calor.

Figura 13 - Variedades de tamanhos e modelos de placas usadas no trocador de calor.



Fonte: SEC, *Heat Exchangers*, 2002.

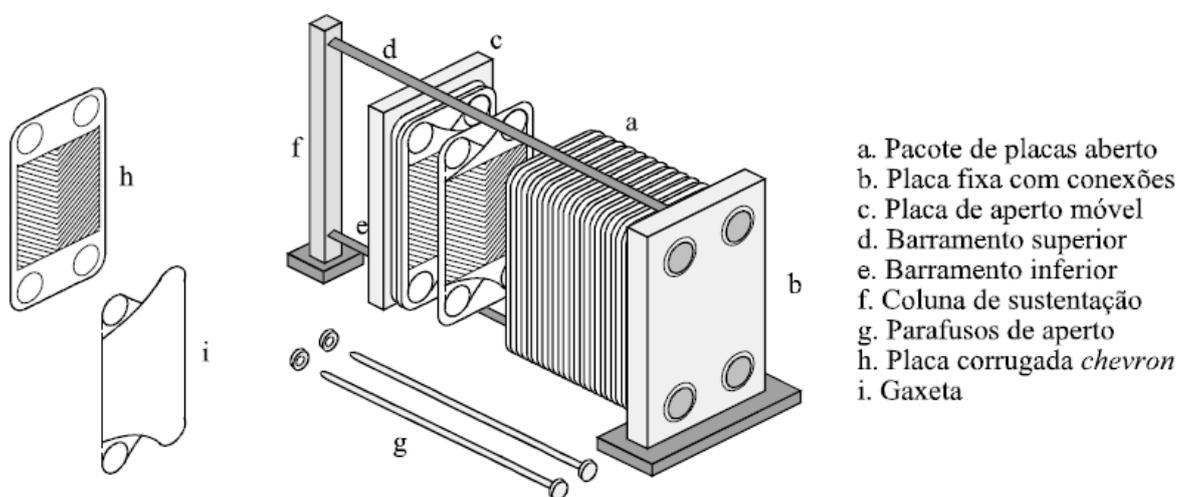
Como vantagens dos trocadores de calor a placas temos a flexibilidade. Tais equipamentos so muito flexveis, removendo-se ou adicionando-se placas eles podem ser redimensionados para outras condies de processo. Desse modo, a rea de troca trmica pode variar de 1 a 2500m<sup>2</sup> dependendo do tipo e tamanho das placas. Outra vantagem a economia de espao: este tipo de trocador de calor muito compacto e podem ser usados materiais mais nobres na sua fabricao, o que em outros trocadores de calor como o casca e tubos proibido. A facilidade de manuteno e limpeza representa outra

vantagem destes equipamentos por ser desmontável, é possível limpar e inspecionar as partes do equipamento. Por fim, eles apresentam ainda um alto rendimento térmico: são trocadores de alta eficiência térmica podendo ter diferença de temperatura de até 1°C. (GUT, 2003).

Entretanto o trocador de calor também possui algumas desvantagens, como as limitações na pressão suportadas por eles. Não suporta pressão superior a 1,5MPa, pois podem ocorrer vazamentos nas gaxetas. Para temperatura acima de 150°C é recomendado o uso de gaxetas especiais, pois o material de que são feitas as gaxetas não resistem a essa condição, alta perda de carga através das corrugações e o pequeno espaço de escoamento. Não são indicados para processos que envolvem gases e vapores devido ao espaço reduzido e a limitação de pressão. Podem ocorrer vazamentos nas placas através da fricção entre elas, podendo desgastar o metal e surgir pequenos furos de difícil posição. Outro ponto negativo é o dimensionamento que deve ser de acordo com o que a fabricante precisa, sendo que para cada determinado tipo de produção um trocador de calor é dimensionado de forma diferente, não tendo um produto padrão (GUT, PINTO 2003).

Na FIG-12 é possível ver as principais partes do trocador de calor a placas.

Figura 14 - Partes principais do trocador de calor a placas.



Fonte: Configurações ótimas para trocador de calor, (GUT, 2003).

O trocador de calor a placas é constituído de um pacote de placas corrugadas feitas de aço inoxidável, agrupadas e comprimidas em um pedestal feito de carbono. As placas são lacradas nas extremidades pelas gaxetas e contém furos de passagem nos quatro cantos, as placas são seladas formando uma sequência de canais paralelos por onde os fluídos circulam. A troca de calor acontece através das finas placas como mostra a FIG-11. As placas fixa e móvel contém bocais para a ligação das tubulações. As placas são produzidas a partir de metal laminado, conhecido como aço inoxidável AISI-316, possuem corrugações apresentadas na FIG-10 para que aconteça o aumento de turbulência do escoamento no canal e que produzem pontos de contato entre as placas para evitar que elas se curvem (GUT, 2003).

## 11. GRAFENO x AÇO INOXIDÁVEL AISI-316

Com o intuito de se verificar teoricamente a viabilidade da substituição do aço inoxidável por grafeno, fez-se uma comparação das propriedades destes dois materiais, como mostra a TAB-2.

Tabela 2 - Propriedades físicas e térmicas do Grafeno e do Aço Inoxidável AISI-326.

PROPRIEDADES	AÇO INOXIDÁVEL AISI-316	GRAFENO
Tensão de Resistência	620 Mpa	130.000 Mpa
Autoregeneração	Não	Sim
Elasticidade	2000 Pa	$10^{12}$ Pa
Condutividade Térmica	0.032 cal/s.cm.°c	11.9425 cal/s.cm.°c
Resistência à corrosão	Sim	Sim

Fonte: (SANCHES, 2009), (GONCALVES, 2014).

No tópico anterior pôde-se perceber que as placas que constituem o trocador de calor são produzidas a partir de aço inoxidável AISI-316, que é composto por ligas de carbono, com um teor de cromo de 10,5%, que é relativamente uma porcentagem muito baixa. O cromo atua na formação do óxido de crômio ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) (NERY, 2012). Os aços são conhecidos por sua excepcional resistência à corrosão generalizada e por possuírem propriedades mecânicas excelentes tanto a altas como a baixas temperaturas (MELLO, 2011). Na TAB. 2, pode-se verificar sua excelência em todos esses quesitos, pode-se perceber que o grafeno possui uma alta taxa de condutividade térmica, realizando uma melhor transferência de calor, o que no trocador de calor é de extrema importância. Em contrapartida pode-se perceber também que o grafeno, material em estudo, apresenta propriedades físicas e estruturais bastante interessantes e que podem ser voltadas a novas criações de sistemas. Um exemplo é ser usado aproveitando-se de suas propriedades supercondutoras e magnéticas (MARTINS, 2014).

O trocador de calor a placas possui desvantagens como não suportar a altas pressões, alta perda de carga, limitação de temperatura, e vazamentos nas placas (GUT, 2003). O grafeno poderia ser usado para minimizar essas desvantagens, pois além de conduzir melhor o calor entre os fluidos que vão ser utilizados no trocador de calor, ele pode suportar altas pressões e temperaturas. Além disso as características estruturais do grafeno concedem maior capacidade de suportar tensão do que o próprio diamante, material até então mais resistente do planeta e ele também pode conduzir eletricidade e calor melhor que o silício, além de ser leve, transparente e flexível (GONÇALVES et al. 2014).

Alguns estudos sobre nanotecnologia e trocadores de calor foram realizados, envolvendo a nanotecnologia de diferentes formas, segundo Ferreira 2015 é possível usar nanofluidos para a construção de um trocador de calor. A pesquisa teve como objetivo a utilização de nanofluidos de ouro em fluido base como líquido de arrefecimento, foi necessário modelo matemático para o desenvolvimento do trocador de calor e estudo de ferramentas para o estudo das características de transferência de calor existente nos nanofluidos. Foram realizados testes preliminares, com etileno glicol, água destilada, e nanofluido de ouro, contudo pode-se concluir que essas substâncias foram não conformes, mas despertou estudos e levantamentos de modificações que irão permitir a utilização do trocador de calor com nanofluidos. Outros estudos estão sendo realizados como a produção de nanocatalisadores, nanosensores, entre outros, que podem ser utilizados em prol de um trocador de calor, para que de alguma forma melhore seu desempenho.

Além dessa proposição, ainda são necessários outros estudos mais a fundo para comprovar a viabilidade dessa substituição, como por exemplo definir a espessura da folha de grafeno a ser utilizada no trocador de calor, a taxa de transferência, perda de carga, modelo matemático e vários outros estudos.

## 12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se perceber ao longo deste trabalho que o Grafeno veio para revolucionar diversos setores da indústria e que ele pode ser aplicado em diferentes áreas. O grafeno passa por um processo de pesquisa e desenvolvimento (P&D), mas já contém muitos pontos positivos, abrindo caminhos para a indústria farmacêutica, têxtil, biomédica, agrícola, tintas, eletrônicos e etc. As suas propriedades superam expectativas de cientistas e pesquisadores, despertando curiosidades do que o material veio proporcionar ao mundo nanotecnológico.

Muitas indústrias que produzem cerveja, leite, vinagres e outros fluidos utilizam o trocador de calor a placas, um equipamento excepcional e acessível financeiramente, porém este tipo de trocador apresenta alguns problemas. Neste trabalho propõe-se uma forma de como os fabricantes do equipamento podem resolver esses problemas, podendo liquidar a manutenção do equipamento, evitar os vazamentos, e ainda conduzir melhor o calor entre os fluidos em processo, e que pode resultar para as empresas um custo x benefício relativamente melhor, aumentando a produção e diminuindo gastos com limpeza, manutenção e vazamentos. O grafeno se manipulado da forma correta é um potencial substituto do aço inoxidável AISI-316. Apesar disso, mais estudos, teóricos e práticos, são necessários para se confirmar essa ideia.

Em contrapartida o processo de fabricação do grafeno ainda está sendo estudado pelos cientistas. Os cientistas estudam ainda a maneira como o grafeno poderá entrar no mercado.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Panorama Nanotecnologia**. Brasília, 2010.
- ALMEIDA, A. et al. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**, Rio de Janeiro – RJ, n. 25, p.89-97, 2015.
- BASTOS, R. M. P. **Nanotecnologia: uma revolução no desenvolvimento de novos produtos**. 2006. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) -Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2006.
- BERTO, M. I. **Modelagem matemática e simulação dinâmica de trocadores de calor de placas para o resfriamento de sucos de laranja natural e concentrado**. 2000. 110 p. Dissertação (mestrado)- Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas-São Paulo. 2000.
- BLANCO, M. **Química Orgânica I**. Fortaleza, 2011.
- BORGES, H. **Utilização de esponja de lã de aço comercial como catalisador para a síntese de nanotubos de carbono**. 2007. 167 p. Dissertação (Mestrado em Química)- Universidade Federal do Paraná.
- CESARINO, V. **Síntese de nanopartículas de prata suportada sobre nanotubos de carbono de paredes múltiplas para eletro-oxidação de benzeno**. 2011. 38 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Materiais) - Faculdade da Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2011.
- DIMER, F. et al. Impactos da nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos. **Química Nova**, Porto Alegre - RS, v. 36, n.10, p.1520-1526, out. 2013.
- FERREIRA, C. I. **Nanocompositos PP/ Grafite: obtenção e propriedades**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestre em ciências dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2008.
- FERREIRA, H. et al. Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise. **Química Nova**, Salvador – BA, v. 32, n.7, p.1860-1870, ago. 2009.
- FERREIRA, T. P.A. **Projeto e construção de um trocador de calor: uso de nanofluidos (nanopartículas de ouro em fluido base) como liquido de arrefecimento**. 2015. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015.

FEYNMAN, R. **Há mais espaços lá embaixo.** Caltech's Engineering and Science, 1960.

FILHO, C. R. C. **Os fulerenos e sua espantosa geometria molecular.**

Atualidades em Química, São Paulo, v.1, n. 4, p. 7-11, nov. 1996.

FRAZIER, R. M. Recent Progress in Graphene-Related Nanotechnologies.

**Recents Patents on Nanotechnology.**2009, v. 3, p. 164-176.

GONÇALVES, A. O. O. et al. **Introdução a nanotecnologia: Grafeno.** Serra – ES, 2014.

GUT, J. A. W. **Configurações ótimas para trocador de calor a placas.** 2003.

268 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da

Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

HONE, J. “**Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer grapheme**”. 450 p. 385-388. Columbia, 2008.

JESUS, K. A.; FREIRE, E.; GUIMARÃES, M. J. O. C. Artigo técnico. **Grafeno:**

**Aplicações e Tendências Tecnológicas**, Rio de Janeiro, v.1, n. 1, p. 14-19,

set. 2012.

LAMMERT, T.; ROZO, L.; WHITTIER, E. Graphene: material of the future, in review. **Optical Engineering**, p.10, 2009

MARION, B; HASAN, N. Grafeno: inovações, aplicações e sua

comercialização. **Interfaces científicas-exatas e tecnológicas**, Aracaju – SE,

v.2, n.1, p.29-40, fev. 2016.

MARTUCCI, E. T. **Estudo de transferência de calor em um trocador de**

**placas.** 1976. 57 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) -Faculdade

de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidades Estadual de

Campinas-UNICAMP, Campinas, 1976.

MEDEIROS, A. M. L. **Síntese e caracterização de nanopartículas de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

**através do método sol-gel proteico.** 2007. 99 p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia e Ciência dos Materiais)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza,

2007.

MELLO, L. S. **Estudo de corrosão localizada dos aços inoxidáveis em**

**sistemas de resfriamento industrial.** 2011. 70 p. Trabalho de Conclusão de

curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Escola Politécnica da

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MILCZEVSKY, O. **Estudo sobre conceitos e aplicações da micro e**

**nanotecnologia.** 2012. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista

em automação industrial)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba. 2012.

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA – ME, SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO – SGM, set. 2009, Belo Horizonte, 2009. NANOTECNOLOGIA, a manipulação do invisível: Centro ecológico. São Paulo, 2009.

NERY, F. V. **Avaliação de danos via ensaio de tração do aço inoxidável ferrítico AISI 444**. 2012. 72 p. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

PAYOLLA, F. B. As variedades alotrópicas do carbono. **Química Nova**, Araraquara, fev. 2014.

PEIXOTO, E. M. A. **Carbono**. Elemento químico, São Paulo, v. 3, n. 5, p. 34, mai. 1997.

SANCHES. L.P. **Estudo comparativo quanto á resistência à corrosão entre aços inoxidáveis utilizados em trocador de calor**. 2009. 50 p. Projeto de Formatura (Graduação de Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SERAFIM, R.A.C. **Desenvolvimento de aditivo têxtil com nanopartículas de prata e sua aplicação industrial**. 2010. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

SILVA, C.G. O que é nanotecnologia? . **Nanociência e Nanotecnologia**, São Paulo, nov.2002. Disponível em:<<http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/nanotecnologia/nano10.htm>>>.Acesso em: 3 Jun. 2017.

SIMOES, J. A. **O carbono**. Moléculas. Química. Vol. 47, p. 43-45, 1992.

SMANIOTTO, A. **Obtenção, caracterização e funcionalização seletiva de óxido de grafeno com espécies sulfuradas e fragmentos orgânicos**. 2015. 158 p. Tese de doutorado (Pós-graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOLDANO, C.; MAHMOOD, A.; DUJARDIN, E. **Production, properties and potential of graphene**. **Carbon**. 48, p.2127-2150, 2010.

SOUZA, Antônio Gomes. FAGAN, Solange Biotto. **Funcionalização de nanotubos de carbono**, São Paulo, v.30, n.7, p.1695-1703, set.2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS – FONSECA 2011. Agenda acadêmica. **Mini-curso: introdução as propriedades físicas e estruturais do grafeno e dos nanotubos de carbono**. Rio de Janeiro, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS ESCOLA DE VETERINÁRIA E ZOOTECNIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL, **Nanotecnologia aplicada à indústria de alimento: o uso de biossensores**, Goiânia, 2011.

VIEIRA, A. et al. **Inteligência artificial e nanotecnologia**. 2011. 15 p. Seminário- Faculdade de tecnologia de Guaratinguetá, Guaratinguetá. 2011.