**HÁ MUITO ESPAÇO LÁ NO FUNDO**

**... ATÉ AO GRAFENO!**

Esta é uma frase “visionária” de **Richard Feynman** (mais tarde prémio Nobel da Física), proferida em 1959, há portanto mais de 50 anos, numa conferência em Caltech, e em que este se refere à miniaturização, imaginando como imprimir toda a Enciclopédia Britânica… ou mesmo todos os livros do mundo (que avaliava em 24 milhões, na altura) na cabeça de um alfinete.

Neste texto, contudo, vou considerar este “espaço” num duplo sentido: primeiro, como sendo o do questionamento da Ciência (quanto à sua neutralidade e objectivos, e às suas dúvidas); na segunda parte, no sentido literal que o próprio Feynman lhe deu, caminhando para as “coisas” infinitamente pequenas, ou nanoscópicas, com alguns exemplos actuais.

1. **Questão prévia: o que é a Ciência?**

Vou referir, a partir de um livro de Jorge Buescu (“O mistério do BI e outras histórias”, Ed. Gradiva), o *critério da falsificabilidade de Karl Popper* para definir o que é a Ciência: ***uma teoria é científica se e só se é falsificável***. Ou seja, “*nunca se pode provar se uma teoria científica é verdadeira – a única afirmação lógica que se pode fazer, em resultado de uma experiência, é a de que bate certa com as previsões, ou seja, nos limites em que foi testada, adequa-se à realidade, é um bom modelo. Mas pode-se provar que é falsa, se um teste der resultados contrários às suas previsões. Por exemplo, a mecânica newtoniana é um bom modelo para escalas não microscópicas, velocidades baixas relativamente à da luz e campos gravitacionais pouco intensos. Para além destes domínios, teremos a teoria quântica, e as da relatividade restrita e geral*”. Isso distingue-a de pseudociências como a astrologia (que não formula previsões precisas que possam ser invalidadas), ou do episódio caricato ocorrido há vinte anos sobre a chamada “fusão fria”, que sempre se furtou à habitual avaliação pelos pares (“*peer-review*”).

Podemos ainda referir as palavras de Feynman: “*O princípio da Ciência é, por definição, o seguinte: o teste de todo o conhecimento é a experiência. Esta é o único juiz da “verdade” científica. Mas qual é a fonte do conhecimento? Donde vêm as leis que devem ser testadas? A experiência ajuda a produzir essas leis, no sentido de que nos fornece pistas. Mas é preciso imaginação para criar, a partir dessas pistas, as grandes generalizações… e experimentar de novo para verificar se adivinhamos da maneira correta. O processo imaginativo é tão difícil que existe uma divisão do trabalho em Física: há os físicos teóricos, que imaginam, deduzem e adivinham as novas leis, mas não experimentam; e há os físicos experimentais, que experimentam, imaginam, deduzem e adivinham!...*”

1. **A Ciência em questão**

Começo por uma citação (que retirei de uns textos “A Ciência e o Ensino”, da AAC, 1977): *“Enfim, que aspecto teríamos nós, homens de Ciência, se déssemos o lamentável espectáculo da dúvida, da incerteza e da indecisão”.*

Queria aqui discutir vários aspectos da “neutralidade política” da Ciência, o seu “valor moral e social intrínseco”, as formas (e tabelas de valoração) do seu “progresso”, a sua criação/divulgação/interacção com o chamado “público-em-geral”. Este texto constitui assim a antítese da frase acima citada, na qual não me revejo, e será sobretudo um arrazoado de dúvidas, reflexões, algumas certezas também, e uma certa “paixão” por aquilo que constitui uma parte nada desprezável da minha existência como ser pensante: a Ciência que eu vou também fazendo.

Ainda hoje é muito vulgar a ideia de que a Ciência em si, e em abstrato, é intrinsecamente boa (o chamado “progresso”) embora se reconheça que alguns a possam distorcer, e dar-lhe finalidades condenáveis. Fazer pensar a um físico que pode ter tomado parte (activamente ou por omissão) na opressão de uma parte da humanidade é algo que, em geral, ele recusará, não vendo qualquer relação disso com os átomos ou raios X que vai estudando e ensinando. Um exemplo pode explicar melhor o que pretendo dizer: as bombas de fragmentação, muito utilizadas na guerra do Vietname (mas não só), eram constituídas por estilhaços que, quando a bomba explodia, se espalhavam e destruíam tudo, numa área equivalente à de um campo de futebol. Inicialmente os fragmentos eram metálicos, detectáveis nos hospitais graças aos raios X. Entretanto “alguém” – forçosamente um cientista – concebeu um novo tipo de estilhaços, em plástico, de densidade tal que os raios X não os conseguiam detectar, e cujas formas “otimizavam” o efeito mortífero e de destruição. Ou seja, na minha opinião, *“uma aplicação direta dos princípios fundamentais da Física à realização do genocídio”*! E na História existem infelizmente muitos mais exemplos, desde as famosas “experiências” dos médicos nazis sobre os prisioneiros dos campos de concentração, à otimização dita “científica” da chamada “solução final” nas câmaras de gás, para só citar as colaborações de cientistas mais abertamente aberrantes e paranóicas! E não é porque desenvolver o estudo de substâncias indetetáveis por raios X, ou melhorar o conhecimento do funcionamento do corpo humano, não possam ser uma atividade científica perfeitamente válida e importante… O que os cientistas que trabalharam nesses projectos não podem esquecer é a finalidade com que estes foram desenvolvidos… que está longe de ser inocente… ou de os inocentar!

Portanto, o que está em questão, são os **objetivos** com que se desenvolvem determinados estudos para melhor compreensão do mundo em que vivemos. Conhecer melhor a realidade e dominá-la, técnica e cientificamente, é com certeza um valor positivo… que se torna eventualmente duvidoso quando algumas “escolhas” forem impostas. Voltando ao Feynman: *“Todos sabem que a primeira forma de a Ciência ter valor é que o conhecimento científico nos permite criar toda a espécie de coisas. Se as fazemos boas, não é exclusivamente por mérito da Ciência, intervém a opção moral que nos conduziu até lá. O conhecimento científico é uma capacidade que nos permite realizar o bem ou o mal – mas não traz instruções para uso! Essa capacidade possui um valor evidente, embora possa ser negado pelo uso que se lhe dá”*  (R. Feynman, “Nem sempre a brincar, Senhor Feynman”, Ed. Gradiva). Ou ainda, segundo um provérbio budista, “*A cada homem é dada a chave das portas do céu, mas a mesma chave abre as portas do inferno*”.

Pode-se pensar que a Ciência, não só enquanto processo do conhecimento, no sentido filosófico, como também enquanto construção do conhecimento, no sentido social, evolui de uma forma mais ou menos regular e “independente”. Nada mais errado! A sua evolução é muitas vezes errática, a partir de aspectos acidentais, por desenvolvimento, ou então em rutura total com os modelos anteriormente aceites… muito longe de qualquer lógica cartesiana de descoberta dedutiva! Mas vejamos então as condicionantes do “progresso da Ciência”.

E a primeira dúvida, desde logo, é o que é o “progresso”: a indústria siderúrgica da Europa Central é progresso? (*Que opinião terão sobre este assunto as florestas de acácias da Alemanha, destruídas pelas chuvas ácidas?...*) Melhorar a captura dos peixes na pesca industrial, sê-lo-á? (*E que dirão as costas onde os peixes de certas espécies desapareceram, por exploração intensiva dos barcos espanhóis e soviéticos?...*) A produção de energia nuclear, mais barata, é progresso? (*E Three Miles Island, Tchernobyl, ou mais recentemente Fukushima, serão apenas ficção… à custa de milhares de vítimas?!...*)

Em segundo lugar, a investigação científica, na actual fase de “progresso”, não se faz sem os muito necessários dólares (ou euros)… mas que só são fornecidos após estudos sobre as prioridades de desenvolvimento da investigação, os programas propostos e os respectivos objetivos. Ora se os Programas Quadro, no apoio à investigação, privilegiam certas áreas em detrimento de outras, em geral com subalternização da investigação fundamental e das áreas das ciências sociais e humanas... há aqui ou não um modelo de desenvolvimento e uma escolha de sociedade?

 **3. As dúvidas em Ciência…**

Mas retomemos uma citação do Feynman: *“O cientista possui imensa experiência da ignorância, da dúvida e da incerteza, e esta experiência reveste-se de uma enorme importância, em meu entender. Quando um cientista não sabe a solução de um problema, é ignorante. Quando tem um palpite quanto ao seu resultado, é inseguro. E quando está absolutamente convencido de qual vai ser o resultado, ainda tem algumas dúvidas. O conhecimento científico é uma série de afirmações de diversos graus de certeza, algumas bem inseguras, outras quase seguras, mas nenhuma absolutamente certa. Nós, cientistas, já estamos habituados a isto, e achamos que é perfeitamente congruente estar inseguro, que é possível viver e não saber. Mas desconheço se todos terão consciência desta verdade. A nossa liberdade para duvidar e não ter certezas nasceu de um conflito com a autoridade, nos primeiros tempos da Ciência. Foi um conflito muito profundo e muito forte e creio que é importante não esquecermos este conflito… para não perdermos de novo aquilo que conquistamos. Reside aí a nossa responsabilidade com a sociedade. Como cientista, cabe-me a responsabilidade de estar a par do enorme progresso que advém do grande valor da filosofia da ignorância e do progresso que essa filosofia tornou possível, e que é fruto da liberdade de pensamento. Tenho a responsabilidade de proclamar o valor dessa liberdade e de ensinar que não devemos temer a dúvida, mas antes devemos acolhê-la como a possibilidade de um novo potencial para os seres humanos. Se sabemos que não temos a certeza, temos a possibilidade de melhorar a situação.* *Quero essa liberdade para as gerações futuras. ”* (R. Feynman, “O significado de tudo”, Ed. Gradiva).

 Ou seja, os cientistas constituem a classe dos profissionais da dúvida, do “pôr-em-questão” permanente… da ânsia de descobrir… novas incertezas!... E, como tal, o cientista que se preze tem de ser um eterno irreverente, contestar tudo o que parece inquestionável, não aceitar peias nem amarras de qualquer espécie, ser um eterno “advogado do diabo”… dos outros e de si próprio! É esta também a condição do progresso da sociedade.

É a isto que se chama “liberdade académica”, definida pela UNESCO (na Recomendação de 1997) como o *“direito de ensinar e discutir livremente, sem restrições ou doutrina prescrita, de desenvolver investigação e de divulgar e publicar os resultados, a liberdade de exprimir opinião sobre a instituição ou o sistema em que se trabalha, livre de censura institucional, bem como a liberdade para participar como representante profissional ou académico”.*

Esta é uma condição fundamental para o desenvolvimento científico (e não só!). Mas ao longo da História (e mesmo ainda hoje) não faltam exemplos conhecidos de tentativas de domínio ideológico dos cientistas, vindas dos poderes religiosos, militares ou políticos... ou mais simplesmente dos poderes de um “mandarinato académico” instalado em muitas instituições. **Mas só a liberdade é verdadeiramente criativa!**

Não sendo a Ciência feudo de ninguém, vinha convidar todos para aprenderem/criarem, interativamente, mais um bocadinho desta Ciência… a virem partilhar connosco esta grande aventura! Porque o chamado “público-em-geral” também cria Ciência, quando cria um engenho que poupa trabalho, ou quando imagina modos de aproveitar ou poupar energia, etc.. Um cientista tem a particularidade feliz de ser um profissional de fazer Ciência e a divulgar (ou seja, tornar acessível a todos, a quem se destina, afinal!). E a Ciência só faz sentido se partilhada, comunicada – entre todos os cientistas de todos os países… e a toda a gente… Qual seria o sentido de termos uma belíssima 9ª sinfonia de Beethoven… que nunca tivesse sido tocada? E há belíssimos “amadores” a fazerem música, tal como os profissionais… e a Música… e a Ciência, não deixam de ser de todos! Então deixe a sua cadeira cómoda, frente ao televisor que lhe passa programas de divulgação científica aos pacotes – alguns deles belíssimos! – e venha daí até aos nossos laboratórios e centros de Ciência… ajudar a fazer essa Ciência connosco!

Dentro do possível, é assim que tento encarar as aulas que vou dando! Com que sucesso… os meus alunos o dirão.

1. **Alguma Física do “Infinitamente Pequeno”**

Assumindo-me então agora como físico, e retomando o sentido literal da frase do título, vou tentar concretizá-la com alguns exemplos simples e recentes.

O conhecimento da estrutura atómica de constituição da matéria é certamente um dos maiores avanços de toda a história da Física e da Química. E um átomo é tão pequeno que teríamos de alinhar mais de um milhão para obtermos um milímetro! (E o núcleo, onde se situa praticamente toda a massa, ocupa apenas uma parte em mil biliões do volume do átomo… “*uma cabeça de alfinete num campo de futebol*”, costumo referir aos meus alunos!). [Aqui convém fazer uso duma técnica que os físicos e os matemáticos usam para estes números muito grandes, ou muito pequenos: colocam tudo em potências de 10, e o expoente permite conhecer o número de zeros! No caso anterior, mil biliões são 1015 , ou seja, quinze zeros à direita de 1]. E os átomos num sólido estão de tal modo concentrados (algo como 1022 em cada centímetro cúbico) que, se um computador estivesse a contar, a uma velocidade de um milhão por segundo, os átomos que preenchem a cabeça de um alfinete, necessitaria de um tempo de contagem superior à duração do Universo (que é de cerca de 13 mil milhões de anos)!

O estudo destas “pequenas coisas” (ou partículas) continuou, desde praticamente o início do século XX:

* (a descoberta d)o eletrão (Thompson) tem 115 anos;
* (a descoberta d)o núcleo (Rutherford) tem 101 anos;
* o modelo atómico de Bohr (com a quantificação) tem 99 anos;
* a supercondutividade (Kammerling Onnes) tem 101 anos; etc...
* esta última é relevante porque mostra que há mais de 100 anos que já se dominava a tecnologia necessária para atingir temperaturas tão baixas como 4.2 K (cerca de -269ºC), temperatura de vaporização do He líquido

Se falamos de “coisas ainda mais pequenas” – algo como 100 000 vezes numa direção, ou 1015 em volume temos ainda:

* (a descoberta d)o neutrão (Chadwick) tem 80 anos;
* a formulação da interação forte (Yukawa) tem 78 anos;
* ... e mesmo a *cromodinâmica quântica* data da década de 70

(tem 40 anos)... ou o estabelecimento do *modelo standard*...

(de que terá falado a Prof. Conceição Abreu)...

Vou-me manter na escala “**nanométrica**” (ou ligeiramente abaixo), ou seja, dos ***átomos*** e dos seus agregados (*moléculas*, *cristais*, etc.). Este é, pelas dimensões e energia envolvida, o mundo dos químicos – que se dedicam a “encaixar” e “desencaixar” átomos... por vezes em grandes quantidades (a que chamam “moles”!); este é também o mundo dos físicos do estado sólido (ou dos materiais), em que me incluo:

* estudaram-se no início sobretudo cristais, porque como os átomos estavam “arrumados” – repetiam-se regularmente no espaço – bastava estudar um pequeno conjunto (a *célula cristalina*)... e “multiplicar” por uma função periódica (Bloch)...
* usavam-se baixas temperaturas, porque se evitava a “contaminação” com a *agitação térmica*... e os efeitos eram mais evidentes... os efeitos quânticos tornavam-se notáveis e “fáceis” de observar (sejam os chamados *fenómenos cooperativos,* como a supercondutividade ou o ferromagnetismo, ou as transições de fase entre estados, ou a interação entre a matéria e a radiação, etc.)

Mas os físicos de materiais puseram-se depois a “fabricar” as suas próprias amostras especiais... mais variadas (com impurezas em certos “sítios”, quer do *espaço das configurações* quer do *espaço dos momentos*, com periodicidades variadas – heteroestruturas, multicamadas... – ou com dimensionalidades reduzidas – filmes finos, nanofios, “pontos quânticos”...), tornando-se verdadeiros “alfaiates de materiais” (“*materials tayloring*”).

Isto conduziu a imensos estudos e aplicações “bidimensionais” (para um físico uma folha de papel é “bidimensional”... embora uma resma de papel já não o seja... pois o que conta é a desproporção de átomos em cada dimensão... e mesmo no caso do papel seria algo como mil vezes... num filme fino mais de um milhão de vezes... ou seja, nessa dimensão “inexistente” existe um número muitíssimo menor de átomos...); é isso que fazemos no centro de investigação a que pertenço, o CEFITEC, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa:

* preparamos os mais variados filmes finos (espessura <1 mícron), para aplicações que podem ser industriais ou de investigação (projeto ATLAS do CERN)
* geralmente por *pulverização catódica em magnetrão* (“magnetron sputtering”), com cátodos de formas muito variadas, segundo a geometria das aplicações;
* caraterizamos esses filmes também utilizando uma enorme panóplia de métodos (mas só me referirei à microscopia)

Adiante apresentarei alguns slides da atividade científica do CEFITEC.

Assim, portanto, é impossível “ver” partículas tão pequenas: a oscilação (o que se chama “*comprimento de onda*”, e serve de “*régua*”, ou escala do que medimos) para a luz visível é de algumas centenas de nanómetros (1 nm= 10-9 m, mil milhões de vezes menor que um metro!), portanto é umas mil vezes maior que os átomos. Mas se não os podemos “ver”, podemos “senti-los”: desde há cerca de 20 anos (já bem depois de eu me ter formado, e até doutorado!), existem microscópicos capazes de detectar irregularidades de superfícies com escalas do tamanho dos átomos, seja por via dos electrões “arrancados” a uma ponta (por “efeito túnel”, chamam os físicos), ou pela deformação mecânica de um outro tipo de ponta, devido à influência das forças atómicas; o primeiro é conhecido por microscópio electrónico de efeito túnel (STM), e o segundo por microscópio de força atómica (AFM). Um dos métodos que usamos no nosso grupo de investigação para caracterizar superfícies dos filmes finos que produzimos é um destes AFM… embora este só nos permita escalas de medição umas centenas de vezes superiores.

(SLIDES)

A descoberta e produção do **grafeno** estiveram na origem da atribuição do Nobel da Física de 2010 a **Andre Geim e Konstantin Novoselov**, (slide) dois investigadores que trabalham há vários anos na Universidade de Manchester: refira-se que o trabalho faz parte da tese de doutoramento de Novoselov; por outro lado, André Geim é, até hoje, o único físico a ter recebido, além do Nobel, o prémio Ig-Nóbel, em 2000 (que premeia, e cito, “*os trabalhos científicos que primeiro fazem as pessoas rir, e depois as fazem pensar*”), com um trabalho sobre a levitação magnética de rãs (e que se pode ver no YouTube).

Voltando ao grafeno: trata-se então de um novo material obtido pela primeira vez em 2004, a partir da grafite, e que é constituído por uma única camada de átomos de carbono, dispostos numa rede hexagonal em forma de favos de mel. (slides seguintes) As várias camadas da grafite estão muito pouco ligadas entre si – é por isso também a utilizamos para escrever, nos lápis, e deixamos no papel várias camadas de grafite que são arrancadas do bico – e com aplicação sucessiva de fita gomada sobre “raspas” de grafite, por esfoliação repetida, foi possível dividi-la até se obterem pequenas amostras em que só existia uma camada. Mas qual a relevância deste material?

O grafeno, descrito por Novoselov [Nature Materials **6**, 720 (2007)] como sendo *“uma monocamada plana de átomos de carbono fortemente compactada numa estrutura de favos-de-mel”*, tem propriedades únicas:

* É incrivelmente perfeito, do ponto de vista químico e cristalográfico e quase impermeável;
* É praticamente transparente (~98% de transmissão), pois só tem uma camada de átomos;
* É o material mais resistente que se conhece (cerca de 100X mais do que o aço mais forte), mas é flexível;
* É um excelente condutor eléctrico, melhor que o cobre (e algumas das suas propriedades elétricas podem variar de forma controlada, por exemplo, variando o estado de tensão).

São previsíveis inúmeras aplicações num futuro bem próximo: substituir o silício em boa parte das aplicações electrónicas; painéis, displays transparentes e/ou flexíveis, células solares; reforço de estruturas em materiais compósitos; sensores muito sensíveis de átomos estranhos. Nem estamos a falar de uma ficção longínqua: uma empresa coreana (Sansung) já produz industrialmente folhas de grafeno, depositadas num substrato, com 30 polegadas de diagonal (o equivalente de um écran LED médio).

Mas para os físicos este material é ainda mais espetacular: os electrões movem-se no grafeno como se não tivessem massa, a uma velocidade 100X inferior à da luz, e comportam-se como partículas relativistas, oferecendo aos físicos uma espécie de “ laboratório” para testar a teoria da relatividade!

Nestas descobertas, a principal equipa de físicos teóricos, que trabalha há 8 anos sobre o grafeno e publica regularmente artigos com Geim e Novoselov, é portuguesa, é liderada pelo Prof. **Nuno Peres**, (último slide) atualmente na Universidade do Minho (mas que foi meu colega na Universidade de Évora), e inclui ainda o Prof. João Lopes dos Santos da Universidade do Porto, e alguns colaboradores destes dois colegas. Nos 4 últimos anos Nuno Peres recebeu vários prémios por este seu trabalho, é atualmente membro correspondente da Academia das Ciências de Lisboa, e foi convidado pelos dois laureados para estar presente na sessão de entrega do Prémio Nobel de 2010. E é ao Nuno Peres que peço emprestada esta última citação, dirigida aos alunos de Física: “*ao fim e ao cabo, o Prémio Nobel está ao alcance de um bocado de carvão e de uma fita cola!*”

Já agora, recordo que o Nobel da Física de 2011 resultou da descoberta, há cerca de 13 anos, de que a expansão do Universo (já conhecida há bastante tempo) se está a acelerar, ou seja, o Universo está a crescer cada vez mais depressa. De certo modo, o Nobel da Física homenageou, em anos sucessivos, o “infinitamente pequeno” e o “infinitamente grande”!

 **M. Pereira dos Santos**

 (2012.09.29)