

A versatilidade do carbono

Observe um lápis comum. É surpreendente imaginar que esse instrumento simples, que hoje se usa para escrever, em outras épocas já ocupou o topo d lista de ferramentas de alta tecnologia e absolutamente indispensáveis. Mas o fato ainda mais inesperado são as notícias de que, cada vez que alguém escreve com um lápis, as marcas que ficam no papel são formadas por pedacinhos do mais novo e cobiçado material da física e da **nanotecnologia**: o grafeno.

A palavra grafeno vem de grafita ou grafite, o “miolo” do lápis: um tipo de carbono puro formado por camadas de átomos empilhadas. A estrutura enfileirada da grafita foi desvendada há séculos e por isso é natural que os físicos e especialistas em ciências dos materiais venham tentando desde então laminar o mineral para estudar as propriedades das camadas que o formam. Grafeno é a denominação dada a uma dessas camadas. Ele é inteiramente formado por átomos de carbono ligados em uma rede de sucessivos hexágonos que formam um único plano, com apenas um átomo de espessura.

Durante anos, no entanto, todas as tentativas de produzir grafeno foram infrutíferas. Em 2004, foi então descoberto o grafeno, que se mostrava quimicamente estáveis nas condições normais de temperatura e pressão.

A descoberta experimental do grafeno despertou um interesse internacional avassalador por novas pesquisas. O grafeno não só é o mais fino de todos os materiais conhecidos, como também é extremamente duro. Além disso, na sua forma pura, conduz a eletricidade à temperatura ambiente melhor que qualquer outra substância. Engenheiros estão analisando esse material para determinar se pode ser fabricado na forma de subprodutos como os compostos superduros, telas inteligentes, transistores super-rápidos e até computadores de **ponto quântico**.

Enquanto isso, a natureza peculiar do grafeno em escala atômica está permitindo que físicos investiguem fenômenos que precisam ser descritos pela física quântica relativística. O grafeno permite que físicos experimentais testem as hipóteses da mecânica quântica relativística utilizando aparelhos de bancada em laboratórios.

A FAMÍLIA DO GRAFENO

Lembrando como o uso do lápis está disseminado no mundo todo é estranho que o material que se tornou conhecido como grafita não tenha tido papel preponderante nas antigas civilizações letradas da China e da Grécia. Foi assim até o século 16, quando os ingleses descobriram um grande depósito de grafita pura, então chamada de plumbago (“minério de chumbo”). Sua utilidade como marcador logo se tornou evidente, e os ingleses não perderam tempo em torná-la um substituto para a caneta de pena e o tinteiro.

Mas foi somente em 1779 que o químico sueco Carl Scheele mostrou que o plumbago era carbono, e não chumbo. Uma década depois o geólogo alemão Abraham Gottlob Werner sugeriu que a substância poderia ser chamada mais apropriadamente de grafita, derivada da

palavra grega que significava “escrever”. Enquanto isso, os fabricantes de munição descobriram que o material produzia um revestimento ideal na moldagem de balas de canhão.

Em décadas mais recentes a grafita vem recuperando parte de seu alto status tecnológico de outrora, enquanto os pesquisadores exploram as propriedades e as potenciais aplicações de várias formas moleculares de carbono, antes desconhecidas, que ocorrem em materiais grafíticos comuns.

A primeira delas, uma molécula com a forma de uma bola de futebol denominada buckyball, foi descoberta em 1985 pelos químicos americanos Robert Curl e Richard E. Smalley e o inglês Harry Kroto. Seis anos depois, Sumio Iijima, físico japonês, identificou as estruturas cilíndricas de átomos de carbono na forma de colmeias conhecidas como nanotubos.

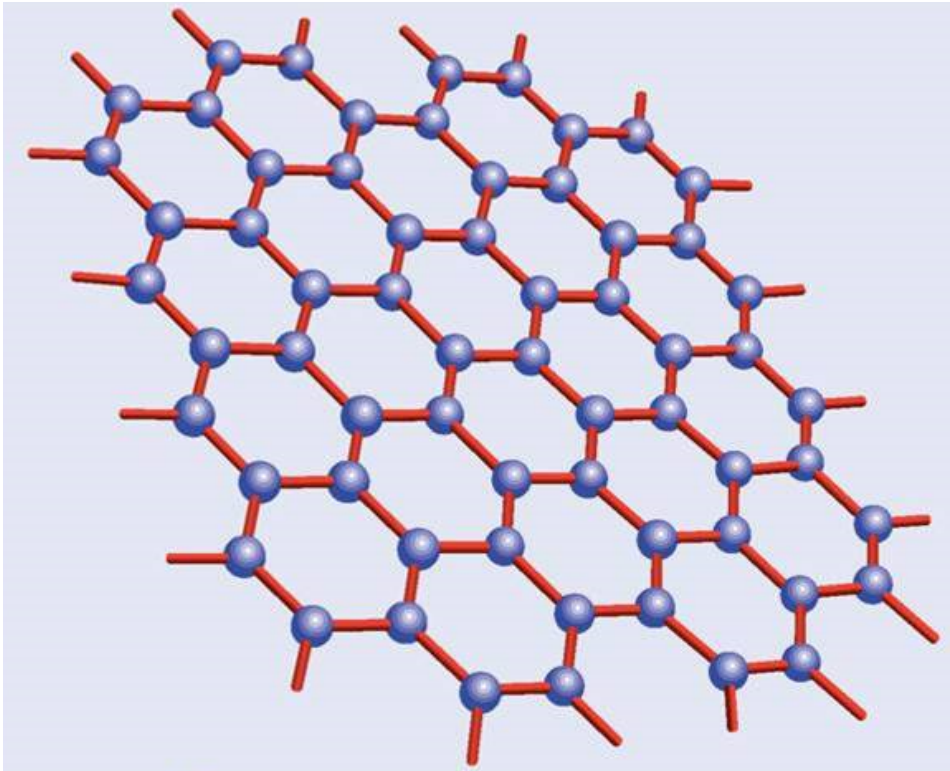
- nanotubos: cilindro formado por uma folha de grafite enrolado. Existem três importantes campos de pesquisa com nanotubos de carbono: o estudo químico das estruturas manométricas, suas aplicações biomédicas e na área de eletrônica.

Embora os nanotubos tivessem sido relatados por vários pesquisadores em décadas anteriores, não tinham recebido a devida importância. As duas novas formas moleculares foram classificadas como fulerenos – os termos fulereno e buckyball foram cunhados em homenagem ao arquiteto e engenheiro americano Buckminster Fuller, que estudou essas variedades antes mesmo da descoberta das próprias formas do carbono.

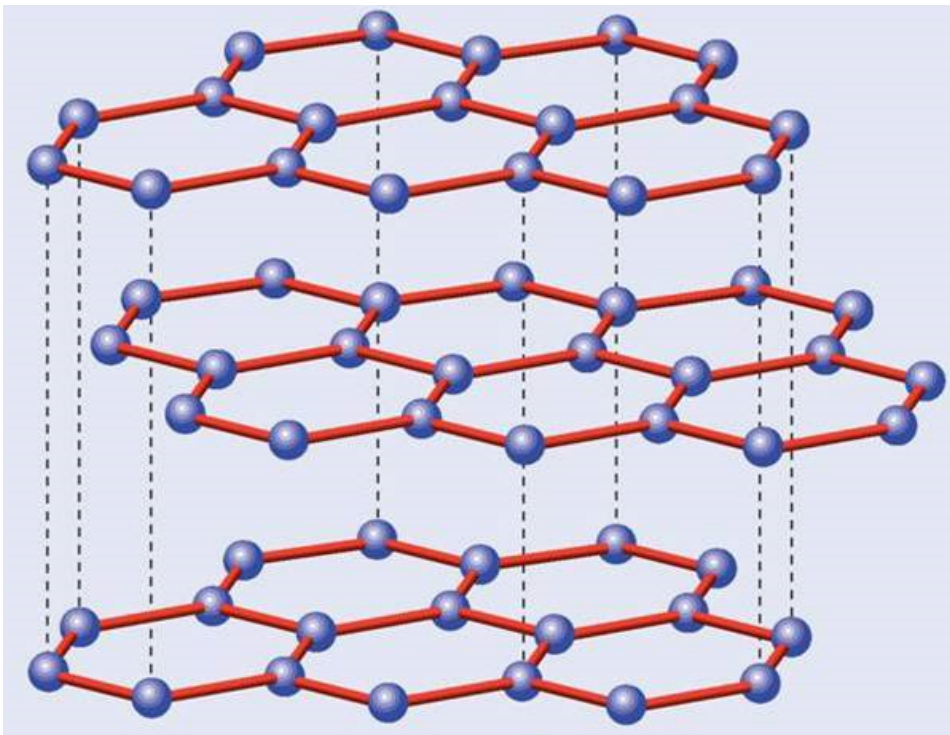
- fulereno: O número de átomos de carbono numa molécula fullerênica pode variar de 60 a milhares.

A mãe de todas as grafitas

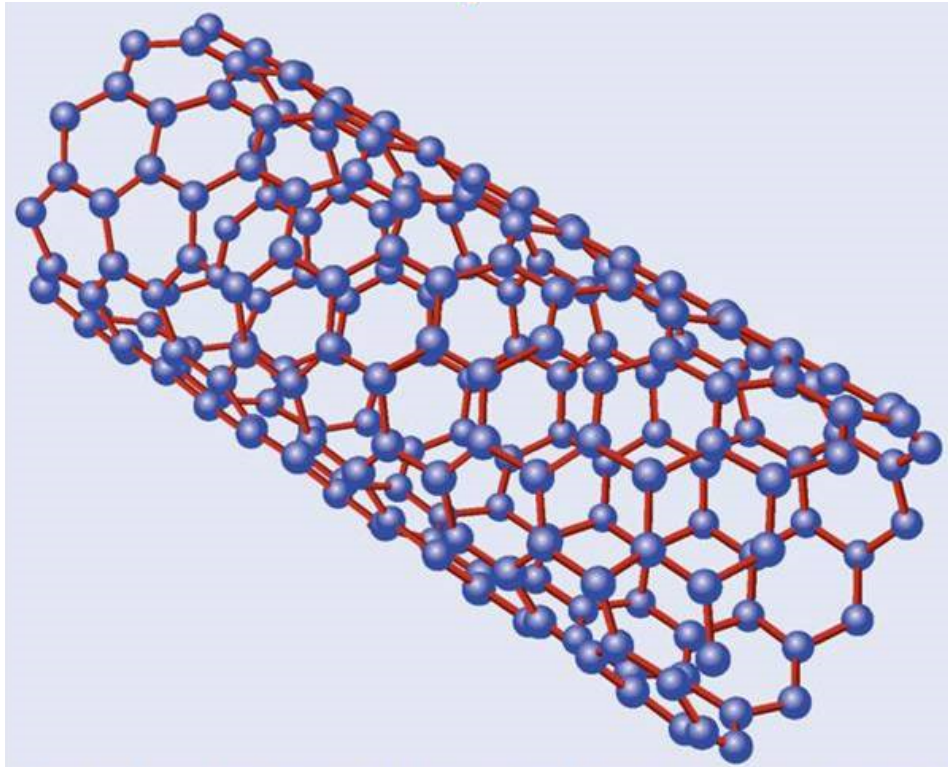
O grafeno, plano formado por átomos de carbono que se parece com tela de galinheiro, é uma peça básica da construção de todos os materiais “grafíticos” descritos abaixo. A grafita, o principal componente do miolo do lápis, é uma substância friável que parece um bolo com camadas de folhas de grafeno fracamente ligadas. Quando o grafeno é enrolado em formas arredondadas, surgem os fulerenos. Podem ser cilindros em forma de colmeia conhecidos como nanotubos de carbono, moléculas em forma de bola de futebol chamadas buckyballs, bem como várias outras formas que combinam essas duas formas.



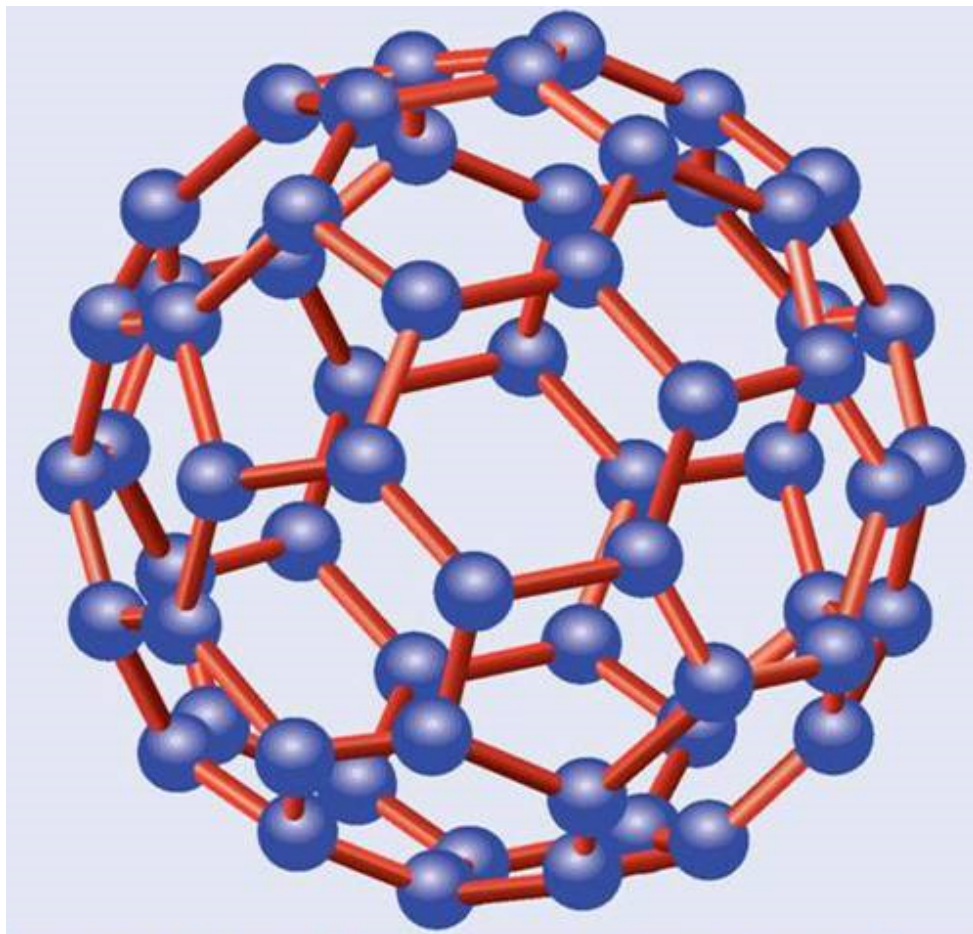
grafeno



grafita



Nanotubos de carbono



Buckyball

Tela de galinheiro molecular

Os átomos que formam a grafita, o fulereno e o grafeno têm o mesmo arranjo estrutural básico. Cada estrutura tem seis átomos de carbono fortemente ligados na forma de um hexágono regular – o anel de benzeno.

No nível seguinte de organização está o próprio grafeno, uma grande estrutura de anéis benzênicos unidos na forma de lâmina de hexágonos. Outras formas gráficas são compostas por grafenos. Pode-se imaginar as buckyballs e vários outros fulerenos não tubulares como folhas de grafeno enroladas em esferas, esferoides alongados e outras formas arredondadas em escala atômica. Os nanotubos de carbono são formados basicamente por folhas de grafeno enroladas em cilindros minúsculos. A grafita é formada por uma pilha grossa, tridimensional, de folhas de grafeno; as folhas são mantidas juntas pela ação de forças de atração intermoleculares chamadas **forças de Van der Waals** (interações muito fracas que atuam quando as moléculas estão bem próximas umas das outras). O fraco acoplamento entre folhas vizinhas de grafeno permite que a grafita seja facilmente quebrada em minúsculos grânulos que constituem a marca deixada no papel quando se escreve com um lápis.

Apesar de sua descoberta tardia, o fulereno sempre esteve presente. Ele ocorre, por exemplo, na fuligem que recobre as grelhas de churrasqueiras, embora em quantidades mínimas. Isso basta para termos certeza de que pedacinhos de grafeno estão presentes em todos os traços de lápis.

As buckyballs são notáveis principalmente como exemplo de um tipo praticamente novo de molécula, embora elas possam ter também importantes aplicações, principalmente no transporte de fármacos no interior do organismo. Os nanotubos de carbono combinam um conjunto de propriedades físicas incomuns – químicas, eletrônicas, mecânicas, ópticas e térmicas – que inspiraram uma grande variedade de aplicações potencialmente inovadoras. Essas inovações incluem materiais que podem substituir o silício em microchips e fibras que podem ser trançadas para formar cabos leves e super-resistentes. Apesar de o próprio grafeno fazer parte desses enfoques há apenas alguns anos, é provável que o material ainda possa oferecer novos caminhos para a física básica e aplicações tecnológicas.

Uma exceção excepcional

Duas propriedades do grafeno fazem dele um material excepcional: primeira, apesar das formas relativamente grosseiras como ainda está sendo produzido, sua qualidade é extremamente alta – resultante de uma combinação entre a pureza do seu conteúdo de carbono e a regularidade dos planos nos quais seus átomos de carbono se distribuem. Os pesquisadores não conseguiram detectar até agora um único defeito na estrutura atômica do grafeno – por exemplo, uma lacuna em alguma posição atômica no plano ou um átomo fora do lugar. A perfeita organização dos cristais parece originar-se das ligações interatômicas fortes, embora extremamente flexíveis, que criam um material mais duro que o diamante e ainda permitem que os planos do cristal se curvem quando submetido à ação de forças mecânicas. A flexibilidade possibilita que a estrutura seja bastante deformada antes que seus átomos precisem se organizar para suportar o esforço.

A qualidade de rede de cristais também é responsável pela condutividade elétrica extremamente alta do grafeno. Seus elétrons podem se deslocar sem serem desviados de seu caminho pelas imperfeições dos planos do cristal e átomos intrusos. Até as colisões com os átomos de carbono das vizinhanças, que os elétrons do grafeno precisam enfrentar à temperatura ambiente, são relativamente pequenas, devido à força de coesão das ligações interatômicas.

A segunda característica excepcional do grafeno é que seus elétrons de condução, além de viajarem totalmente desimpedidos através dos planos do cristal, deslocam-se muito mais rápido, como se tivessem menos massa que os elétrons que perambulam a esmo nos metais comuns e nos semicondutores. De fato, os elétrons do grafeno – talvez um termo mais apropriado seria “portadores de carga elétrica” – são entidades que vivem em um mundo maluco onde regras análogas às da mecânica quântica relativística desempenham papel preponderante. Até onde se sabe, esse tipo de interação dentro de um sólido é típica do grafeno.

É muito cedo para fazer uma avaliação completa das inúmeras aplicações tecnológicas do grafeno. Porém, mais de uma década de pesquisas sobre os nanotubos de carbono – grafeno enrolado – colocou o grafeno na vanguarda das pesquisas. Não é exagero pensar que praticamente todas as aplicações viáveis previstas para os nanotubos também podem ser aplicadas ao seu primo plano. Indústrias de alta tecnologia estão investindo em algumas aplicações comerciais. Para atender à demanda será necessário produzir grafeno em escala industrial, e vários grupos de pesquisa tecnológica já estão empenhados no desenvolvimento de técnicas aprimoradas de produção. Embora o pó de grafeno já possa ser produzido em quantidades industriais, o grafeno em folhas ainda é difícil de ser produzido e deve estar entre os materiais mais caros do planeta. Hoje, um pequeno cristal de grafeno separado micromecanicamente, menor que a espessura de um fio de cabelo, custa mais de US\$ 1mil. Grupos de pesquisa na Europa e em diversas instituições americanas – o Georgia Institute of Technology, a University of California, a Berkeley University e a Northwestern University, entre outras – desenvolveram o crescimento de películas de grafeno em placas de carboneto de silício similares às comumente encontradas na indústria de semicondutores.

Enquanto isso os engenheiros do mundo todo estão se esforçando para explorar as propriedades físicas e eletrônicas do grafeno. Sua alta relação superfície-volume, por exemplo, poderia torná-lo muito útil na manufatura de materiais compostos robustos. A espessura extremamente fina do grafeno também poderia levar a emissores de campo mais eficientes – dispositivos em forma de agulha que liberam elétrons na presença de campos elétricos intensos.

As propriedades do grafeno podem ser ajustadas mediante a aplicação de campos elétricos, que permitiriam a construção de supercondutores e de transistores magnetoelétrônicos – sensores de campo magnético – mais sofisticados, assim como detectores químicos supersensíveis. Filmes finos produzidos de camadas superpostas de grafeno parecem promissores quando utilizados como um revestimento transparente e condutor em telas de cristal líquido e células solares. Esperamos que algumas aplicações possam atingir vários nichos do mercado em poucos anos.

Uma direção a ser seguida pela engenharia merece destaque: a eletrônica baseada em grafeno. Neste material, os portadores de carga se movem com alta velocidade e perdem relativamente pouca energia no espalhamento ou colisões com átomos do plano do cristal. Essa propriedade poderia permitir a construção de transistores balísticos, dispositivos de frequência muito alta que têm uma resposta bem mais rápida que os transistores atuais.

O que quer que o futuro nos reserve, é quase certo que o mundo maravilhoso com um átomo de espessura permanecerá no foco das atenções pelas próximas décadas. Os engenheiros continuarão a trabalhar para introduzir novos subprodutos inovadores no mercado, e os físicos, a testar suas propriedades quânticas exóticas. Mas realmente fascinante é perceber que toda essa riqueza e complexidade permaneceram escondidas durante séculos em cada feito por um lápis comum.

*Baseado no artigo Scientific American Brasil – Aula Aberta. Ano II – nº08 – 2011 – p.24-31.

Por que estudar o carbono?

O carbono ocupa uma posição especial na Natureza, pois é o sexto elemento mais abundante no Universo, e toda a vida que conhecemos é baseada nesse átomo. Elemento tetravalente, o carbono é capaz de estabelecer fortes ligações com diferentes elementos químicos e também apresenta a habilidade de formar extensos encadeamentos de átomos de carbono como nenhum outro.

Até 1985, conheciam-se duas de suas formas alotrópicas: o grafite e o diamante. O grafite, presente no lápis, é considerado a forma mais macia do carbono. A aplicação mais conhecida do grafite é a de mina para lápis, porém há várias outras, tais como lubrificante, cátodo de baterias alcalinas, escovas de motores elétricos, fabricação de material refratário. Já o diamante, usado na fabricação de joias, é muito duro, característica que o torna ideal para riscar e cortar materiais como o vidro.

Em 1985, o inglês Harold W. Kroto e os americanos Robert F. Curl e Richard E. Smalley relataram a descoberta de mais uma forma alotrópica do carbono, sendo a primeira molecular: o buckminsterfullereno (C_{60}). O número de átomos de carbonos numa molécula fullerênica pode variar de 60 a milhares, formando hexágonos e exatamente 12 pentágonos. A exploração de suas propriedades fotofísicas e eletroquímicas pode se provar útil.

Vários tipos de material inorgânico de grande interesse tecnológico são baseados no átomo de carbono como o grafite, o diamante, os fulerenos, os nanotubos de carbono e mais recentemente o grafeno. Portanto, nos últimos 20 anos a comunidade científica tem dedicado muita atenção aos materiais inorgânicos baseados no carbono.

O grafeno apresenta propriedades excepcionais como, por exemplo, alta resistência mecânica, bom condutor de eletricidade, e promete revolucionar o mundo da eletrônica,

permitindo o desenvolvimento de computadores, telas sensíveis ao toque e painéis solares mais flexíveis e eficientes. Esse material é capaz de transportar calor de maneira altamente eficiente e, portanto, permite construir transistores que ultrapassam a rapidez dos transistores clássicos de silício.

TRABALHO 3º BIMESTRE – Sophomore High – ENSINO MÉDIO

OBJETIVO: Colaborar para o desenvolvimento do aluno, tornando-o capaz de organizar seu próprio material, questionar propostas, sugerir alternativas, criticar e reconstruir argumentos. A proposta valoriza o conhecimento prévio dos alunos e possibilita a evolução de conceitos.

1. Conhecer o tema

- Leitura do texto: Os grupos fazem a leitura do artigo e formulam 6 questões e na sequência escolhem quatro ideias que joguem principais no artigo.

2. Discutir

3. Pesquisar sobre o tema

- Em grupos **pesquisar a respeito do emprego dos nanotubos na medicina e no tratamento de águas contaminadas**. Cada grupo deverá pesquisar pelo menos um artigo em revistas ou jornais que apresente a aplicação dos nanotubos de carbono na medicina ou no tratamento de águas contaminadas por metais pesados.

- Essa pesquisa será socializada por meio de apresentação de uma síntese do tema. Após as apresentações cada grupo deverá **construir um texto sobre a importância da aplicação dos nanotubos de carbono**. Destaca-se a relevância de conhecer a aplicabilidade dos materiais bem como o desenvolvimento da nanotecnologia.

4. Estudar as formas alotrópicas do carbono

- Elencar (apontar) **três características do diamante, do grafite e do fulereno, construindo um quadro para registrar as características citadas por cada um**, propondo que estabeleçam as diferenças entre as três formas alotrópicas do carbono.

5. Identificar o elemento

- Identificar as características do carbono de acordo com a sua localização na Tabela Periódica, procurando argumentos para **responder as seguintes questões:**

a) Qual o material utilizado na construção dos transistores (elementos básicos de todos os circuitos eletrônicos)?

b) Que material poderia substituí-lo?

- Aprofundar o estudo sobre as **características dos elementos carbono e silício bem como suas semelhanças e diferenças**, elaborando um pequeno texto.

6. Elaborar a apresentação escrita

- Individualmente **elaborar um texto argumentativo (de 20 a 30 linhas) sobre o tema: “Nanotecnologia: futuro?”**. Destacar o papel relevante do exercício da escrita para organizar os argumentos construídos pelos alunos.

7. Elaborar a apresentação para mídia eletrônica

- **Produção de um blog sobre o carbono**, com textos escritos ou vídeos elaborados pelos alunos, em que todos participem com pelo menos um comentário sobre o texto ou vídeo do colega, de forma a ampliar sua argumentação e seus questionamentos sobre o tema.

8. Elaborar um modelo tridimensional

- **Construir um modelo tridimensional da molécula de fulereno chamada buckyball**, utilizando materiais diversos (papel cartão, papelão, massa de modelar e canudo de refrigerante, etc) observando os modelos em anexo neste texto.