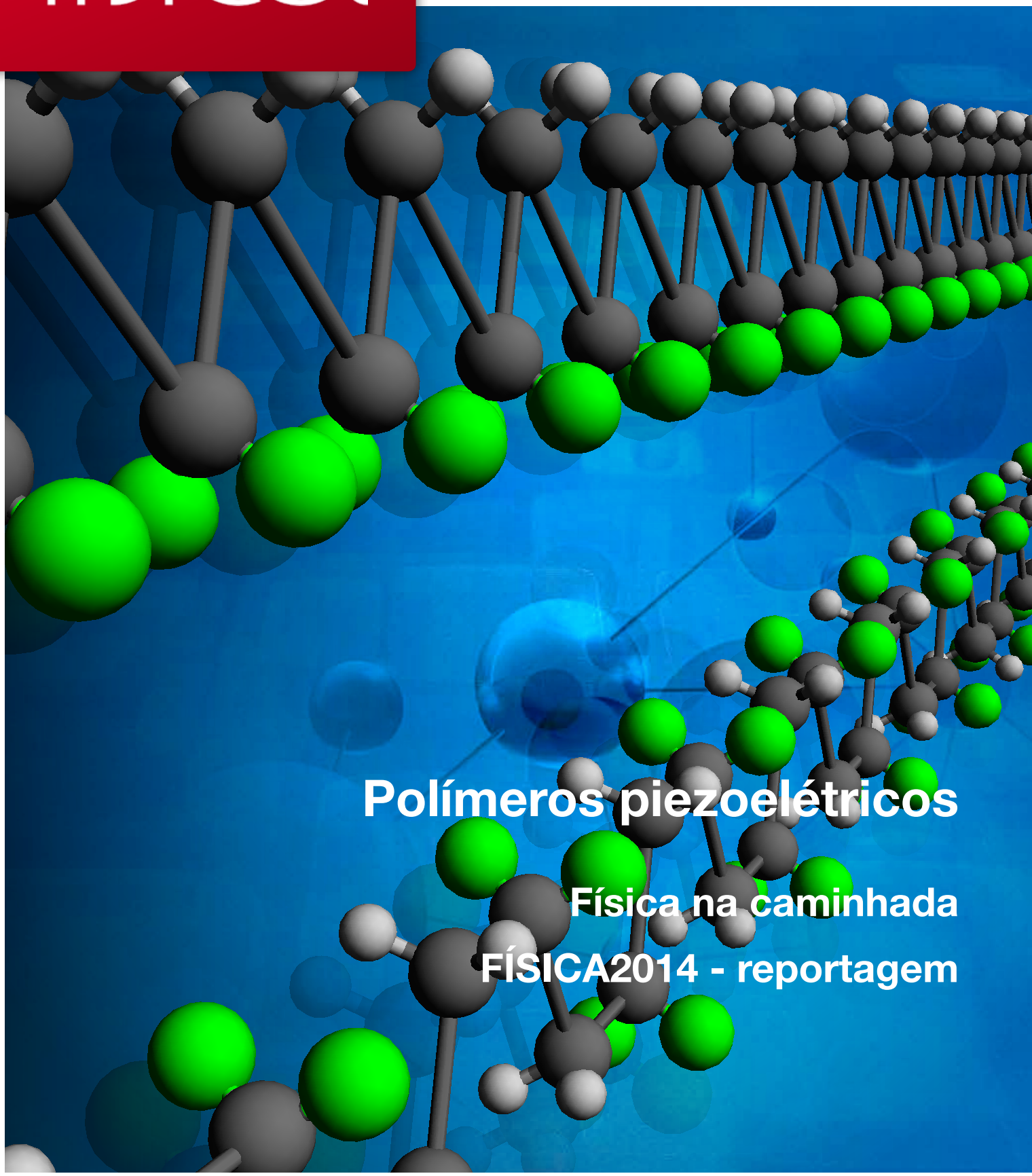
GAZETA DE física

Para os físicos e amigos da física.
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA / VOL. 37 - N.º 3 / 2014 / Publicação Trimestral / €5,00



Polímeros piezoelétricos

Física na caminhada

FÍSICA2014 - reportagem

sp física
SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Índice

artigo geral
2 **Polímeros piezoelétricos:** Caraterísticas, aplicações, perspetivas
A.C. Lopes, P. Martins, S. Lanceros-Mendez

artigo geral
8 **Física na caminhada:** forças nos pés e aspetos energéticos
Manuel Fiolhais

física sem fronteiras
13 **Como estamos,** fisicamente?
João José Pedroso de Lima

física sem fronteiras
17 **Complexo** e surpreendente
Alexandre Andrade

vamos experimentar
21 **Que simetrias** encontras?
Constança Providência, Pedro Providência

livros e multimédia
24 **Realismo e Localidade em Mecânica Quântica**
Alfredo Barbosa Henriques

sala de professores/alunos
27 **Pulsar** – Revista do Núcleo de Física do IST
Fábio Cruz, Francisco Nunes

crónicas
29 **Ano da Luz** começa com o Nobel
Carlos Fiolhais

30 **Notícias**

onda e corpúsculo
36 **CEM anos** do Decreto n.º 896
Mª da Conceição Abreu

40 **FÍSICA2014 - fotografias**

Publicação Trimestral Subsidiada

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Editorial

A normalmente tranquila relação entre a ciência e a sociedade portuguesa tem andado agitada nas últimas semanas. Nos jornais e nas redes sociais, cientistas e cidadãos trocam cartas abertas em que discutem os seus pontos de vista e a racionalidade dos seus argumentos. Discute-se o que é ciência e pseudo-ciência, prova científica e mero acaso, revisão por pares e experiências com grupos de controlo, e por aí fora.

A polémica foi aparentemente despoletada por um artigo de opinião de Carlos Fiolhais (CF) no jornal Público, com o título "Ciência diluída" (5 de Novembro de 2014), onde ele criticava a recente portaria do Governo que atribui legitimidade terapêutica à homeopatia. Como CF bem explica, por mais voltas que se lhe dê esta forma de "medicina alternativa" carece de qualquer fundamento científico – basta saber fazer contas para perceber que nenhum princípio activo consegue sobreviver ao número de diluições que, paradoxalmente, a homeopatia afirma fortalecer os seus preparados. Por outras palavras, os medicamentos homeopáticos não fazem *nada*, excepto talvez estimular o efeito placebo. A bem da ciência, e numa eloquente demonstração do conselho *put your money where your mouth is*, CF já chegou ao ponto de deglutir uma embalagem inteira de um medicamento homeopático, para provar que o mesmo não tem qualquer efeito – excepto aliviar significativamente a carteira, tornando literal o conselho acima.

As reacções a este artigo dispararam de várias fontes, desde colegas cientistas, médicos encartados, jornalistas, testemunhas da "eficácia" dos tratamentos homeopáticos, e curiosos de um modo geral. Que sim, a homeopatia funciona, e há estudos de grandes universidades a provar isto. Que há países mais avançados que já reconheceram isto. Que há provas vivas de pacientes que foram homeopaticamente curados onde a medicina convencional falhou. Que, se os cientistas não percebem isto, são teimosos, arrogantes, reaccionários, fechados e ignorantes.

Não quero estar aqui a discutir a homeopatia, mas do ponto de vista da imagem pública da ciência as insinuações do último tipo são relevantes e vale a pena serem analisadas. Tirando a parte da teimosia (que não andará muito longe da verdade) sem dúvida que, para alguém que acredite em qualquer fenómeno que a ciência contemporânea não valide – desde a astrologia aos zombies – os cientistas devem parecer criaturas retrógradas, agarradas ao que conseguem medir, pesar, cortar às fatias e colocar num tubo de ensaio, e sem abertura para a existência de "realidades" alternativas. Em suma, desmancha-prazeres.

Acontece que os cientistas, como qualquer outro grupo profissional, não são um clube de pensamento único. Mas um bom cientista reconhece que há regras e princípios para definir o que é ciência e o que não é. Por exemplo, a astrologia não é ciência, mas isso não a impede de poder ser um tema histórico fascinante (já a homeopatia nem isso consegue ser).

E acontece que sim, de facto os cientistas têm que ser muito conservadores. Nem tudo passa com facilidade pelo crivo da ciência, e quanto mais exóticas forem as afirmações, mais fortes têm que ser as provas. Da próxima vez que chegar atrasado a uma reunião, em vez de dizer que a culpa foi do trânsito experimente dizer que foi raptado por extraterrestres, e perceberá a ideia.

Este conservadorismo é uma peça essencial da atitude científica, para o bem e para o mal. Importa perceber que não é defeito, mas feitio. Impede-nos de deixar entrar disparates pela porta da ciência (infelizmente, não pelas *portarias*…), mas às vezes também deixa ideias brilhantes do lado de fora. A diferença é que estas últimas acabam por convencer, mais cedo ou mais tarde; os disparates podem enganar, mas são rapidamente reconhecidos e expulsos.

Por fim, e apesar deste conservadorismo, os cientistas ainda conseguem ter abertura para imaginar ideias completamente originais e quase extravagantes – basta falar com um cosmólogo sobre as ideias contemporâneas da estrutura do espaço-tempo, por exemplo. Ou ter a humildade de responder "não sabemos", quando, de facto, não sabem alguma coisa. Por mim, parece-me uma atitude muito mais fascinante do que querer ter respostas miraculosas para tudo, que por vezes não passam de água com açúcar.

Gonçalo Figueira

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Ficha Técnica

Propriedade
Sociedade Portuguesa de Física
Av. da República, 45 – 3º Esq.
1050-187 Lisboa
Telefone: 217 993 665

Equipa
Gonçalo Figueira (Director Editorial)
Filipe Moura (Editor)
Olivier Pellegrino (Editor)

Secretariado
Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

Colunistas e Colaboradores regulares
Ana Simões, Carlos Fiolhais, Constança Providência

Colaboraram também neste número
Alexandre Andrade, Alfredo Barbosa Henriques, Ana Catarina Lopes, Bruno Amorim, Bruno Gonçalves, Carla Carmelo Rosa, Conceição Abreu, Cristina Pinho, Fábio Cruz, Francisco Nunes, João José Pedroso de Lima, João Penedones, Manuel Fiolhais, Maria João Santos, Pedro Martins, Pedro Providência, Senentxu Lanceros-Mendez

Comissão editorial
Teresa Peña - Presidente da SPF e anterior director editorial
Carlos Fiolhais - Anterior director editorial
Ana Rita Figueira - Física Médica
Carlos Portela - Educação
Constança Providência e Costa - Física Nuclear
Horácio Fernandes - Física dos Plasmas
Joaquim Norberto Pires - Física Aplicada e Engª Física
João Carvalho - Física das Partículas
João Veloso - Física Atómica e Molecular
José Luís Martins - Física da Matéria Condensada
Luís Matias - Meteorologia, Geofísica e Ambiente
Manuel Marques - Óptica
Rui Agostinho - Astronomia e Astrofísica

Correspondentes
Joaquim Moreira - Delegação Norte
Rui Travasso - Delegação Centro
Pedro Abreu - Delegação Sul e Ilhas

Design / Produção Gráfica
Dossier, Comunicação e Imagem
www.dossier.com.pt

NIPC 501094628

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1.800 Ex.

Publicação Trimestral Subsidiada

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Preço N.º Avulso €5,00 (inclui I.V.A.)
Assinatura Anual €15,00 (inclui I.V.A.)
Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

Polímeros piezoelétricos:
Caraterísticas, aplicações, perspetivas

A.C. Lopes[+], P. Martins[+], S. Lanceros-Mendez*

Centro/Departamento de Física, Escola de Ciências, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga

*lanceros@fisica.uminho.pt

[+]Igual contribuição

Resumo
Os polímeros eletroativos estão a ganhar uma grande importância devido ao seu enorme potencial de aplicação na área biomédica, geração e armazenamento de energia, monitorização e controlo, entre outras. Estas aplicações incluem o desenvolvimento de sensores e atuadores, membranas de separação e filtração e *scaffolds* inteligentes e funcionais, para referir apenas alguns. Este artigo apresenta de uma forma sucinta a área dos polímeros eletroativos e exemplifica o seu potencial através dos polímeros piezoelétricos, focando-se no seu representante com melhores caraterísticas: o polifluoreto de vinilideno. No final, apresentam-se algumas das aplicações mais interessantes atualmente já desenvolvidas ou em desenvolvimento, assim como uma reflexão sobre os desafios principais nesta área de crescente interesse e impacto.

De todas (as coisas) o raio fulgurante dirige o curso
Heráclito (535 a.C. - 475 a.C.)

1. Introdução
Num mundo moderno onde a interatividade, o aproveitamento energético e a biomedicina estão a obter uma crescente relevância social e económica, tendo desta forma um papel central no desenvolvimento competitivo e sustentável da nossa sociedade, o desenvolvimento de novos materiais revela-se como fulcral para dar sustento a esta evolução tecnológica. Deste modo, a crescente necessidade de utilização de sensores e atuadores, de uma melhor integração dos mesmos em sistemas inovadores, assim como o melhoramento dos seus processos de produção tanto em termos económicos como ecológicos, levaram a um crescente interesse nos materiais inteligentes e funcionais. Estes materiais não desempenham somente um papel estrutural ou passivo, mas sim ativo nos sistemas nos quais são implementados.

Neste contexto, os materiais eletroativos e em particular os polímeros eletroativos estão-se a transformar numa das classes de materiais com maior potencial no desenvolvimento de novas e desafiantes aplicações, sendo desta forma, uma das *enabling technologies* dos próximos anos.

2. Polímeros eletroativos
De todos os polímeros existentes, os polímeros eletroativos evidenciam-se uma vez que são capazes de realizar a conversão entre energia elétrica e energia mecânica. Por outras palavras, estes polímeros sofrem uma alteração do seu tamanho e/ou forma quando são sujeitos a um campo elétrico. Alguns materiais dentro desta família apresentam igualmente o efeito complementar: geram um sinal elétrico quando sujeitos a uma força. Devido a estas caraterísticas, os polímeros eletroativos são ideais para a aplicação em sensores e atuadores, substituindo, em alguns casos, sistemas pesados e complexos, permitindo desta forma o desenho de novas aplicações devido a uma mais simples implementação e miniaturização [1]. Outras aplicações dos polímeros eletroativos incluem a produção de músculos artificiais [1], próteses inteligentes [2] ou o estímulo do crescimento e diferenciação celular [3], entre outras.

Os materiais eletroativos podem ser divididos em dois grandes grupos, de acordo com o mecanismo de ativação: polímeros eletroativos eletrónicos e polímeros eletroativos iónicos.

Nos *polímeros eletroativos eletrónicos* enquadram-se os polímeros ferroelétricos, os polímeros eletroativos dielétricos, os elastómeros eletrostritivos, o papel eletrostritivo, os elastómeros eletro-viscoelásticos e os materiais elastoméricos de cristais líquidos. Neste tipo de materiais é a orientação dos momentos dipolares pela aplicação de um campo elétrico que leva a uma alteração da sua forma. Em geral,

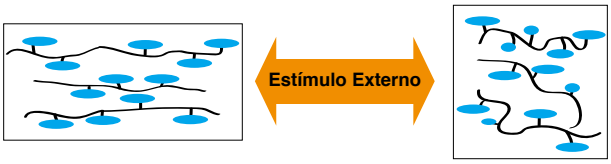


Fig. 1 - Esquema da atuação de um polímero eletroativo eletrónico quando se encontra sob um campo elétrico.

estes polímeros atuam rapidamente (milissegundos) e à temperatura ambiente, mantêm a deformação sob a aplicação de um campo elétrico DC e são capazes de aplicar forças com intensidade superior à dos polímeros eletroativos iónicos. Por outro lado, estes materiais requerem a aplicação de campos elétricos elevados, na ordem dos 150 MV/m. Os polímeros eletroativos eletrónicos são maioritariamente aplicados em mecanismos de deformação longitudinais e transversais como os descritos na Figura 1.

No grupo dos *polímeros eletroativos iónicos* enquadram-se os polímeros de gel iónicos, os compósitos polímero-metal ionoméricos, os polímeros condutores, os nanotubos de carbono e os fluidos eletrorreológicos. Nos *polímeros eletroativos iónicos* a deformação do material é originada pela mobilidade ou difusão dos iões através do polímero quando é aplicado o campo elétrico. Estes têm a vantagem de requererem baixas voltagens, 1 V a 2 V, e promover processos de dobra (*bending*) mais eficazes (Figura 2). Por outro lado, a sua resposta é mais lenta e a força produzida é menor que no caso dos polímeros eletroativos eletrónicos [4].

2.1 Polímeros piezoelétricos

O fenómeno físico mais utilizado, até à data, em aplicações de polímeros eletroativos é a piezoeletricidade, fenómeno esse que está presente apenas num reduzido número de polímeros. Este fenómeno, inicialmente descoberto em alguns tipos de cristais, como quartzo, turmalina e sal de Rochelle, foi mais tarde descoberto em polímeros tais como nylon-11, ácido polilático (PLLA), ácido poli(lático-co-glicólico) (PLGA) e o polifluoreto de vinilideno (PVDF). A piezoeletricidade consiste na criação de um sinal elétrico quando o material é sujeito a uma tensão mecânica ao longo de um determinado eixo, bem como no efeito inverso, comum aos materiais eletroativos, isto é, na deformação do material em resposta a um sinal elétrico aplicado [5].

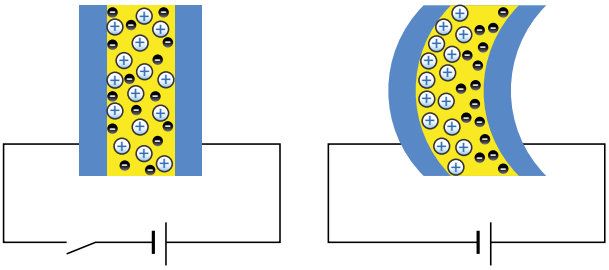


Fig. 2 - Mecanismo de dobra (bending) caraterístico de um polímero eletroativo iónico.

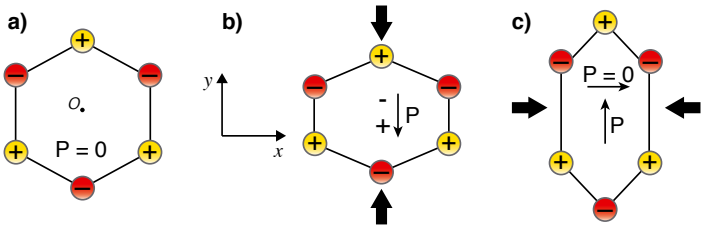


Fig. 3 - Representação esquemática do efeito piezoelétrico. Se a célula não está comprimida nem distendida (a), o centro das cargas positivas coincide com o centro das cargas negativas. Se o cristal for comprimido ao longo do eixo *y* (b), essa disposição é modificada. Essa separação de cargas com o mesmo valor e sinais opostos denomina-se dipolo elétrico. Portanto, o cristal comprimido continua neutro mas passa a apresentar uma polarização elétrica, com um dipolo em cada célula. Se, ao contrário, o cristal for distendido ao longo do eixo *y* (c), o dipolo que se forma em cada célula tem a orientação oposta.

Este fenómeno pode ser descrito por:

$$d = \left(\frac{\partial D}{\partial T}\right)_E = \left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)_T$$

onde D é o deslocamento elétrico, E o campo elétrico, T a tensão mecânica e S é a deformação mecânica.

A piezoeletricidade, que está relacionada com a variação da polarização do material quando este é sujeito a uma tensão mecânica, é observada em materiais não-centrosimétricos (materiais cuja célula unitária não apresenta centro de simetria). Como se exemplifica esquematicamente na Figura 3, quando nenhuma tensão é exercida, o centro de massa das cargas negativas e positivas coincidem. No entanto, quando uma tensão é aplicada sobre a célula unitária, esta sofre uma deformação que leva ao deslocamento dos centros de massa das cargas positivas e negativas, originando a polarização da rede. A direção da deformação define a direção da polarização induzida. Geralmente, a aplicação de uma tensão numa determinada direção origina uma polarização induzida numa outra direção. Assim, considerando que T_j é a tensão mecânica aplicada na direção *j* e P_i é a polarização induzida ao longo da direção *i*, então as duas estão linearmente relacionadas por:

$$P_i = \sum_j d_{ij} T_j,$$

sendo d_{ij} designado por coeficiente piezoelétrico. Alterando a direção de aplicação da tensão mecânica, altera-se também a direção da polarização induzida.

O efeito piezoelétrico inverso ocorre quando uma deformação S_j é induzida, na direção *j*, por aplicação de um campo elétrico E_i na direção *i* [5]:

$$S_j = \sum_i d_{ij} E_i$$

A piezoeletricidade está presente numa grande diversidade de materiais, naturais e sintéticos, tais como os ossos, queratina, o titanato de bário ($BaTiO_3$) ou o polímero PVDF. Os materiais com melhor resposta piezoelétrica são os monocristais ou cerâmicos, como é o caso do titanato zirconato de chumbo (PZT), no entanto o seu tamanho e rigidez limita bastante o seu leque de aplicações. Por outro lado, materiais tão comuns como o nossos ossos também apresentam piezoeletricidade devido à presença de colagénio na sua

estrutura. Atualmente é nos poucos polímeros piezoelétricos existentes que se tem centrado grande parte do interesse científico e tecnológico desta área. Estes polímeros, apesar de apresentarem uma resposta piezoelétrica mais modesta quando comparados com os cerâmicos, por exemplo, permitem uma muito maior e diferenciada gama de aplicações, uma vez que são leves, flexíveis, podem ser produzidos em larga escala e podem ser facilmente transformados na configuração desejada. Todas estas caraterísticas são muito importantes para processos de microfabricação, e alguns destes polímeros até são biocompatíveis. De todos estes, o polímero com maior resposta piezoelétrica é o PVDF e os seus copolímeros.

3. Polifluoreto de vinilideno (PVDF)

De todos os polímeros piezoelétricos aquele que tem atraído mais atenção da comunidade científica, tecnológica e industrial é o PVDF devido às suas boas propriedades mecânicas, baixo preço, resistência a solventes, ácidos, calor e radiação. No entanto, as suas caraterísticas diferenciadoras mais relevantes, comparativamente com outros polímeros são a sua elevada resposta dielétrica, piezoelétrica, piroelétrica (criação de um potencial elétrico quando submetido a uma variação de temperatura) e ferroelétrica (polarização espontânea que pode ser invertida com a aplicação de um campo elétrico externo) o que lhe confere um elevado interesse científico e tecnológico [6].

Este polímero possui uma estrutura complexa com cinco fases cristalinas possíveis, cada uma delas relacionada com diferentes conformações da cadeia polimérica; designadas como totalmente *trans* (TTT) planar e em ziguezague para a fase β, TGTG′ (*trans-gauche–trans-gauche*) para as fases α e δ e T_3GT_3G' para as fases γ e ε. De todas estas fases as mais conhecidas, investigadas e utilizadas em aplicações tecnológicas são as fases α e β (Figura 4).

A fase α é a fase termodinamicamente mais estável quando o polímero é arrefecido depois de fundido. A fase β é a mais ativa do ponto de vista elétrico e, desta forma, a mais interessante do ponto de vista das aplicações tecnológicas que dela podem resultar. Devido ao grande interesse que a fase β do PVDF tem despertado, são muitas as estratégias que têm sido desenvolvidas para a obter, tais como procedimentos experimentais específicos[1] e a inclusão de materiais nanométricos na matriz polimérica [6].

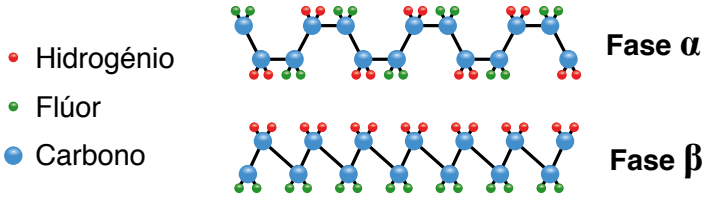


Fig. 4 - Representação esquemática da conformação da cadeia polimérica das fases α e β do PVDF.

[1] Tais procedimentos incluem a evaporação do solvente usado na sua dissolução a baixas temperaturas e o estiramento mecânico de material inicialmente obtido na fase α a partir do polímero fundido.

São exemplos de materiais usados na nucleação da fase β o titanato de bário, o dióxido de titânio, as argilas, os sais iónicos hidratados, o polimetilmetacrilato ou as nanopartículas de ferrita, paládio ou ouro. Neste caso, a nucleação da fase β deve-se essencialmente ao efeito da interação eletrostática entre os momentos dipolares do polímero e a carga superficial dos materiais durante o processo de cristalização do polímero [6]. O desenvolvimento dos copolímeros como o polifluoreto de vinilideno-trifluoretileno (PVDF-TrFE), o polifluoreto de vinilideno-cloro-trifluoretileno (PVDF-CTFE) ou o polifluoreto de vinilideno-hexafluoropropileno (PVDF-HFP) contribuiu também para a obtenção do polímero na sua fase mais eletroativa através de estratégias de modificação do monómero, tais como a adição de um terceiro flúor no monómero de trifluoretileno, favorecendo desta forma a conformação totalmente *trans* da cadeia polimérica, independentemente do método de processamento [6].

No entanto a utilização de inclusões na matriz polimérica não se resume apenas à obtenção da fase β do PVDF. Muitas vezes a sua incorporação tem em vista trazer ao nanocompósito[2] novos efeitos que abrem um leque mais amplo de aplicações.

Por exemplo, com a incorporação de materiais magnetostritivos[3] numa matriz de PVDF é possível obter compósitos magnetoelétricos (ME)[4] [7]. Neste tipo de materiais (Figura 5), o efeito ME ocorre devido ao acoplamento elástico entre o componente piezoelétrico (PVDF) e um componente magnetostritivo, tal como a ferrita de cobalto ou a ferrita de níquel-zinco.

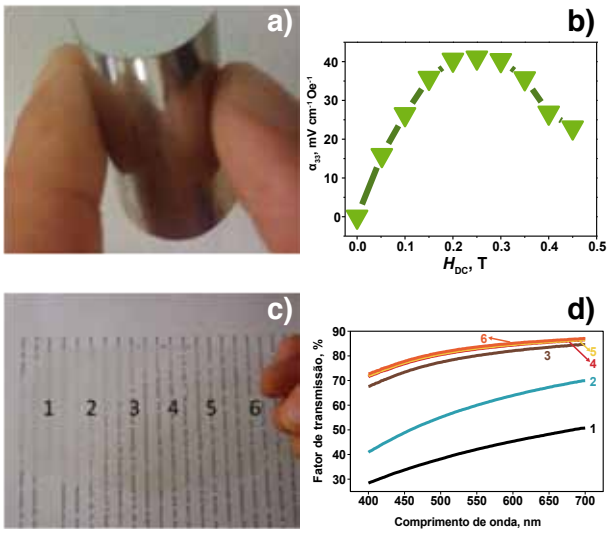


Fig. 5 - (a) Imagem de um compósito ME de base polimérica. (b) Resposta ME obtida num compósito de PVDF/$CoFe_2O_4$. (c) Filme compósito de PVDF/argilas com um gradiente de transmitância ótica e resposta piezoelétrica. (d) Transmitância ótica do compósito PVDF/argilas ao longo do filme (os números correspondem a medidas realizadas nos pontos indicados na imagem c).

[2] Material resultante da introdução de inclusões nanométricas na matriz polimérica.
[3] Materiais que deformam na presença de um campo magnético ou que variam a sua magnetização aquando deformados.

Quando o material é sujeito a um campo magnético, o componente magnetostritivo irá deformar, transmitir essa deformação ao componente piezoelétrico, e neste último será gerada uma diferença de potencial resultante de variações na polarização do material.

Na Figura 5(a) é possível constatar alguma das principais vantagens dos materiais ME de base polimérica: a sua flexibilidade e a possibilidade de os preparar em grandes áreas. Na Figura 5(b), é mostrada a resposta ME (coeficiente magnetoelétrico α_{33}) tipicamente obtida em compósitos de PVDF/$CoFe_2O_4$ em função do campo magnético aplicado (H_{DC}). Por outro lado, a incorporação de nanoargilas na matriz polimérica de PVDF juntamente com a variação da temperatura de cristalização durante a preparação dos compósitos, permite o controlo conjunto da resposta piezoelétrica e do fator de transmissão ótica num filme ou ao longo do mesmo [Figura 5(c) e 5(d)]. A conjugação destas duas propriedades desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de aplicações onde a leitura ótica é necessária, tais como certas áreas de aplicações biomédicas relacionadas com os *lab-on-a-chip* [6].

4. Aplicações

A biomedicina, a geração e armazenamento de energia e os sensores/atuadores representam três das áreas que já usufruem das caraterísticas únicas do PVDF e os seus compósitos.

Desde há muito tempo que os polímeros estão a ser explorados e têm sido usados na área biomédica devido á sua disponibilidade num grande conjunto de composições e propriedades e ainda devido à possibilidade de serem produzidos em formas e estruturas complexas. Mais recentemente os polímeros eletroativos têm sido utilizados nesta área como suportes (*scaffolds*) ativos para crescimento e diferenciação celular, bem como na fabricação de biossensores e/ou atuadores. Na primeira das áreas, a possibilidade do controlo das propriedades e, em particular, a microestrutura do PVDF (Figura 6), permitiu novas e interessantes aplicações na área de engenharia de tecidos. Neste sentido, membranas, micro e nanofibras e microesferas eletroativas estão a ser utilizadas como suportes ativos em novas estratégias de engenharia de tecidos baseadas na importância comprovada da mecanotransdução no desenvolvimento celular. Tal transdução tem ainda um papel crítico dos estímulos elétricos variáveis na funcionalidade de células específicas tais como osteoblastos, mioblastos ou fibroblastos, entre outros. Na área dos sensores e atuadores, abordagens inovadoras emergiram com o desenvolvimento de sensores de pressão flexíveis usados por diabéticos com pouca sensibilidade no pé, nanogeradores para

[4] Materiais que se alteram a magnetização na presença de um campo elétrico e/ou que alteram a polarização na presença de um campo magnético.

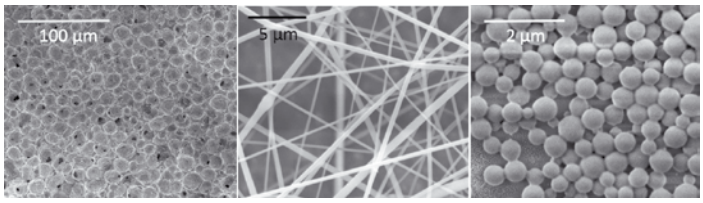


Fig. 6 - Imagens representativas de algumas microestruturas obtidas com o PVDF e os seus copolímeros.

o aproveitamento de energia biomecânica, sensores táteis para robótica, sistemas de micro agitação acústica para aplicações *lab-on-a-chip* e ainda como parte integrante do mecanismo de transdução de vários tipos de biossensores [6,7].

Na área da energética, os polímeros piezoelétricos tem gerado inequivocamente grande interesse no âmbito do *energy harvesting*, particularmente no desenvolvimento sensores autoalimentados [6]. Devido aos avanços na eficiência de conversão eletromecânica, através do desenvolvimento de compósitos e microestruturas inovadoras, aliados ao menor consumo energético dos dispositivos, micro e nanogeradores estão efetivamente a encontrar aplicação nesta área. Por outro lado, a área em que nos últimos anos, se tem visto um notório interesse em polímeros eletroativos como o PVDF, é no desenvolvimento de membranas/eletrólitos para separadores de baterias (Figura 7).

Neste tipo de aplicações o interesse nestes polímeros da família do PVDF não reside na sua capacidade de conversão eletromecânica, mas na sua elevada constante dielétrica e condutividade iónica controlável, assim como noutras propriedades físico-químicas interessantes [8]. Deste modo, através da incorporação de sais e iões, tais como o $LiBF_4$, na matriz polimérica conseguiu-se obter eletrólitos poliméricos com elevada condutividade iónica, boas propriedades mecânicas e excelente estabilidade térmica. Com a utilização destes eletrólitos espera-se o desenvolvimento de baterias mais seguras, com maior densidade energética e flexíveis com potencial único em eletrónica de uso pessoal e dispositivos biomédicos.

Finalmente, a área em que os polímeros eletroativos estão mais solidamente implementados a nível tecnológico é a área dos sensores, devido à sua flexibilidade, estabilidade, baixo custo, facilidade de processamento e piezoeletricidade.

Fig. 7 - Membranas porosas de PVDF/Zeólitos incorporadas em baterias de ião-lítio.

Desta última caraterística, diferenciadora da maior parte dos polímeros, resultaram aplicações inovadoras tais como: i) sensores capazes de monitorizar a respiração e batimento cardíaco; ii) sensores táteis utilizados em aplicações tão distintas como teclados sensíveis ao toque ou bisturis que permitem ao cirurgião saber a força aplicada nos tecidos; iii) sensores de força e deformação, que detetam choque, explosão ou rápida deposição, permitem monitorizar de forma precisa, por exemplo, chuva ou granizo e até mesmo o número e massa de partículas de poeiras de cometas; iv) sensores e atuadores magnetoelétricos, que possibilitam, entre outros, a medição de campos magnéticos com uma tecnologia mais de acordo com as correntes exigências da indústria em termos de preço, dimensões, flexibilidade, limites de deteção e ruído.

Considerações finais

Polímeros eletroativos, que permitem a conversão de sinais mecânicos em elétricos e/ou elétricos em mecânicos, estão entre os materiais mais desafiantes e interessantes para o desenvolvimento de aplicações avançadas em áreas tais como biomedicina, geração e armazenamento de energia, sensores e atuadores, entre outras. O desenvolvimento destas aplicações baseia-se num conhecimento profundo dos mecanismos físico-químicos de transdução e no controlo das condições de processamento destes materiais. Para uma implementação mais generalizada destes materiais, existem desafios para os quais já se procura dar resposta, tais como encontrar metodologias apropriadas que permitam a transferência para processos de produção industrial os desenvolvimentos considerados interessantes e promissores obtidos nos laboratórios, melhorar a estabilidade térmica, ambiental, reciclabilidade e o tempo de vida útil de alguns destes materiais, assim como no melhoramento da eficiência da conversão eletromecânica. Assim, pode-se concluir de forma perentória que devido às interessantes propriedades e áreas de aplicação promissoras, os polímeros eletroativos representam uma área de investigação de grande dinamismo e enorme potencial que vai suportar alguns dos mais interessantes desenvolvimentos tecnológicos, que nos próximos tempos virão a fazer parte do nosso quotidiano.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas de grupo Electroactive Smart Materials (http://esm.fisica.uminho.pt/; https://www.facebook.com/electroactivesmg) por interessantes discussões, bons momentos e todo o trabalho conjunto. Igualmente agradecemos à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo apoio através do projecto estratégico PEST-C/FIS/UI607/2013 e as bolsas SFRH/BPD/96227/2013 (PM) e SFRH/BD/62507/2009 (ACL).

Referências

1. Y. Bar-Cohen, "Electroactive polymers as artificial muscles: A review", Journal of Spacecraft and Rockets 39(6), 822-7 (2002).
2. E. Biddiss e T. Chau, "Electroactive polymeric sensors in hand prostheses: Bending response of an ionic polymer metal composite", Medical Engineering and Physics 28(6), 568-78 (2006).
3. C. Ribeiro, S. Moreira, V. Correia, V. Sencadas, J. G. Rocha, F. M. Gama, et al. "Enhanced proliferation of pre-osteoblastic cells by dynamic piezoelectric stimulation", RSC Advances 2(30), 11504-9 (2012).
4. Y. Bar-Cohen, Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles: Reality, Potential, and Challenges, 2.ª ed., Washington (2004).
5. S. O. Kasap, Electronic Materials and Devices, International Edition, 2ª ed, Boston (2000)
6. P. Martins, A.C. Lopes, e S. Lanceros-Mendez, "Electroactive phases of poly(vinylidene fluoride): Determination, processing and applications", Progress in Polymer Science 39(4), 683-706 (2014).
7. P. Martins e S. Lanceros-Méndez, "Polymer-based magnetoelectric materials", Advanced Functional Materials 23(27), 3371-3385 (2013).
8. C. M. Costa, M. M. Silva, e S. Lanceros-Méndez, "Battery separators based on vinylidene fluoride (VDF) polymers and copolymers for lithium ion battery applications" RSC Advances 3(29), 11404-11417 (2013).

Pedro Martins licenciou-se em Física e Química (ensino) em 2006 e obteve o seu doutoramento em Física no ano de 2012, ambos na Universidade do Minho. Parte dos seus trabalhos no âmbito da sua tese foram realizados na Universidade do País Basco e na Universidade de Cambridge e estavam relacionados com o desenvolvimento de materiais magnetoelétricos de base polimérica e respectiva incorporação em aplicações tecnológicas.

Ana Catarina Lopes licenciou-se em Física e Química (ensino) em 2006, finalizou o mestrado em Física (especialização em ensino) em 2009 e obteve o seu grau de Doutora em Física em 2013, na Universidade do Minho, Braga, Portugal. Parte do seu trabalho de tese foi elaborado na Universidade Técnica de Valência, Espanha e na Universidade de Munster, Alemanha. A sua área de interesse na investigação consiste nos fundamentos e aplicações de compósitos poliméricos com estruturas porosas.

Senentxu Lanceros-Mendez licenciado em Física pela Universidad del País Vasco, Leioa, Espanha, em 1991. Obteve o doutoramento em 1996 no Instituto de Física da Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Alemanha. Foi investigador na Montana State University, Bozeman, USA, de 1996 a 1998 e investigador visitante no A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Rússia (1995), Pennsylvania State University, USA (2007) e Universidade de Potsdam (2008). Desde 1998 trabalha no Departamento de Física da Universidade do Minho, Portugal, onde é Professor Associado e desde 2012 é também Investigador Associado no INL – International Iberian Nanotechnology Laboratory. O seu trabalho é centrado em materiais inteligentes e funcionais de base polimérica para sensores e atuadores, assim como aplicações nas áreas da energias e biomédicas.

Física na caminhada:
forças nos pés e aspetos energéticos

Manuel Fiolhais

Departamento de Física e Centro de Física Computacional, Universidade de Coimbra, P-3004-516 Coimbra, Portugal

Resumo
Exploram-se aspetos mecânicos e termodinâmicos numa caminhada, usando um modelo simples de forças constantes e exemplificando com um boneco que se desloca graças a uma fonte interna de energia.

1. Introdução
Tenho lecionado a disciplina de Física I. Numa das aulas sobre dinâmica de sistemas fiz alusão às forças de atrito estático, que não realizam trabalho, mas cuja ação altera a energia cinética do sistema. E, tal como em ocasiões anteriores, dei o exemplo da força aplicada pelo chão sobre o pé de quem caminha, dizendo que o sentido da sua componente horizontal era o do movimento. Tinha apresentado o mesmo exemplo nos anos antecedentes, mas naquele dia fui confrontado com o comentário de um aluno que terá dito, mais ou menos, o seguinte: "percebo que a força seja para a frente, mas então o movimento vai ser acelerado, o que não é o caso quando andamos normalmente…"

Alguns livros, num contexto de movimento acelerado, mostram um pé sobre o chão e representam duas forças: uma força, para a frente, no pé; e outra, o seu par ação-reação, aplicada no chão, para trás [1,2]. Mas julgo nunca ter visto um livro de física geral que discutisse uma caminhada normal e que, para além da força no pé, para a frente, mostrasse igualmente, e ainda no mesmo pé, a força para trás, que também existe, e que é tão importante como a primeira.

Um dia falei do assunto ao meu amigo Julio Güémez, professor na Universidade de Cantábria, em Santander, com quem colaboro há vinte anos. O artigo "The physics of a walking robot" [3], publicado na *Physics Education*, no qual, em parte, o presente artigo se baseia, resultou dessa conversa. Apesar de este tema, literalmente com pés para andar, dever ser conhecido, julguei que fosse interessante trazê-lo à presença da comunidade que lê a Gazeta.

2. Mecânica e termodinâmica – apenas o essencial
Antes do estudo físico da caminhada convém escrever as equações da mecânica e da termodinâmica que vão entrar na discussão.

Para um sistema de massa constante, M (vamos considerar massa constante para não complicar desnecessariamente), a lei fundamental da dinâmica, ou segunda lei de Newton, pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\Delta\vec{p}_{\text{cm}} = \int_{t_0}^{t} \vec{F}_{\text{ext}}\,\mathrm{d}t \qquad (1)$$

onde $\vec{F}_{\text{ext}} = \sum_j \vec{f}_j^{\,\text{ext}}$ é a resultante das forças externas aplicadas no sistema e $\Delta\vec{p}_{\text{cm}} = M\Delta\vec{v}_{\text{cm}}$ é a variação do momento linear (do centro de massa) do sistema no intervalo de tempo $\Delta t = t - t_0$. O integral na Eq. 1 é o impulso da resultante das forças externas. A equação inclui já a terceira lei de Newton, pois incorpora o facto de a resultante das forças internas ser nula: $\vec{F}_{\text{int}} = \sum_j \vec{f}_j^{\,\text{int}} = \vec{0}$. A Eq. 1, que é vetorial, pode também ser escrita na seguinte forma escalar:

$$\Delta K_{\text{cm}} = \int \vec{F}_{\text{ext}} \cdot \mathrm{d}\vec{r}_{\text{cm}} \qquad (2)$$

A passagem de (1) para (2) corresponde à demonstração do que normalmente se designa por teorema da energia cinética ou teorema do trabalho-energia, a qual sempre se faz nas aulas de Física Geral para o caso de uma partícula. O lado esquerdo da Eq. 2 é a variação da energia cinética do centro de massa ($K_{\text{cm}} = \frac{1}{2}Mv_{\text{cm}}^2$); e o lado direito da mesma equação é o pseudo-trabalho [4,5] da resultante das forças externas – pseudo-trabalho e não trabalho porque em (2) é o deslocamento do centro de massa que intervém, ao passo que para o *trabalho* de uma força o que importa é o deslocamento do ponto de aplicação dessa força (para uma só partícula pseudo-trabalho e trabalho coincidem, evidentemente). "Pseudo-trabalho" é uma mera designação e há autores que chamam a essa grandeza trabalho do centro de massa [6], o que pressupõe que consideram ser no centro de massa que a resultante está

aplicada. Mas as designações não são muito importantes. O que importa, de facto, é o conteúdo das equações. A Eq. 2 – equação do centro de massa – é fisicamente equivalente à equação de Newton (1), sendo ambas, afinal, formas possíveis de exprimir a lei fundamental da dinâmica. As duas equações usam grandezas físicas diferentes mas exprimem a mesma lei fundamental da natureza. E são equações gerais: aplicam-se a qualquer sistema que realize qualquer processo. No caso das rotações há outras formas de exprimir a Lei de Newton, mas a lei fundamental, por trás dessas outras formas, é exatamente a mesma.

Uma lei física diferente, igualmente aplicável de forma universal a qualquer sistema que realize qualquer processo, é a primeira lei da termodinâmica que também envolve grandezas próprias da mecânica. Essa lei é uma afirmação sobre a conservação da energia e pode exprimir-se através de [7]

$$\Delta K_{\text{cm}} + \Delta U = W_{\text{ext}} + Q \qquad (3)$$

onde, no lado esquerdo e somada à variação da energia cinética do centro de massa, surge a variação da energia interna do sistema (U) e, no lado direito, contabilizam-se os fluxos de energia de e para o sistema, ou seja a energia que atravessa a sua fronteira. Esta energia pode escrever-se como a soma de duas parcelas: a primeira é o *trabalho externo* – soma de todos os trabalhos realizados por cada uma das forças externas, $w_i^{\text{ext}} = \int \vec{f}_i^{\,\text{ext}} \cdot \mathrm{d}\vec{r}_i$ – o qual é dado por $W_{\text{ext}} = \sum_i w_i^{\text{ext}}$; a outra é o calor, Q, que flui entre sistema e vizinhança. De notar que em cada parcela do trabalho externo intervém o deslocamento da respetiva força externa (e *não* o deslocamento do centro de massa). Se W_{ext} ou Q forem positivos haverá uma transferência de energia para o sistema através da fronteira e o lado esquerdo de (3), que exprime a variação total da energia do sistema, aumentará; se forem negativos, o lado esquerdo em (3) diminuirá. A forma (3) não é a mais comum para expressar a primeira lei. De facto, nos livros de termodinâmica consideram-se habitualmente casos em que não há variação de energia cinética do sistema nem variação de energia potencial que, em (3), está incluída em W_{ext} no caso de haver trabalho de forças conservativas. Mas a Eq. 3 é mais geral e mais útil para lidar com problemas de mecânica. De resto, ela permite explicar claramente como é possível aumentar a energia cinética do centro de massa à custa de uma diminuição de energia interna do sistema, mesmo no caso de o segundo membro da Eq. 3 se anular. Ao utilizarmos a Eq. 3 estamos implicitamente a supor que ΔU inclui *todos* os possíveis modos de a energia interna variar. Esses modos são, por exemplo, as variações de energia química (associada a reações químicas), as alterações de energia resultantes de variações de temperatura, o trabalho realizado pelas forças internas, e ainda as variações de energia cinética rotacional e translacional em relação ao referencial do centro de massa, etc.

As Eqs. 2 e 3, que correspondem a duas leis físicas distintas, proporcionam informação que é, em geral, complementar. Porém, em alguns casos, podem fornecer a mesma informação (por exemplo, quando $\Delta U = Q = 0$, caso em que o pseudo-trabalho da resultante coincide com o trabalho externo). Como mostra a Eq. 2, o pseudo-trabalho faz variar a energia cinética. Por seu lado, e como mostra agora a Eq. 3 o trabalho externo tanto pode fazer variar a energia cinética como a energia interna do sistema (mas nem todos os processos são possíveis – apenas os que forem compatíveis com a segunda lei da termodinâmica).

3. Pessoa a andar - aspetos mecânicos

Vamos agora analisar os aspetos físicos mais relevantes envolvidos numa caminhada. Quando se diz que a força no pé de quem caminha, exercida pelo chão, aponta para a frente, apenas se está a contar uma parte da história. No mesmo pé, embora num outro intervalo de tempo, a força é para trás, sendo oposta, portanto, ao sentido da velocidade do centro de massa. De outra forma, e como bem comentava o aluno, o corpo adquiriria uma aceleração sempre para a frente. A força horizontal em cada pé é, portanto, dependente do tempo: ora é para trás, ora para a frente. Para além da componente horizontal da força que o chão exerce sobre o pé de quem caminha, essa força tem uma componente vertical (reação normal). A reação normal também varia com o tempo ao longo da passada, sendo umas vezes superior ao peso e outras vezes inferior. Tal conduz a uma oscilação vertical do centro de massa [8], em torno de uma altura média, mas não vamos, por agora, entrar nessa discussão para mantermos a descrição ao nível mais simples possível (voltaremos a este ponto mais tarde). Vamos então supor que a força normal é exatamente igual ao peso, o que permite reduzir o problema da caminhada a uma só dimensão pois a velocidade do centro de massa é sempre um vetor horizontal.

Pouco após o início da caminhada atinge-se uma "velocidade de cruzeiro", sendo certo que o módulo da velocidade do centro de massa não é exatamente constante, mas oscila, embora pouco, em redor de um dado valor. Quanto à força horizontal no pé, já se disse que ora é para a frente, ora para trás, em diferentes intervalos de tempo que se repetem ciclicamente. O impulso da força horizontal – integral no lado direito da Eq. 1 – tem de ser nulo [8,9], para a velocidade no final de um desses ciclos ser igual à inicial. Por ciclo entende-se o processo que decorre desde o instante em que um pé toca o solo até ao instante em que esse *mesmo* pé perde contacto com o solo (que é também o instante em que o outro pé inicia novo ciclo). Nesse intervalo de tempo um pé está assente no chão e o outro está no ar, e a um ciclo chamamos habitualmente passada.

No artigo [10] mostram-se dados reais de valores da força horizontal para uma corrida e para uma caminhada normal. A figura 1, retirada desse artigo, mostra esses dados para a força horizontal no pé de um indivíduo a andar, correspon-

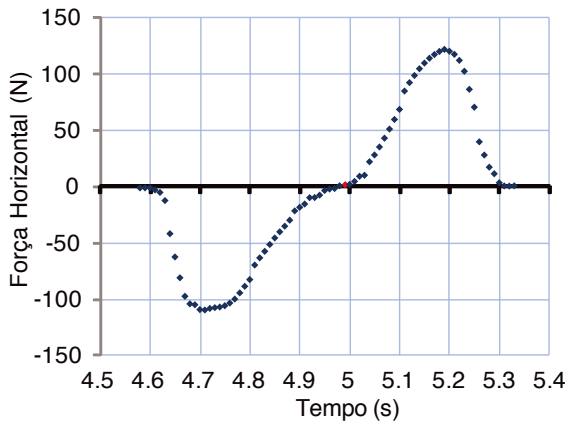


Fig. 1 - Dados reais para a força horizontal exercida sobre um pé de uma pessoa que caminha com velocidade "constante". A figura é adaptada da ref. [10].

dendo a parte negativa da curva à fase da passada em que há travagem, e a parte positiva à fase em que há aceleração. Consideradas as duas fases, o impulso da força é nulo, como uma análise, ainda que superficial, do gráfico da figura 1 permite confirmar.

A Fig. 2 representa cada uma das fases da passada. As forças indicadas referem-se à fase [a] em que a força $\vec{F}$ é para trás (fase que dura um intervalo de tempo $\Delta t'$), e à fase [b] em que a força $\vec{F}$ é para a frente (fase que dura um intervalo de tempo Δt). Na Fig. 1, $\Delta t'$ é ligeiramente superior a Δt.

Para melhor se entender a situação real podemos supor um modelo simples com forças constantes. Trata-se de um *toy*

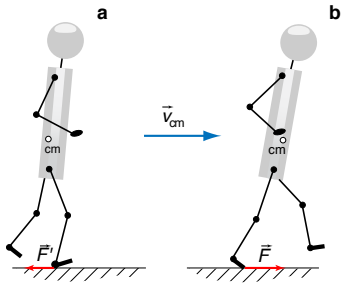


Fig. 2 - Forças para trás e para a frente nas duas fases diferentes de uma mesma passada.

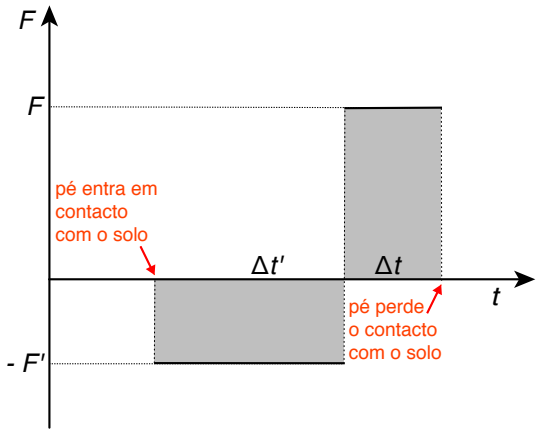


Fig. 3 - Força horizontal em função do tempo; as áreas sombreadas são iguais, pelo que o impulso da força no intervalo de tempo $\Delta t'+\Delta t$ é zero.

model em que as forças horizontais sobre o pé são as que se representam na Fig. 3. Admite-se que num intervalo de tempo, Δt, a força é constante e para a frente, de grandeza F; e, num outro intervalo de tempo, $\Delta t'$, a força que atua, também constante mas agora para trás, tem grandeza F'. Os valores concretos, que podem ser diferentes, tanto das forças, F e F', como dos intervalos de tempo, Δt e $\Delta t'$, não importam para a discussão. Por outro lado, para essa discussão, despreza-se o efeito da resistência do ar.

Num ciclo, que corresponde a uma passada e ao intervalo de tempo $\Delta t'+\Delta t$, o impulso da força horizontal é nulo. Claro que se podiam usar forças mais realistas mas os integrais em (1) e (2) seriam mais trabalhosos. Com forças constantes essas integrações são imediatas conduzindo a

$$M\left(v'_{\mathrm{f}}-v'_{\mathrm{i}}\right)=-F'\Delta t' \quad \text{e} \quad \tfrac{1}{2}M\left(v'^{2}_{\mathrm{f}}-v'^{2}_{\mathrm{i}}\right)=-F'\Delta x' \qquad (4)$$

onde $v'_{\mathrm{i,f}}$ são as velocidades do centro de massa inicial e final na primeira fase da passada e $\Delta x'$ o deslocamento do centro de massa no intervalo de tempo $\Delta t'$. Para a outra fase da passada

$$M\left(v_{\mathrm{f}}-v_{\mathrm{i}}\right)=F\Delta t \quad \text{e} \quad \tfrac{1}{2}M\left(v^{2}_{\mathrm{f}}-v^{2}_{\mathrm{i}}\right)=F\Delta x \qquad (5)$$

onde $v_{\mathrm{i,f}}$ são igualmente as velocidades inicial e final do centro de massa e Δx o deslocamento deste ponto durante esta outra fase da passada que dura Δt. Evidentemente que a velocidade final da primeira fase é igual à velocidade inicial da segunda fase, $v'_{\mathrm{f}}=v_{\mathrm{i}}$, e também $v_{\mathrm{f}}=v'_{\mathrm{i}}$ (o próximo ciclo, que não está representado na Fig. 3, já vai ocorrer com o outro pé). No regime estacionário da caminhada, em que estas condições se verificam, as equações (4) e (5) permitem concluir:

$$\left|I'\right|=F'\Delta t'=F\Delta t=I \quad \text{e} \quad \left|W'_{\mathrm{p}}\right|=F'\Delta x'=F\Delta x=W_{p}. \qquad (6)$$

Ou seja, há um impulso negativo e um impulso positivo que se anulam; e há também um pseudo-trabalho negativo e um pseudo-trabalho positivo (o índice p na equação anterior refere-se a "pseudo") que também se anulam. O resultado é que, no final da passada, nem o momento linear do centro de massa nem a energia cinética do sistema variaram em relação ao início da passada.

Na Fig. 4 representa-se a velocidade do centro de

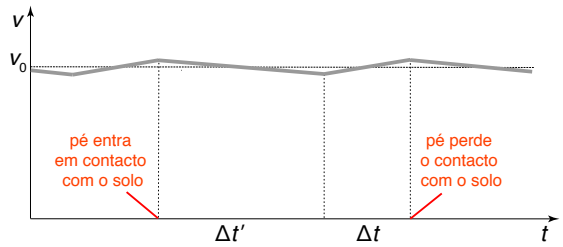


Fig. 4 - Velocidade do centro de massa em função do tempo.

massa, admitindo que um pé chega ao solo no exato instante em que o outro o abandona (se assim não for deixará de haver marcha e passará a haver corrida). As acelerações, positivas e negativas, são constantes e designamos por v_0 o valor da "velocidade de cruzeiro".

Os dados da Fig. 1 sugerem que uma força horizontal mais realista seja uma função sinusoidal, por exemplo, $F=-F_0\sin(\omega t)$ (no semi-período inicial a força é para trás e no outro semi-período a força é para a frente). Neste caso os integrais em (1) e (2) são ainda simples de efetuar mas o resultado final praticamente não difere, mesmo quantitativamente, do que se obtém com o *toy model*: a alteração mais significativa é os "bicos" no gráfico da Fig. 4 ficarem arredondados (e $\Delta t = \Delta t'$).

Podemos retirar uma primeira conclusão: na marcha, tão importante quanto a força para a frente no pé é a força para trás, no mesmo pé, num outro intervalo de tempo. A marcha normal é, pois, uma sucessão de ciclos em que, cada um, compreende uma travagem e uma aceleração. Ao fim de um ciclo recupera-se o estado dinâmico inicial, pois não houve variação da velocidade do centro de massa já que $\Delta p_{cm}=0$ e $\Delta K_{cm}=0$, em consequência do anulamento do impulso e do pseudo-trabalho no ciclo.

O estudo até agora feito pressupõe que a reação normal sobre o pé seja igual ao peso. Como se disse antes, na realidade a força normal varia com o tempo e essa variação é tal que o valor da resultante vertical varia ao longo do tempo de forma qualitativamente análoga à do valor da força de atrito horizontal. Podemos então imaginar um modelo simples para descrever a resultante das forças verticais (peso e reação normal) semelhante ao que fizemos para a força horizontal. O resultado para a componente vertical da velocidade do centro de massa seria idêntico ao da Fig. 4, agora com $v_0 = 0$.

Um comentário sobre o efeito da resistência do ar: as velocidades numa caminhada normal são pequenas e o efeito da força de resistência do ar (*drag force*) é pequeno e foi desprezado. Se se levasse em conta esse efeito, o impulso da força de resistência seria negativo e iria somar-se ao impulso negativo da força para trás; este impulso total negativo teria de ser compensado pelo impulso positivo da força horizontal para a frente.

4. Pessoa a andar – aspetos termodinâmicos

Só é possível andar porque quem caminha – uma pessoa, um animal, um brinquedo – possui uma fonte interna de energia. A ideia, que não é assim tão rara, de que é precisamente essa energia interna que se transforma em energia cinética quando caminhamos, merece reflexão, até porque, como vimos, a energia cinética é a mesma no início e no final de cada passada. Para onde vai então a energia que sabemos ser necessária para caminhar? A resposta encontra-se no quadro da primeira lei da termodinâmica expressa pela Eq. 3.

Talvez ajude não pensar agora em pessoas mas antes num boneco a andar como o que se mostra na Fig. 5, que tem a forma de um robot e é a corda (embora ter aspeto de robot e ser a corda sejam meros pormenores).

Fig. 5 - Brinquedo que caminha graças a uma fonte interna de energia (mola helicoidal, vulgo corda).

O brinquedo da Fig. 5, que por vezes também caminha nas minhas aulas, tem uma fonte de energia interna mecânica (é ecológico, não funciona a pilhas!). Quando se dá corda ao boneco e ele começa a andar há no brinquedo uma variação de energia interna que se pode escrever

$$\Delta U = \tfrac{1}{2}k\left(\theta^2 - \theta_0^2\right) \tag{7}$$

sendo $U_0 = \tfrac{1}{2}k\theta_0^2$ a energia interna inicialmente armazenada na mola em espiral (a "corda") e k a respetiva constante elástica. O ângulo θ, cujo valor inicial é θ_0, é uma função decrescente do tempo: a energia interna do boneco diminui ao longo do tempo.

Comecemos por analisar um ciclo completo (ou seja, uma passada do boneco) à luz da Eq. 3. Quanto ao lado esquerdo da equação, não há variação de energia cinética, $\Delta K_{cm}=0$, mas há variação de energia interna ($\Delta U<0$). Quanto ao lado direito, não há trabalho das forças externas [11] (o peso e a reação normal não realizam trabalho; e a força de atrito estático também não realiza trabalho), $W_{ext}=0$, pelo que terá de haver calor, Q. Quer dizer, para um ciclo,

$$\Delta U = Q < 0 \tag{8}$$

e a conclusão é que a energia ΔU flui, como calor, para a vizinhança. Estamos a admitir um modelo muito simplificado para explicar estes aspetos energéticos. Desde logo estamos a supor que o processo se dá sem incremento de temperatura, nem do boneco, nem da vizinhança que se considera um reservatório de calor à temperatura T. A outra inevitável conclusão é que a entropia do universo aumenta de $\Delta S_U=-Q/T>0$. (Note-se que o fluxo de calor do ponto de vista do reservatório é o simétrico do calor do ponto de vista do sistema.)

Vale a pena ver melhor o que se passa ao longo de cada uma das fases do ciclo e podemos começar pela fase de aceleração (sendo um ciclo não importa por onde se começa). Nesta fase a energia cinética aumenta, graças à diminuição da energia interna. O lado direito da Eq. 3 é nulo nesta fase. Já na outra fase a energia cinética antes ganha pelo sistema "perde-se", no sentido em que se dissipa na

vizinhança. Vendo isoladamente a primeira fase do processo, podemos até admitir que ela é reversível no sentido em que uma forma organizada de energia – a energia potencial elástica da mola – se converteu numa outra forma ainda organizada: a energia cinética do centro de massa. O sistema mantém armazenada a energia, digamos, numa forma que continua útil (numa linguagem termodinâmica dizemos que o sistema mantém a capacidade de realizar trabalho). Mas, na segunda fase da passada, a energia cinética adquirida na primeira fase, dissipa-se irremediavelmente na vizinhança: a energia *está lá* na vizinhança mas agora numa forma desorganizada e o processo é claramente irreversível. A Eq. 8 verifica-se para cada passada e, quando o boneco deixar de andar por se ter acabado a corda, a sua energia interna baixou de $|\Delta U_{total}|$ e a entropia do universo aumentou de $\Delta S_U = -\Delta U_{total}/T > 0$.

No caso de uma pessoa de carne e osso, em vez do brinquedo de corda, a fonte de energia interna resulta das reações bioquímicas que têm lugar nos músculos. O sistema termodinâmico é muito mais complexo do que no caso do brinquedo e, mesmo no quadro de um modelo simplificado, no mínimo, teremos de supor que essas reações têm lugar a pressão constante e a temperatura constante (a atmosfera funciona então como fonte de calor e de trabalho). Os raciocínios antes elaborados podem ser decalcados mas agora o potencial termodinâmico apropriado é a energia livre de Gibbs [7], sendo que o equivalente da Eq. 8 passa a ter a forma $\Delta G = Q < 0$: numa passada a pessoa baixa a sua energia livre que acabará por ser dissipada, durante essa mesma passada, na vizinhança. Este resultado termodinâmico é geral, e a conclusão não muda qualquer que seja o modelo. E mesmo que se tenha em conta a oscilação vertical do centro de massa, a conclusão anterior não se altera: o decréscimo da energia interna (ou energia livre de Gibbs) é primeiro convertido em incremento de energia cinética, havendo logo de seguida um igual decréscimo de energia cinética, energia essa que acaba por se "perder" (no sentido da sua utilidade), pois dissipa-se na vizinhança.

É reconhecido que a complementaridade das análises mecânica e termodinâmica de sistemas é útil para a melhor compreensão física dos fenómenos [12]. Em artigos recentes foi explorada essa complementaridade em exemplos que envolvem rotações e produção de energia mecânica ou dissipação de energia [13,14] e em exemplos de movimentos do ser humano, tais como saltar e rodopiar [15], ou de movimentos em brinquedos [16, 17].

Referências

1. H. Benson, *University Physics* – revised edition, John Wiley & Sons, Inc. New York (1996).
2. J. K. Kane, M. M. Sternheim, *Physics* – third edition, John Wiley & Sons, Inc. New York
3. J. Güémez, M. Fiolhais, "The Physics of a walking robot", Phys. Educ. 48, 455-458 (2013).
4. C. M. Penchina, "Pseudowork-energy principle", Am. J. Phys. 46, 295-296 (1978).
5. A. J. Mallinckrodt, H. S. Leff, "All about work", Am. J. Phys. 60 356-365 (1992).
6. D. Halliday, R. Resnick, *Fundamentos de Física – 1 Mecânica*, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro (1991).
7. J. Güémez, M. Fiolhais, "From mechanics to thermodynamics – analysis of selected examples", Eur. J. Phys. 34, 345-357 (2013). http://iopscience.iop.org/0143-0807/34/2/345/article
8. R. Cross, "Standing, walking, running, and jumping on a force plate" Am. J. Phys. 67, 304-309 (1999).
9. N. Messenger, Moving the human machine: understanding the mechanical characteristics of normal human walking, Phys. Educ. 29, 352-357 (1994).
10. O. A. Haugland, "Walking through the impulse-momentum theorem", Phys. Teach. 51, 78-79 (2013).
11. H. S. Leff, A. J. Mallinckrodt, "Stopping objects with zero external work: Mechanics meets thermodynamics", Am. J. Phys. 61, 121-127 (1993).
12. C. A. de Sousa, E. P. Pina, "Aspects of mechanics and thermodynamics in introductory physics: an illustration in the context of friction and rolling", Eur. J. Phys. 18, 334-337 (1997).
13. J. Güémez, M. Fiolhais, "Forces on wheels and fuel consumption in cars", Eur. J. Phys. 34, 1005-1013 (2013).
14. J. Güémez, M. Fiolhais, "Thermodynamics in rotations – analysis of selected examples", Eur. J. Phys. 35, 015013 (14pp) (2014).
15. J. Güémez, M. Fiolhais, "Thermodynamical asymmetries in whirling, jumping and walking", Eur. J. Phys. 35, 035008 (2014). O artigo vem acompanhado de um video-abstract que também foi colocado em acesso público em http://www.youtube.com/watch?v=5OyZSfY4WXQ. O exemplo considerado no video-abstract é o movimento descrito neste artigo.
16. J. Güémez, M. Fiolhais, "The physics of articulated toys: a jumping and rotating kangaroo", Eur. J. Phys. 35 (2014), 035018. http://iopscience.iop.org/0143-0807/35/4/045018/article
17. J Güémez, Muñeco articulado que camina, Revista Española de Física, 28 (2014) 47-49.

Manuel Fiolhais, 56 anos, é professor da Universidade de Coimbra (UC). Doutorou-se em 1988 e é especialista em física hadrónica. Tem igualmente desenvolvido atividade na área do ensino e da história da física, sendo autor, neste domínio, de vários artigos publicados em revistas internacionais. É autor de manuais escolares para os ensinos básico e secundário e para o ensino superior. Dirige o Centro de Física Computacional da UC.

Como estamos, fisicamente?

João José Pedroso de Lima

Professor Catedrático Jubilado da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

jjplima@netcabo.pt

Resumo

Referem-se as notáveis capacidades das múltiplas células do nosso corpo, os mecanismos de detecção e de controlo que possuem e os métodos de imagem de que dispomos para observar este microcosmos, com realce nas propriedades físicas em que se baseiam. A esperança de que a Biologia Quântica venha trazer novos progressos nos meios de observação, permitindo perceber os mais débeis sinais celulares, é também referida.

Em última análise, um ser humano é o resultado da acção conjugada e controlada de cerca de 10^{14} células – cem biliões (europeus) de células – com funções específicas, individuais e colectivas.

As células são as verdadeiras máquinas dos processos vitais.

Dispõem de estruturas de gestão de energia e processamento de informação, fabricam as moléculas mais complexas que se conhecem, comunicam entre si de forma ainda mal conhecida e são capazes de replicar o material que contém toda a informação que nos caracteriza como seres, como espécie e como indivíduos.

No processo de reprodução celular são copiados, por segundo, terabytes de informação do ADN[1] dos cromossomas.

A potência consumida no metabolismo de uma simples célula típica indica a ocorrência de um total de cerca de dez milhões de reacções químicas por segundo!

A soma da superfície externa de todas as células do corpo, ou seja, a área total de membrana celular no homem, é de cerca 30 mil metros quadrados, significando que temos

[1] Abreviatura de ácido desoxirribonucleico (*N. do Ed.*)

três hectares de uma estrutura complexa, capaz de transporte passivo, activo e selectivo, metabolismo, captura de ligandos, acções eléctricas, recepção de sinais, selecção, catálise enzimática, etc… funções que a enorme área torna eficazes em termos quantitativos.

Porém, as células não desempenham isoladamente as suas funções.

Para além de receberem oxigénio e nutrientes a um ritmo de renovação de cerca de 70 vezes por minuto, no caso do homem, e terem as suas funções sujeitas a diversos tipos de controlo, existem subtis junções através do espaço intercelular, para além de mecanismos dependentes de factores solúveis, produzidos no meio e evidência de memória para acontecimentos físico-químicos relevantes.

As propriedades físicas da matéria, neste estado de divisão, podem ser muito diferentes das observadas nas condições correntes, mas todos os processos biológicos e interacções com o exterior são controlados pelo sistema nervoso cujas características poderão corresponder às do dispositivo biológico mais complexo do universo.

Existem no córtex cerebral cerca de 25 mil milhões de neurónios com cerca de 10 mil sinapses por neurónio, o que contabiliza $2{,}5\times10^{15}$ (dois mil e quinhentos biliões) de sinapses no córtex cerebral. Estima-se que este número seja cerca de mil vezes o número de estrelas na nossa galáxia.

Mas, em oposição a estes números astronómicos estão valores mínimos ligados às nossas capacidades sensoriais e mentais.

Por exemplo, detectamos estímulos luminosos da ordem dos 10^{-17} W, constituídos por um escasso número de fotões[2]. A imagem na nossa retina de um gato a 60 metros mede cerca de 80 micrómetros, ouvimos sons 16 dB acima do ruído térmico, medimos atrasos temporais no ouvido da ordem das dezenas de microsegundo, detectamos concentrações, pelo olfacto, de uma fracção por milhão, etc.

Nas últimas décadas as ciências exactas permitiram entender melhor o complexo sistema que é o ser humano e perceber também as enormes lacunas que ainda existem neste conhecimento.

Muitos dos mecanismos da vida, altamente complexos, foram explicados pelas leis da Física, que permitiram a interpretação de múltiplos fenómenos associados à estrutura e às funções do organismo, quer a nível macroscópico, quer microscópico.

As leis gerais da Física estão visíveis em grande parte da ciência médica mas, no presente, onde é mais mediática a presença da Física e da engenharia na medicina é nos métodos de diagnóstico pela imagem. Isto tem a ver com os extraordinários avanços ocorridos, nas últimas décadas, em todas as modalidades destes métodos: a morfológica, a funcional, a molecular, a dinâmica a multi-paramétrica e a 3D.

[2] O limite de detecção para uma fonte "efectivamente pontual" (que corresponde a uma pupila artificial com 2,1 mm de diâmetro) e para luz de λ= 0,507 μm (máxima eficiência escotópica) corresponde ao valor de $4\text{–}7\times10^{-17}$ W.

Obtemos imagens do interior do corpo utilizando formas de energia radiante que atravessam e interagem com os tecidos biológicos de modo a fornecerem uma informação diferencial sobre as estruturas e transformando depois esta informação, em imagens paramétricas. Estas poderão ser visualizadas como imagens ópticas ou utilizadas como matrizes matemáticas no computador, em estudos dinâmicos. Neste último caso a Medicina Nuclear transformou a imagem médica num simples ponto de passagem nos estudos do metabolismo e da cinética molecular.

Devemos notar que através das imagens médicas, tentam detectar-se alterações em sistemas biológicos complexos, dependentes de dezenas ou centenas de variáveis, medindo apenas e modestamente… uma ou algumas destas variáveis, geralmente de modo indirecto… e com constrições geométricas, técnicas, estatísticas, de protecção, etc.

Cada método privilegia os seus parâmetros. A radiologia a concentração electrónica, a MRI a densidade de spin nuclear, transições entre estados energéticos de spin e interacção molecular, a ecografia as variações de impedância acústica, a Medicina Nuclear a concentração de moléculas biológicas radioactivas e a sua dinâmica.

A interpretação de uma imagem médica inclui a compreensão das limitações do método de imagem utilizado, do processamento da informação, do próprio mecanismo da visão e do processo psicofísico de análise crítica com vista ao diagnóstico.

Em algumas das técnicas de imagem, por exemplo na radiologia digital e na gamagrafia planar, a imagem final é uma representação plana de um objecto tridimensional, sendo sacrificada uma variável de posição.

O médico tem de pensar no doente que está por detrás de uma versão plana dos seus órgãos e ter uma longa aprendizagem prévia que introduza coerência no que está a observar, assim como nas possíveis variações, de caso para caso.

Como é que estamos, no presente, quanto aos limites biofísicos da informação fornecida por estes métodos?

Através da Medicina Nuclear (PET e SPECT) detectamos a presença de moléculas radioactivas com a sensibilidade do picomole.

O PET é o método mais específico e sensível de visualizar, os percursos e as interacções moleculares nos tecidos humanos.

Podemos estudar o metabolismo de milhares de moléculas sem alterar as suas propriedades químicas nem a sua acção biológica.

Podemos visualizar e quantificar no espaço e no

Medicina nuclear – técnicas	
PET	(*Positron Emission Tomography*) tomografia por emissão de positrões – técnica de imagem da medicina nuclear que utiliza a administração de radionuclídeos emissores de positrões, cujos fotões de aniquilação são detectados para obter imagens.
SPECT	(*Single-photon emission computed tomography*) tomografia computorizada por emissão de fotão único – técnica tomográfica de imagem da medicina nuclear que utiliza radiação gama emitida por radiofármacos administrados aos pacientes.
MRI	(*Magnetic resonance imaging*) Imagem por ressonância magnética – técnica usada para investigar a anatomia e a fisiologia do corpo. Na MRI são utilizados campos magnéticos intensos e ondas de rádio-frequência para construir as imagens.
fMRI	(*Functional magnetic resonance imaging*) Imagem por ressonância magnética funcional – técnica usada em clínica e investigação que detecta variações mínimas do fluxo sanguíneo local permitindo visualizar, por exemplo, imagens evocadas de regiões cerebrais.
TAC	Tomografia axial computorizada – técnica de diagnóstico que utiliza raios X para obter múltiplas projecções que, processadas pelo computador, permitem obter imagem de cortes de regiões do corpo.

tempo os processos moleculares e celulares, no vivo.

O desenvolvimento de ligandos altamente específicos de diferentes tipos de tumores, ou tecidos, marcados com emissores de positrões, serão, no futuro, a alternativa não invasiva da biópsia para a detecção decisiva de tumores e outras afecções. O ritmo de aparecimento de novos radiotraçadores com possíveis aplicações em diagnóstico e, alguns, também em terapêutica é, no presente, impressionante.

O SPECT poderá em breve ser uma técnica altamente valorizada quando entrar no mercado a câmara gama com redes de difracção nanoestruturadas, que funcionam como lentes ópticas para os raios gama. Tumores do tamanho de um grão de arroz poderão ser detectados com este dispositivo.

A MRI fornece informação sobre estrutura e função. Permite distinguir tecido mole de nervos, matérias cinzenta e branca no cérebro.

Com a fMRI é possível medir a resposta hemodinâmica (variação do caudal sanguíneo) relacionada com a actividade neuronal no cérebro e medula espinal. A fMRI tornou-se uma técnica de eleição para o estudo funcional do cérebro.

A difusão MRI é uma técnica de imagem baseada num tensor de difusão que permite a observação da difusão anisotrópica da água ao longo dos nervos, permitindo ter a representação no vivo da distribuição das fibras nervosas no cérebro.

A difusão da água, avaliada quantitativamente por MRI, é altamente sensível à estrutura dos tecidos, aos níveis celular e subcelular.

A TAC espectral (TCE) uma nova modalidade de TAC permite melhorar o contraste e quantificar a presença de diferentes materiais, utilizando um novo tipo de detectores rápidos capazes de executar a contagem individual dos fotões e fornecer informação de energia por elemento de imagem.

Com esta modalidade, a tão sonhada radiologia com feixe de raios X monoenergético é agora realizada e para mais de cem energias simultâneas, permitindo conhecer a composição atómica de elementos de volume de tecido inferiores a um milímetro cúbico com um rigor analítico até aqui nunca atingido.

Também a multimodalidade avançou em força. A junção de parâmetros aproxima-nos do real. A complementaridade do anatómico e funcional é óbvia e já há disponíveis SPECT/CT[3], PET/CT e PET/ MRI.

Curiosamente, nesta procura de se ter informação sobre o interior do corpo, percebemos os movimentos moleculares funcionais com rigor quantitativo mas temos distâncias de resolução espacial ainda da ordem da fracção de milímetro.

É também surpreendente que nos espantemos com estas máquinas e sistemas de diagnóstico esquecendo as enormes potencialidades que, realmente, temos dentro de nós.

Arrastamos connosco um enorme sistema de controlo com elaborados sensores em cada milímetro cúbico do nosso corpo, que recolhem diversos tipos de informação sobre o nosso meio interior, à custa de interorreceptores de diversos tipos: nocirreceptores, termorreceptores, mecanorreceptores, barorreceptores, etc…

O que terá acontecido com a evolução, que colocou todos estes sensores nos locais certos, foi capaz de desenvolver a capacidade de detectar variações ínfimas de múltiplos parâmetros, mas não permitiu a detecção e uma acção precoce suficientemente eficaz sobre as alterações celulares iniciais, por exemplo nas neoplasias?

[3] CT é a abreviatura de *Computerized Tomography*, tomografia computorizada (*N. do Ed.*)

Certamente que há excitação nervosa e informação disponível no início dos processos tumorais, uma informação que, possivelmente, se perde porque está abaixo dos limiares de sensibilidade e capacidade de filtragem dos mecanismos de defesa para os quais evoluímos (apoptose e reacção imunológica).

Era de esperar que se tivessem desenvolvido sistemas de protecção com interesse para a sobrevivência, o que certamente nos faz pensar na modernidade do problema que acabámos de referir.

Restringindo-me agora aos factos, pergunto-me quando será a ciência capaz de aproveitar para o diagnóstico esta preciosa informação oculta que se perde? Que enorme avanço seria naqueles casos em que a vida depende da precocidade na detecção!

Mas há muito mais para fazer pois para além da informação fornecida pela imagem molecular, a traduzir os movimentos metabólicos há as subtis diferenças de energia que provocam as interacções, os processos associativos e as configurações moleculares, os seus movimentos e as suas ligações, que só muito parcialmente detectamos com a MRI.

A quantificação destas interações e os seus efeitos começam a ser estudados. São matéria da Física Teórica e entram numa nova dimensão da matéria viva.

A Biologia Quântica usa computadores de alto desempenho para modelar, com precisão, processos biológicos complexos, utilizando os conceitos da física quântica. Esta especialidade da Biologia está ainda na infância e deve ser a peça final para uma distinção fina entre saúde e doença.

Na ciência da imagem médica a Física está na base dos processos e na sua interpretação, dá lugar depois à Química e à Biologia, mas poderá voltar em força com a interpretação quântica dos processos biológicos… numa última fase da jornada, até vermos as células, as funções e a doença, do exterior…

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Referências

1. J.T. Bushberg, J. A. Seibert, E. M. Leidholdt Jr, J.M. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 2nd Edition, Williams & Wilkins (2001).
2. M. A. Flower, *Webb's Physics of Medical Imaging*, 2nd Edition, Series in Medical Physics and Biomedical Engineering, CRC Press (2012).
3. W. R. Hendee, R. E. Ritenour, *Medical Imaging Physics*, 4th Edition, Wiley-Liss (2002).
4. J. J. P. Lima, "A Física da imagem", Gazeta de Física, Vol. 30, Fasc. 1 (2007).
5. A. Mishra, A. Rai, A. Yadav, "Medical Image Processing: A Challenging Analysis", Int. J. of Bio-Sci. and Bio-Techn. 6(2), 187-194 (2014).
6. D. S. Goodsell, *The Machinery of Life*, Copernicus, Springer Verlag (1992).

João José Pedroso de Lima é Professor Catedrático jubilado da Fac. de Medicina da Univ. de Coimbra. É Doutor Honoris Causa pelas Univ. de Aveiro e do Algarve. Foi Presidente do Conselho Directivo do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. de Coimbra, Director do Instituto de Biofísica/Biomatemática da Fac.de Medicina da Univ. Coimbra, Presidente do Conselho Directivo do IBILI, Fac. de Medicina e Responsável pelo Projecto PET, Univ. de Coimbra. É sócio honorário da Soc. Port, de Física e foi membro dos órgãos diretivos da Soc. Europeia de Medicina Nuclear, Soc. Port. de Med. Nuclear, Soc. Port. de Fisiologia, Soc. Port. de protecção contra as radiações ionizantes e Soc. Port, de Física. Os seus interesses científicos incidem sobre a Biofísica, os estudos funcionais com radionuclídeos e as imagens médicas. Tem cerca de trezentos artigos científicos em publicações nacionais e internacionais e é autor / coautor de dezasseis livros sobre medicina e biofísica.

17
física sem fronteiras
VOL. 37 - N. 3

Complexo e surpreendente

Alexandre Andrade

Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8, 1749-016 Lisboa

aandrade@fc.ul.pt

Resumo

«Como funciona o nosso cérebro?» Nunca, como hoje, foi possível responder de forma tão rigorosa e completa a esta pergunta, velha de séculos. O cérebro esconde ainda muitos dos seus segredos, mas, graças à Física e à Engenharia, entre muitas outras disciplinas, novas e fascinantes descobertas são feitas todos os anos sobre este órgão, sem dúvida o mais complexo e surpreendente que possuímos.

Desde o início da história da ciência que o cérebro humano exerceu um fascínio profundo sobre todos aqueles que se dedicaram ao seu estudo. Hoje em dia sabemos que o cérebro alberga funções e capacidades tão diversas como o raciocínio, o controlo do movimento voluntário, o processamento dos dados sensoriais, a memória, a afectividade, as emoções e a produção e compreensão da linguagem. Dada a sua complexidade, assim como a importância e diversidade das funções que assegura, compreende-se que o estudo do cérebro esteja actualmente no topo das prioridades das principais potências da investigação a nível mundial.

Não é também de admirar que a investigação sobre este órgão tenha uma visibilidade tão grande junto do público que se interessa minimamente por ciência. O cérebro é fonte de interesse e perplexidade, mas também de receio. As tentativas de aprofundar o nosso conhecimento sobre um órgão tão poderoso e tão fortemente associado à essência da espécie humana não podem deixar de suscitar inquietações. A melhor maneira de contribuir para reduzir estas inquietações à sua expressão mais adequada e de dissipar os mitos e alegações pseudocientíficas que se disseminam e contaminam o debate público com demasiada facilidade é fornecer respostas claras e actuais a questões como: «O que é o cérebro?»; «O que o torna tão eficiente e versátil?»; «O que sabemos sobre o cérebro?»; «O que queremos saber sobre ele?»; e «Para quê?» Este artigo terá cumprido o seu objectivo se for capaz de oferecer um primeiro esboço de resposta a estas perguntas e de aguçar o apetite do leitor para aprofundar essas respostas por sua conta.

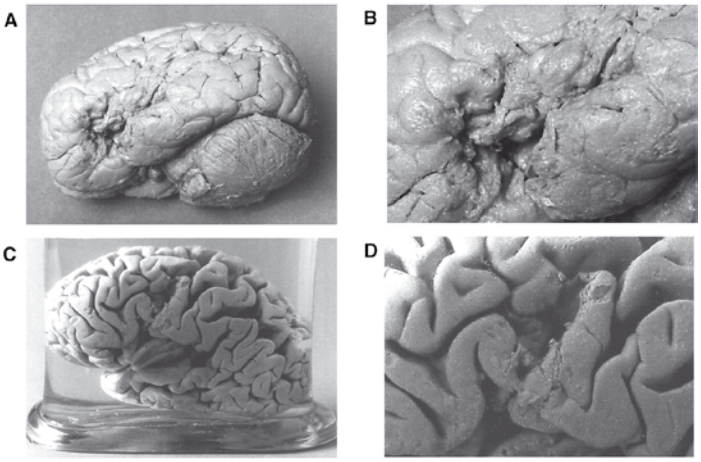


Fig. 1 - Cérebro do doente de Paul Broca ("Leborgne"), com a lesão na região frontal inferior bem visível. Fonte: Ref. 1.

Durante vários séculos, mesmo quando já estava estabelecido que a sede das funções cognitivas residia no cérebro, o funcionamento deste órgão permanecia um enigma. Para tal ignorância contribuía o facto de a associação entre estrutura e função ser muito mais ténue no caso do cérebro do que, por exemplo, no caso do coração ou dos pulmões. À primeira vista, nada denuncia a intricadíssima sofisticação interna do cérebro: a impressão é a de uma massa esbranquiçada, de consistência mole e superfície enrugada. Foi preciso esperar pelo final do século XIX e pelas descobertas de neurologistas como Camillo Golgi (1843-1926) e Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) para se ficar a saber que a estrutura interna do cérebro, assim como a do restante sistema nervoso, se baseia em células, chamadas "neurónios", que estão interligadas em rede. Mais tarde ficou

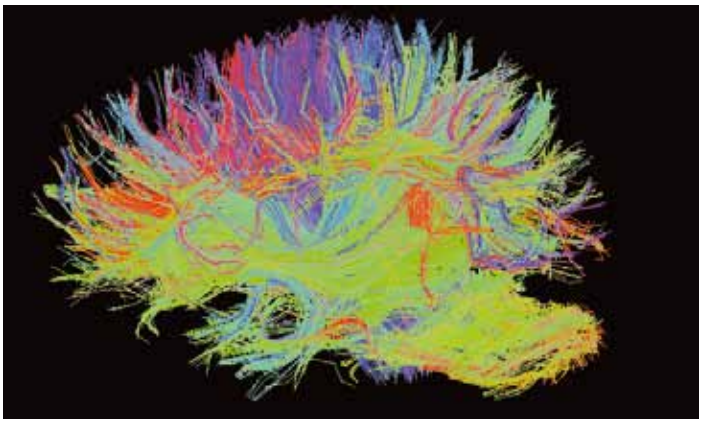


Fig. 2 - Imagem de tractografia de um cérebro humano. Esta técnica permite visualizar *in vivo* as conexões estruturais entre regiões do cérebro humano, ajudando assim a perceber as suas interacções. As diferentes cores representam diferentes feixes axonais que ligam entre si regiões distantes. Cortesia Hugo Ferreira, projecto FCT PTDC/SAU-ENB/120718/2010.

estabelecido que os neurónios transmitem informação, de forma controlada, por meio de um impulso eléctrico denominado "potencial de acção" que percorre o prolongamento do neurónio, denominado "axónio". O número de neurónios no cérebro de um ser humano adulto é da ordem de 50 a 100 mil milhões. Por mais impressionante que seja este número, ele empalidece face à estimativa para o número de ligações entre neurónios: cerca de 100 milhões de milhões. Estas ligações, muito longe de serem aleatórias, distribuem-se de forma rigorosa de modo a suportar as variadíssimas funções cerebrais. O cérebro pode assim ser descrito como uma máquina extremamente sofisticada e robusta de armazenamento e transmissão de informação. Afirmar que se trata do mais complexo de todos os objectos conhecidos no universo pode ser um lugar-comum, mas é também uma verdade indesmentível.

Contudo, a extraordinária complexidade da estrutura do cérebro ao nível celular diz-nos pouco sobre o seu funcionamento a escalas maiores. Funcionará o cérebro como um todo homogéneo ou será composto por módulos funcionalmente especializados? Quais são as regiões cerebrais que intervêm quando sentimos o aroma de um fruto, quando resolvemos uma grelha de Sudoku ou quando lemos uma frase escrita como esta? Estas questões dividiram os protagonistas da história das neurociências e foram sendo parcial, incorrecta e superficialmente respondidas. Apesar do engenho e da dedicação postos ao serviço da investigação sobre o cérebro, durante vários séculos as técnicas disponíveis eram demasiado limitadas e rudimentares. É testemunho do talento espantoso de alguns neurocientistas o facto de, apesar da escassez de recursos, terem sido capazes de protagonizar avanços notáveis na compreensão da função cerebral. Num dos casos mais célebres, ocorrido em 1861, Paul Broca (1824-1880) prognosticou, apenas com base na observação do défice linguístico de um doente que este teria sofrido uma lesão na região frontal inferior esquerda (hoje denominada "área de Broca"), o que se veio a verificar no exame *post-mortem*. Poucos anos mais tarde, Carl Wernicke (1848-1905) descreveu um outro tipo de défice de linguagem e associou-o a lesões na região temporal superior esquerda. Tornava-se cada vez mais claro que o cérebro não era uma massa homogénea e indiferenciada: a hipótese de especialização funcional ganhava preponderância. Porém, o carácter aleatório destas observações dispersas inviabilizava uma exploração sistemática que fosse capaz de estabelecer a relação entre a anatomia e a função cerebral de forma mais sólida. Faltavam ferramentas que permitissem ir mais além.

A descoberta dos raios X por Wilhelm Röntgen (1845-1923), em 1895, foi sem dúvida um dos eventos marcantes da ciência moderna e teve repercussões profundíssimas em vários domínios, em particular na medicina. O impacto imediato no estudo do cérebro foi muito limitado, pois os tecidos cerebrais, pela sua natureza, não são distinguíveis numa radiografia. Contudo, esta data merece ser evocada porque assinalou o nascimento da imagiologia médica e anunciou uma nova era em que a exploração não-invasiva do corpo humano se tornou possível. A história da medicina no século XX é, com efeito, marcada pelo desenvolvimento de numerosas técnicas de imagem médica, muitas das quais contribuíram decisivamente para a investigação sobre o cérebro. Por ordem cronológica, podemos citar: a electroencefalografia, que regista potenciais eléctricos gerados pelo cérebro ao nível do escalpe; a tomografia de emissão de positrões, que localiza regiões de elevado metabolismo ou fluxo sanguíneo; a ressonância magnética, que permite obter imagens de qualquer parte do corpo com excelente contraste, sem recurso a radiações perigosas; a magnetoencefalografia, semelhante à electroencefalografia mas registando actividade magnética em vez de eléctrica, o que lhe confere maior precisão especial. No início dos anos 90 surgiu a ressonância magnética funcional (RMf), que permite detectar e localizar activação no cérebro de forma segura e não-invasiva. Apesar das suas limitações, nomeadamente devido ao facto de ser sensível a variações associadas à actividade neuronal, oferecendo por isso apenas uma medida indirecta desta , a RMf revolucionou a investigação sobre a função cerebral e tornou-se a ferramenta mais usada nesta área. Graças, em grande medida, à RMf, os anos finais do século XX e o início do século XXI foram extremamente férteis em novas descobertas. Os numerosíssimos estudos que foram sendo realizados e relatados ano após ano permitiram caracterizar as regiões cerebrais responsáveis por funções e aptidões tão específicas como o reconhecimento do rosto de um familiar, a geração de nomes de animais ou a visualização mental da rotação de um objecto. Mais recentemente, a ênfase tem recaído cada vez mais na tentativa de perceber como as regiões do cérebro interagem, de maneira extremamente precisa e coordenada, para permitir realizar muitas das acções do quotidiano que exigem a integração de dados sensoriais de várias fontes, recurso à memória de curto prazo, atenção e estratégia.

Outro tópico que tem estado em destaque é o estudo da actividade cerebral dita "de repouso": mesmo quando, aparentemente, não estamos a realizar qualquer tarefa nem esforço mental, o nosso cérebro está em pleno funcionamento. Redes de regiões cerebrais que mantêm actividade robusta e coordenada durante o repouso aparente estão hoje bem descritas na literatura. A investigação volta-se cada vez mais para metodologias e abordagens heterodoxas, como por exemplo a teoria dos grafos e das redes, que permitiu encontrar semelhanças inesperadas entre a organização do cérebro e redes sociais como o Facebook. Com o surgimento de instrumentos e meios computacionais cada vez mais potentes, a imaginação dos investigadores encontra cada vez menos limites e uma margem mais ampla para se exprimir.

A pergunta "Para quê?" é sempre legítima em qualquer ramo da ciência. Como justificar perante o público e perante as entidades financiadoras o interesse e os recursos gastos na investigação sobre o cérebro? À razão mais óbvia (trata-se afinal do objecto mais complexo conhecido pela humanidade – como negar que o seu estudo é pertinente?), podem juntar-se muitas outras. Destaquemos apenas duas. Em primeiro lugar, uma fatia substancial da investigação sobre o cérebro visa especificamente o estudo de alterações associadas a patologias como a doença de Alzheimer, a epilepsia e a esquizofrenia, entre muitas outras. O impacto na compreensão destas doenças e no aperfeiçoamento de métodos de diagnóstico tem sido significativo. Em segundo lugar, é interessante notar que o estudo do funcionamento do cérebro teve como consequência colateral o desenvolvimento de algoritmos de classificação automática inspirados em modelos de neurónios: estas "redes neuronais artificiais" são usadas com objectivos tão diversos como o reconhecimento da fala ou a filtragem de mensagens de correio electrónico indesejadas. Não convém, contudo, que os argumentos favoráveis camuflem os riscos, as questões éticas e os abusos que a investigação sobre o cérebro tem suscitado. A discussão sobre a legitimidade de certas aplicações da RMf (como a detecção de mentiras) não deve ser escamoteada. É ainda imprescindível que a comunicação com o grande público seja feita de forma séria e responsável, de modo a evitar a percepção, errónea e caricatural, de que todos os traços da personalidade, desde a propensão para o crime até à preferência clubística, são determinados por uma qualquer circunvolução cerebral.

Temos o privilégio de viver numa época em que o conhecimento sobre o cérebro progride a um ritmo dramaticamente superior ao das gerações anteriores. Devemo-lo a todos os pioneiros que, década após década, foram desbravando o caminho graças a descobertas em campos tão diversos como a

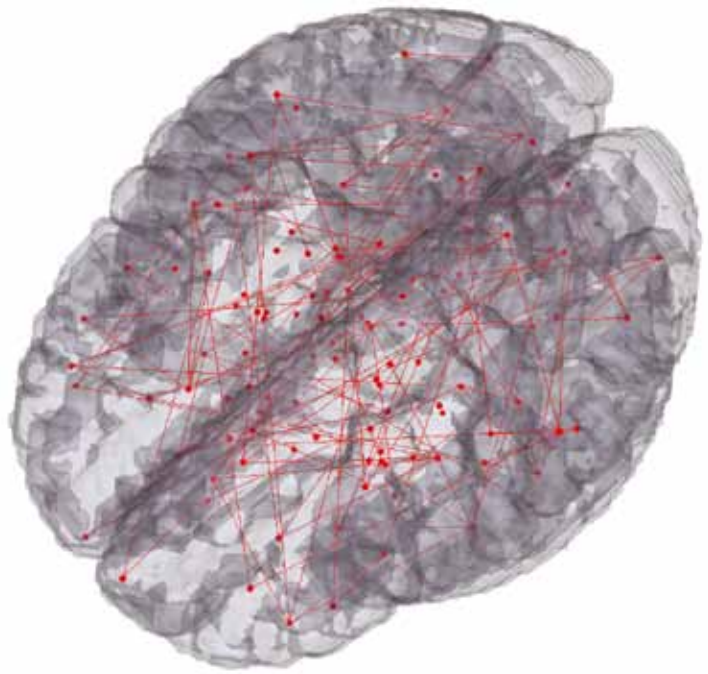


Fig. 3 - Representação, sob forma de grafo, das ligações estruturais entre regiões do cérebro. Cada nodo do grafo representa uma região cerebral. As arestas podem ter pesos associados que reflectem o grau de associação entre as regiões (por exemplo, quantidade de ligações axonais ou uma medida de associação funcional). Cortesia Hugo Ferreira, projecto FCT PTDC/SAU-ENB/120718/2010.

neurologia, a matemática, a física e a engenharia (a ressonância magnética – para dar um só exemplo – não seria possível sem a investigação de base sobre as propriedades magnéticas do núcleo atómico levada a cabo nos anos 30 e 40 do século XX). É também assinalável que a investigação nesta área, embora recorra a equipamentos muito dispendiosos, possui já uma expressão considerável em Portugal, muito graças à colaboração frutuosa estabelecida entre centros de investigação, hospitais e universidades. Se tivermos ainda em conta que muito do software de análise de dados é gratuito e corre em qualquer computador pessoal e que existem actualmente numerosos bancos de dados online de acesso livre, pode afirmar-se com segurança que a investigação sobre os mistérios do cérebro está ao alcance de qualquer pessoa com a formação adequada e a motivação necessária.

A investigação sobre o cérebro é uma das aventuras científicas mais excitantes dos nossos tempos, que convoca pessoas de áreas tão díspares como a medicina, a estatística, a física, a psicologia, as ciências cognitivas, a informática e a engenharia. Existem actualmente instrumentos e técnicas com que os cientistas das gerações anteriores nem se atreveriam a sonhar e a consciência de que este tópico de investigação deve ser prioritário. O muito que já foi feito deve ser avaliado à escala da imensidade de segredos que o cérebro ainda não desvendou. Não há razão para duvidar de que os próximos anos continuarão a ser marcados por descobertas que contribuirão para revelar a fabulosa complexidade e riqueza deste objecto, o mais sofisticado que conhecemos.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Referências

1. N. F. Dronkers, O. Plaisant, M. T. Iba-Zizen, e E. A. Cabanis, "Paul Broca's historic cases: high resolution MR imaging of the brains of Leborgne and Lelong", Brain 130(5), 1432–1441 (2007).
2. E. R. Kandel et al., "Neuroscience thinks big (and collaboratively)", Nature Reviews Neuroscience 14, 659-664 (2013).
3. D. G. Norris, "Principles of Magnetic Resonance Assessment of Brain Function", Journal of Magnetic Resonance Imaging 23, 794-807 (2006).
4. C. J. Stam, "Modern network science of neurological disorders", Nature Reviews Neuroscience 15, 683-695 (2014).

Alexandre Andrade é Professor auxiliar no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Investigador no Instituto de Biofísica e Engenharia Biomédica. Principais interesses de investigação: desenvolvimento de métodos para o estudo da função cerebral com recurso a ressonância magnética funcional e electroencefalografia e aplicação ao estudo de patologias do sistema nervoso.

Que simetrias encontras?

Constança Providência[1], Pedro Providência[2]

[1] CFC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

[2] CES, Universidade de Coimbra

Material

- cartolina 50 cm × 70 cm de duas cores cortada em quadrados de 8 cm × 8 cm
- tesoura e cola
- espelho

Possivelmente já sabes que os azulejos foram introduzidos em Portugal pelos mouros - azulejo vem da palavra árabe *az-zulayj* que significa pedra polida – e desde o século XV são utilizados no nosso país como elemento decorativo. O azulejo que vês na Figura 1 (esquerda) é do Mosteiro de Santa Clara em Coimbra, e constitui um elemento de uma parede coberta de azulejos. Repara bem: se o rodares de 90° vês alguma diferença? E se o rodares de 180°? Ou 270°? Depois de efetuares a rotação obténs um azulejo igual ao primeiro, e não conseguimos distinguir o azulejo rodado do não-rodado, concordas? Dizemos que o azulejo tem uma simetria de rotação que o deixa *invariante* – uma palavra usada pelos físicos e matemáticos e que apenas significa que a sua forma não varia: o azulejo apresenta-se igual antes e depois da rotação. Se olhares com mais atenção para o azulejo verificas que ele resulta da repetição do elemento a tracejado na Figura 1 (direita) com orientações diferentes.

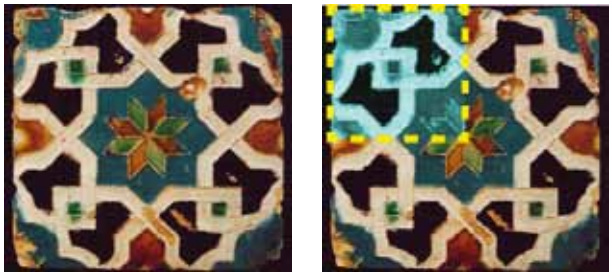


Figura 1

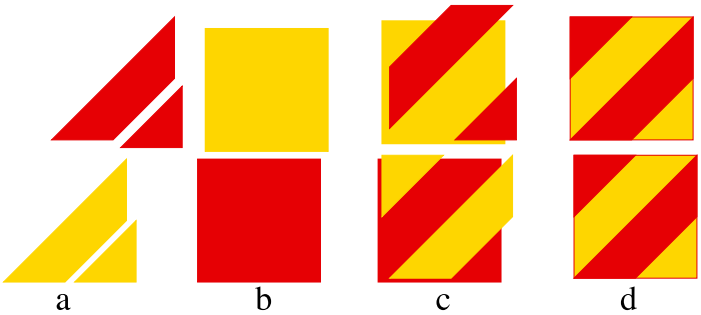


Figura 2

Compreender as propriedades de um material torna-se muito mais fácil quando conseguimos identificar as suas simetrias. Por exemplo, as propriedades dum cristal dependem do tipo de simetrias que apresenta.

Vamos usar os azulejos para identificar algumas dessas simetrias e construir vários painéis partindo de um azulejo elementar.

Considera o azulejo da Figura 2(d). Prepara vários azulejos iguais para realizares as experiências que se seguem. Para isso corta duas cartolinas de cores contrastantes, por exemplo vermelho e amarelo, em quadrados de 8 cm por 8 cm (com uma cartolina de 50 cm × 70 cm fazes 40 quadrados). Corta ao meio, ao longo de uma diagonal, 13 quadrados vermelhos, de modo a obteres 26 triângulos. Corta cada um destes triângulos em duas partes por uma paralela à hipotenusa que divide a altura do triângulo em dois, como mostra a Figura 2(a). Obténs de cada triângulo um trapézio e um triângulo mais pequeno que deverás colar sobre um quadrado amarelo como indica a Figura 2(c). Procede analogamente com 13 dos quadrados amarelos, colando os trapézios e triângulos pequenos que obténs sobre os quadrados vermelhos. Ficarás com 52 azulejos semelhantes à Figura 2(d).

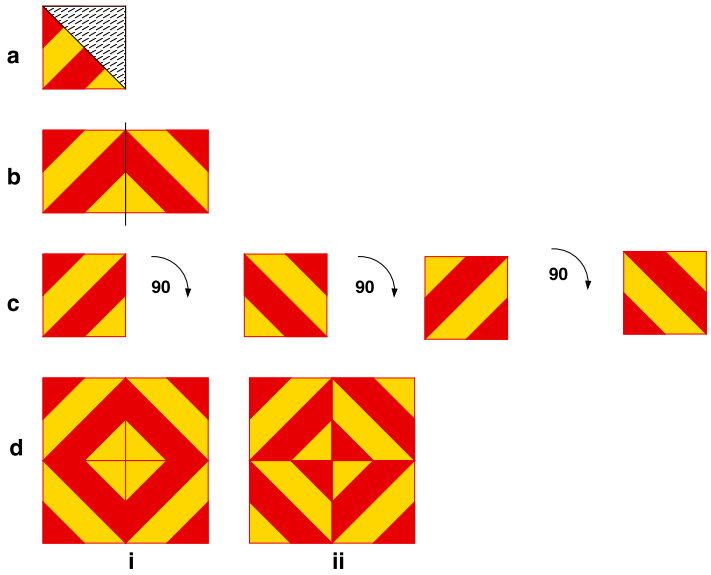


Figura 3

Vamos descobrir de que modo podemos associar estes azulejos criando painéis com simetrias diferentes.

Observa um dos azulejos e descobre as simetrias que tem. Consegues?

Corta um destes azulejos ao meio pela diagonal perpendicular às riscas, como na Figura 3(a). Encosta um espelho à diagonal do azulejo cortado e olha para o conjunto: azulejo cortado mais imagem no espelho. Obténs o azulejo inteiro! Dizemos que este azulejo tem simetria de reflexão relativamente a essa diagonal. A simetria de reflexão é uma simetria muito importante em física.

Os azulejos construídos não são, no entanto, invariantes perante uma rotação de 90°, 180° ou 270°. Na Figura 3(c) estão representados o azulejo original e o azulejo depois de ter sofrido uma rotação de 90°, 180° ou 270°: repara como todas as orientações são distintas com o canto vermelho a ocupar as quatro possíveis posições. Repara também que o azulejo que obténs por rotação de 90° é igual ao obtido por reflexão num espelho colocado ao longo da aresta com o canto amarelo como indicado na Figura 3(b).

Associando quatro azulejos com as quatro orientações diferentes podemos construir os dois quadrados da Figura 3(d). Quais são as simetrias de cada um destes quadrados? Descobre outros quadrados diferentes formados por quatro azulejos.

Vamos agora construir uma variedade de painéis e frisos - um friso é um painel que se estende ao longo de uma linha. Para isso vamos usar a repetição do azulejo elementar da Figura 2(d) e todas as suas possíveis orientações diferentes obtidas por rotação ou reflexão.

1- Constrói um friso constituído por uma linha de azulejos justapostos todos com a mesma orientação, Figura 4(a). Dizemos que o friso tem simetria de translação porque se deslocarmos o friso como um todo ao longo da direção do friso de uma distância igual ao lado do azulejo obtemos um friso essencialmente igual. Seria precisamente igual se fosse infinitamente longo.

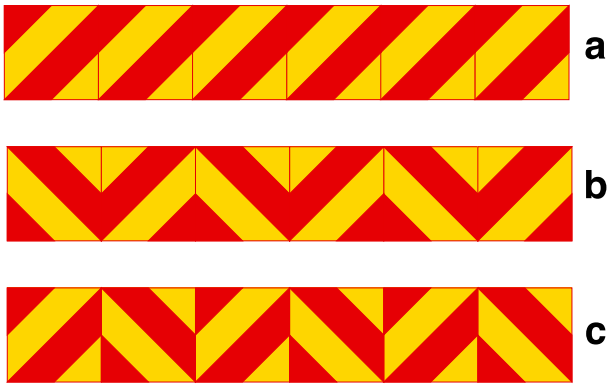


Figura 4

2- Constrói outros frisos associando ao primeiro azulejo um azulejo rodado ou refletido, e repetindo por translação o conjunto de dois azulejos. Consegues obter os frisos da Figura 4(b) e (c)? Consegues construir outros diferentes?

3- Constrói os painéis da Figura 5 repetindo *a*) o azulejo original, *b*) qualquer um dos azulejos Figura 3 (d-i) e (d-ii), c) o conjunto de dois azulejos da Figura 3(b). Em cada um dos painéis está identificado o motivo que se repete ao longo das duas direções do painel. Repara que no painel (b) e (c) existem dois quadrados diferentes formados de quatro azulejos que, por repetição, dão origem ao mesmo painel.

Na realidade existem materiais feitos de um mesmo elemento mas que têm propriedades completamente diferentes devido ao modo como o elemento se liga aos vizinhos e às simetrias que o material adquire. Como exemplo podemos referir as possíveis formas em que o carbono se apresenta: poderá ser cristalino e duro como o diamante, ou preto e macio como a grafite, ou com propriedades extraordinárias de condução térmica e elétrica como o grafeno.

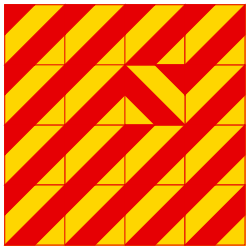


Figura 6

É muito difícil produzir um material sem defeitos, assim como por vezes também os painéis de azulejos apresentam defeitos – encontras os defeitos dos painéis da imagem no início do artigo? Mas

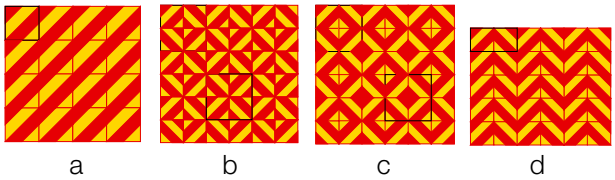


Figura 5

Figura 7

estes defeitos são geralmente muitos importantes por influenciarem as propriedades dos materiais: por exemplo a cor dos diamantes, a dureza de materiais como o aço ou a condutividade de semicondutores.

Na Figura 7 estão representados mais três azulejos do Mosteiro de Santa Clara à Velha de Coimbra. Descobre as simetrias de cada um. Constrói diferentes painéis com estes azulejos usando o material suplementar que podes descarregar da página da Gazeta e observa os efeitos que podem originar.

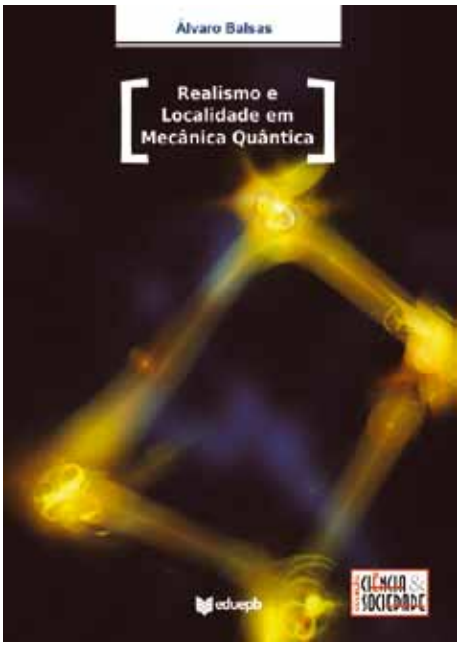
Bibliografia

Constança Providência e Carlos Fiolhais, *Ciência a brincar: descobre o património!*, Editorial Bizâncio, 2009.

Pedro Providência, Constança Providência, Martha Tavares, Artur Coôrte-Real, Carlota Simões, "Monastery of Santa Clara-a-Velha in Coimbra: Heritage education and mathematics", "La Educación Patrimonial en España y Europa", Madrid (2012).)

Realismo e Localidade em Mecânica Quântica por Álvaro Balsas

Alfredo Barbosa Henriques



O Doutor Álvaro Balsas publicou recentemente no Brasil, em co-edição da Livraria da Física e da EDUEPB, a obra 'Realismo e Localidade em Mecânica Quântica', obra baseada no trabalho apresentado em 2010 na Faculdade de Filosofia de Braga como tese de doutoramento em Filosofia, Especialidade em Filosofia da Ciência. Tendo em conta a importância do assunto versado, e o cuidado com que ele é exposto, penso que se justificam as palavras que se seguem.

São bem conhecidos os êxitos extraordinários que a Mecânica Quântica tem tido na explicação e na previsão de fenómenos físicos, que a tornam uma das maiores conquistas da Ciência do século XX. Paralelamente a estes êxitos, nunca desmentidos por quaisquer observações e resultados, esta teoria tem originado intensos debates em torno da sua interpretação. Uma boa parte dos desacordos que se têm visto nestas discussões resultam, sem dúvida, das diferentes posições filosóficas assumidas pelos seus intervenientes. É notavelmente o caso do debate, que nas décadas de 20 e 30 do século passado, foi protagonizado por essas duas figuras eminentes da Física que foram Bohr e Einstein.

Como resultado destas discussões, e da sua manifesta insatisfação em relação a vários aspectos da teoria quântica, Einstein e dois colaboradores, Podolsky e Rosen, publicaram em 1935 um artigo científico no qual pretendiam mostrar que a Mecânica Quântica não era uma teoria completa, primeiro por não ser capaz de simultaneamente descrever aquilo que eles entendiam e definiam como elementos da realidade e, depois, por ter consequências não-locais que contradiziam a teoria da relatividade restrita, as famosas *spooky actions at distance* de Einstein. Esse artigo tinha o sugestivo título "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?" e o que aí se continha é hoje conhecido como o 'Paradoxo EPR', das iniciais dos autores.

Este artigo teve uma resposta quase imediata por parte de Bohr, mas, à distância de tantos anos, podemos afirmar hoje que a resposta esteve longe de ser satisfatória, para dizer o mínimo! Seja como for, a partir desta data, o debate praticamente desapareceu. Foi preciso esperar pelas décadas de 60 e seguintes, para que o debate se reabrisse, graças aos trabalhos de John Bell, com as suas famosas desigualdades, e às experiências, entre outros, de Alain Aspect e colaboradores. São estes trabalhos e desigualdades que constituem o núcleo central da análise desenvolvida por Álvaro Balsas na sua obra, e é por aí que vamos começar as nossas breves considerações, sem entrarmos em muitos pormenores técnicos.

Este tema é desenvolvido em uma série de capítulos, abrangendo uma introdução ao paradoxo EPR e ao tema das variáveis escondidas, seguindo-se dois capítulos bastante completos sobre o que colectivamente designamos como desigualdades ou teoremas de Bell, e seus testes experimentais.

Em poucas palavras, a experiência EPR, imaginada por Einstein e colaboradores, pode descrever-se de uma forma mais simples, devida a David Bohm. Temos um sistema atómico que decai, emitindo dois electrões em direcções opostas e num estado com momento angular total nulo. Os electrões dirigem-se para dois detectores A e B, afastados, onde com a sua detecção poderemos medir a componente de spin do respectivo electrão ao longo de um certo eixo, a sua polarização. De acordo com a mecânica quântica, os electrões são emitidos num estado de sobreposição, estado emaranhado (*entangled state*, em inglês), o que significa que o estado de cada electrão deve ser visto, não como tendo uma componente de spin bem definida numa direcção, mas como uma sobreposição de dois estados possíveis. Só após a sua medição, é que poderemos falar de polarização bem definida, para cada um dos electrões. Assim, quando medimos o valor da componente do spin do electrão em A, ao longo de uma certa direcção, e medimos por exemplo +1/2, devido a ser nulo o momento angular total, sabemos que a componente do spin do electrão em B, na mesma direcção, terá o valor oposto, -1/2. As duas detecções são feitas ao mesmo tempo, não havendo qualquer possibilidade de transmissão de informação entre os dois detectores, transmissão que seria feita, no máximo, à velocidade da luz.

Qual o problema que isto levanta? Ora bem, se o estado é de sobreposição e cada electrão só passará a ter polarização bem definida após medição, como é que o electrão em B 'sabe' que o electrão em A tinha spin +1/2, se só no preciso momento da sua detecção é que ele adquiriu esse valor?

Temos, na verdade, dois problemas. Um diz respeito à violação da relatividade restrita, com a aparente transmissão de informação a uma velocidade superior à da luz, violação da localidade; o outro problema diz respeito ao facto de, na interpretação de Copenhague da mecânica quântica, cada electrão só adquirir a sua polarização no acto da medição, violação de uma posição realista, devido a não podermos afirmar que os electrões já possuíam um valor bem definido da polarização, nós é que o desconhecíamos.

Foi para responder a este tipo de problemas, designados por não-localidade e anti-realismo, que surgiu, bastante cedo, diga-se, a ideia das variáveis locais escondidas, permitindo a reintrodução de um certo realismo local na descrição quântica, ideia essa até hoje campo de batalha entre defensores e detractores da interpretação de Copenhague. No fundo, a ideia dos criadores da interpretação de Copenhague significava que deveríamos preocupar-nos apenas com os fenómenos, e não com o que estaria por trás desses fenómenos. Seria este o preço a pagar para termos uma interpretação consistente da mecânica quântica. Em 1964, num artigo intitulado "On the Einstein Podolsky Rosen paradox", John Bell mostrou como, através da derivação de desigualdades que levam o seu nome, baseadas em pressupostos locais e realistas, se poderia em princípio resolver experimentalmente aquele conflito.

Após as experiências levadas a cabo por Alain Aspect *et al.* (1981), de acordo com a grande maioria dos físicos o assunto ficou definitivamente encerrado a favor da interpretação usual da mecânica quântica, colocando em causa a possibilidade de uma interpretação realista e local, incluíndo o conceito de variáveis escondidas.

Não é esta a opinião defendida por Álvaro Balsas no seu trabalho. Baseado numa extensa análise, em uma bibliografia muito completa, e em artigos do matemático americano Karl Hess, o autor do livro defende que existem falhas na interpretação tradicional das experiências de Aspect. O erro estaria no facto de as condições da experiência não reproduzirem os pressupostos utilizados na derivação das diferentes desigualdades de Bell.

Expliquemo-nos. As desigualdades introduzem quatro termos, correspondentes a combinações de quatro medições supostas simultâneas de polarizações, duas em cada um dos lados A e B da montagem experimental. Na interpretação usualmente feita das experiências, é aqui subrepticiamente introduzido um raciocínio contrafactual, admitindo como realmente medidas ao mesmo tempo quantidades que de facto não o foram. Aliás, como sabemos, a teoria quântica diz-nos que aquelas medições não podem ser efectuadas simultaneamente, por corresponderem a experiências mutuamente exclusivas; a poderem ser efectuadas, corresponderiam a medidas simultâneas, no mesmo ponto, de observáveis cujos operadores não comutam entre si, o que a teoria não permite, e está na base das famosas relações de incerteza. A consequência daquele raciocínio contrafactual é uma restrição indevida no espaço de amostragem, tirando-se conclusões a partir de apenas um subconjunto de todos os resultados possíveis. Dito de outra maneira, ao re-deduzirem-se as desigualdades de Bell, entrando em conta com as efectivas condições da experiência, obtém-se um valor substancialmente superior a 2. Daí que, embora os resultados experimentais de Aspect estejam plenamente de acordo com as previsões da mecânica quântica, não podem ser utilizados para invalidar o realismo local, nem as teorias de variáveis escondidas.

Devo dizer que considero impecável o raciocínio de Álvaro Balsas, e não vejo como chegar a uma conclusão diferente. Digo-o à-vontade, pois, até à minha leitura deste trabalho, sempre aceitei que a interpretação usual das experiências de Aspect estava correcta, e o assunto das variáveis escondidas definitivamente encerrado. Note-se bem que, na posição do autor, não está em causa a extraordinária qualidade das experiências efectuadas, mas apenas a sua interpretação.

Aceite a conclusão acima, como proceder? Julgo que posso dizer que a grande maioria dos físicos aceita pacificamente que as coisas se passem desta maneira, com a mecânica quântica apresentando características não-locais

e anti-realistas, posição que podemos classificar de pragmática ou instrumentalista, alinhando de uma forma mais ou menos consciente com a interpretação, ou espírito, de Copenhague. No entanto, é bem sabido que sempre existiu um núcleo de cientistas (Einstein, Schrödinger, de Broglie, e outros) que se recusaram a desistir das suas posições realistas e locais, alguns deles vendo na introdução de variáveis escondidas uma forma de completar esta teoria.

Pessoalmente, considero como um estratagema artificial a ideia de introduzir na mecânica quântica tais variáveis escondidas, cuja origem não me é clara, nunca foi necessária para explicar um único resultado numérico, nem vejo como é que, por exemplo, elas possam explicar uma das mais belas experiências de toda a Física, a experiência de Young, hoje feita não só com fotões e electrões, mas igualmente com átomos e com moléculas de tamanho já considerável, onde se pode ver a formação das figuras de interferência, mesmo quando as partículas mencionadas são enviadas uma a uma para o alvo.

Um modelo como o construído por David Bohm parece ser capaz de o fazer, mas a verdade é que tal modelo acaba por reintroduzir algumas das dificuldades que pretende resolver, nomeadamente importantes aspectos não-locais: algo que acontecesse num ponto seria imediatamente sentido em todo o espaço, sem qualquer restrição imposta pela velocidade da luz. Daí que não considere este modelo como uma solução satisfatória.

Prefiro encarar as dificuldades existentes como uma janela de oportunidade para a eventual construção de uma teoria mais profunda do que as teorias de que actualmente dispomos; quem sabe se uma teoria abarcando de forma natural a teoria quântica, a relatividade e a gravitação.

Em todo este problema, o mais importante, para mim, tem a ver com a violação da relatividade restrita que surge nos efeitos não-locais da experiência EPR. Temos, aqui, uma aparente inconsistência entre as duas teorias mais extraordinárias que o século vinte produziu, com décadas de testes positivos. Tenho uma posição menos definida no que respeita o conflito realismo/anti-realismo; a natureza não deixa de nos surpreender, e não devemos impor-lhe os nossos pressupostos filosóficos. O próprio desenvolvimento da Ciência se encarregará de naturalmente nos guiar. Mas, verdade seja dita, no momento actual qualquer das opções não passa de uma opção pessoal. Por isso, a opção do autor pelo realismo local é uma opção perfeitamente legítima.

Antes de terminar, gostaria de mencionar mais dois ou três pontos. Em primeiro lugar, realçar o facto de os primeiros capítulos da obra conterem uma concisa e clara introdução ao formalismo da mecânica quântica e, no capítulo 3, uma visão global e crítica da(s) interpretação(ões) da mecânica quântica, usualmente associada(s) com os nomes de Niels Bohr, mas também de Heisenberg, von Neumann e Dirac. De sublinhar o cuidado posto na destrinça e nas subtilezas que distinguem as interpretações destes quatro físicos. O capítulo termina com uma importante secção dedicada a questões em aberto, nomeadamente problemas da medida e o problema da fronteira entre os domínios clássico e quântico, incluindo o problema da descoerência.

Como é dito logo no início deste capítulo 3, qualquer formalismo, para ser considerado como uma teoria física, requer uma interpretação. Isto é particularmente assim no caso da teoria quântica, tendo em conta as características muitas vezes anti- intuitivas desta teoria. Daí a forma cuidadosa com que todo este assunto foi abordado.

Em segundo lugar, no último capítulo, denominado de 'O Realismo Local em Mecânica Quântica', Álvaro Balsas, sempre apoiado numa vasta bibliografia, mostra como, e por que caminhos, por vezes tortuosos, veio a interpretação de Copenhague, segundo a sua opinião, a ser imposta como a interpretação da mecânica quântica. É um capítulo de leitura esclarecedora e obrigatória, tal como o capítulo 3.

No entanto, sem de alguma forma pôr em causa o que está escrito, como digo sempre bem apoiado numa extensa bibliografia, gostaria de marcar a minha posição e pôr alguma água na fervura, se assim me posso exprimir! Não encaro, nem nunca encarei, a interpretação de Copenhague (incluindo sob esta designação as suas variantes) como um dogma (tal coisa não existe, ou não deveria existir, nos caminhos da Ciência), por isso não gosto de designações como 'interpretação ortodoxa' ou 'visão ortodoxa' (Wigner). Acima de tudo, não posso deixar de acentuar, e sublinhar, o papel teórico e prático, fundamental e decisivo, que tal interpretação teve no assentar de ideias sobre a mecânica quântica, interpretação que não só estava, e está, de acordo com os resultados experimentais, como permitiu libertar o espírito dos físicos para as importantíssimas aplicações que se seguiram da nova teoria.

Finalmente, chamo a atenção para a excelente bibliografia que acompanha este trabalho, e à qual, mais do que uma vez, me referi.

Em suma, e resumindo tudo o que foi dito, estamos em presença de uma valiosa contribuição para o esclarecimento de um importante problema da Física e, simultâneamente, uma valiosa contribuição para essa importante área do conhecimento que é a Filosofia da Ciência, área que merecia ser mais cultivada entre nós, com uma larga contribuição e colaboração envolvendo filósofos da ciência e cientistas.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Alfredo Barbosa Henriques é Professor Jubilado do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

"Realismo e Localidade em Mecânica Quântica"
Álvaro Balsas S.J., Faculdade de Filosofia de Braga
Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2014
ISBN 978-857-861-239-9

Pulsar
– Revista do Núcleo de Física do IST

Fábio Cruz, Francisco Nunes

O dia-a-dia dentro de uma faculdade de Ciência e Engenharia não é calmo, mas não é por isso que mais de 15 colaboradores (maioritariamente alunos) distribuídos por cinco cursos e duas universidades deixam de contribuir para a *Pulsar*, revista de divulgação científica.

A *Pulsar* é a revista do Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico (NFIST). E como o Técnico não é só trabalho, o NFIST é organizado e dirigido por alunos, na sua maioria do Mestrado em Engenharia Física Tecnológica (MEFT) do IST. Além da *Pulsar*, o NFIST conta com as secções do Circo, Astro, Recreativa e Info para cumprir os seus objectivos.

O Circo da Física é a secção que tem por objectivo criar e fazer a exposição de experiências de física. São experiências relativamente simples, que vão desde a mecânica ao electromagnetismo, passando pela termodinâmica e a óptica. Estas experiências são apresentadas quer em deslocações a escolas secundárias quer na Semana da Física – evento anual organizado pelo NFIST que traz ao Técnico mais de 1500 alunos de escolas básicas e secundárias de todo o país.

A juntar-se ao Circo (e não de menor importância) temos a Astro. Esta secção dedica-se à Astronomia, com ênfase nas observações (nocturnas e diurnas), workshops, sessões de planetário, sessões de astrofotografia e afins. Anualmente, e em colaboração com a Ciência Viva, a Astro desenvolve o programa Astronomia no Verão, que consiste em levar ao interior do país as observações e workshops que habitualmente são feitas no Técnico.

A *Pulsar*, Astro e Circo constituem as principais secções do NFIST, sendo as restantes duas secções do foro interno ao funcionamento do próprio NFIST.

A *Pulsar* começou por ser um folhetim com notícias sobre o curso, para os alunos do curso. Com uma tiragem de 250 exemplares já no longínquo ano de 1995, foi evoluindo através de períodos mais agitados e outros mais calmos até chegar a 2014 com tiragens acima dos 1500 exemplares e mais de 15 colaboradores. Nos últimos anos reavivaram-se colaborações com os vários centros de investigação associados ao Departamento de Física do Técnico e iniciaram-se outras, permitindo à Pulsar ter uma actividade estável e sustentada.

Actualmente a *Pulsar* é uma revista de divulgação científica. Para além dos textos relacionados directa e indirectamente com física, podem ler-se artigos, crónicas e reportagens de tecnologia, empreendedorismo e outras áreas científicas. A *Pulsar* leva também ao seu público alvo – os estudantes do ensino secundário – perspectivas da vida académica e do pós-superior, dando a conhecer casos de sucesso, muitas vezes antigos alunos de MEFT. Como parte do NFIST, a *Pulsar* tem ainda o objectivo de divulgar as recentes e futuras

actividades, cativando participantes e registando memórias e peripécias, que não são poucas.

Desde o momento da *kick-off meeting* de cada edição até chegar aos leitores em papel, os colaboradores desempenham tarefas em três frentes: gestão, redacção e montagem. Umas mais motivadoras que outras mas todas igualmente importantes para cumprir o objectivo de levar aos leitores conteúdos originais e (porque não?) inspiradores. Para os colaboradores, e tal como acontece com as outras actividades do NFIST, a *Pulsar* é também uma oportunidade de divulgar o que os motiva e desenvolver *soft skills* que não se aprendem na maioria das cadeiras num curso superior.

Seria naturalmente impossível concretizar os vários números da *Pulsar* sem o apoio dos centros de investigação já referidos: Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), Centro Multidisciplinar de Astrofísica (CENTRA), Centro de Física das Interacções Fundamentais (CFIF) e Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP). A *Pulsar* tem ainda como parceiros a Universidade de Lisboa, a Sociedade Portuguesa de Física e o Centro HERCULES. A estas instituições a *Pulsar* deve um agradecimento especial.

Na sua mais recente edição, a *Pulsar* foi saber com o Professor Luís Oliveira e Silva como tem a Física Computacional estabelecido a ponte entre teoria e experiência. Os leitores podem ainda descobrir a física que ajuda a desvendar obras de arte, o que motivou a utilização do nome de Heisenberg na série norte-americana *Breaking Bad*, entre outros.

Num futuro próximo a *Pulsar* vai ganhar novo sangue, com uma direcção motivada em continuar a divulgar a ciência e a cativar alunos para a Física e Engenharia. As edições da *Pulsar* estão disponíveis em http://pulsar.nfist.pt em formato digital ou no Núcleo de Física em papel. Os interessados em receber semestralmente e de forma gratuita a publicação do NFIST podem contactar a *Pulsar* através de pulsar@nfist.pt. Descubra-nos e envie-nos as suas sugestões.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

Serviços de apoio à
Organização de Conferências

Página web da conferência
Criação e manutenção
Alojamento em servidor
Conta e gestão de emails

Software de gestão online
Inscrições de participantes
Submissão e revisão de abstracts
Gestão de pagamentos

Secretariado
Facturação e contabilidade
Apoio logístico no evento
Interface com fornecedores

Divulgação e imagem
Posters, faixas, banners
Material de apoio
Divulgação por email / revista

Liberte-se da papelada. Desfrute da ciência.

Para mais informação contacte-nos:
www.spf.pt

sp física SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Ano da Luz
começa com o Nobel

Carlos Fiolhais

A Academia de Ciências de Estocolmo atribuiu o Prémio Nobel da Física de 2014 a três cientistas japoneses: Isamu Akasaki e Hiroshi Amano, da Universidade de Nagóia, no Japão, e Shuji Nakamura, da Universidade de Califórnia - Santa Barbara pela "invenção de eficientes díodos emissores de luz azuis, que permitiram a criação de luzes brancas brilhantes e economizadoras de energia." A merecida recompensa ilustra as aplicações da física na nossa vida. Nem sempre os Nobel da Física estão associados a descobertas ou invenções com impacto no nosso quotidiano, mas neste caso a associação é muito clara. Já existiam há bastante tempo LED vermelhos e verdes, mas faltavam os LED azuis para se obter luz branca a que estamos habituados. No início dos anos 90 fez-se a luz azul.

Para isso foi necessária uma extraordinária persistência pois os físicos japoneses tiveram de ultrapassar falhanços sucessivos na escolha e manipulação dos materiais semicondutores mais adequados para o fim em vista. Tiveram de fazer "sanduíches" de vários materiais, com base no nitreto de gálio. Experimentaram com grande aplicação, na tradição do inventor norte-americano Thomas Edison, que testou numerosas lâmpadas de filamento antes de chegar em 1879 à primeira lâmpada comercializável com um filamento de carbono. Tanto nos ensaios dos novos laureados Nobel como nos de Edison, o que parecia impossível acabou, à custa de tanto porfiar, por se tornar realidade.

Hoje vivemos num mundo cada vez mais iluminado por lâmpadas LED. A principal vantagem dessas lâmpadas relativamente às lâmpadas tradicionais de incandescência (de que Edison foi pioneiro) e às lâmpadas fluorescentes (criadas pelo inventor norte-americano Peter Hewitt em 1901) é o ganho de eficiência. Como lembra o comunicado da Academia, os LED convertem energia eléctrica em luz de uma forma muito mais eficiente do que acontece com as lâmpadas anteriores. Dividindo a luminosidade à saída pela potência à entrada, as lâmpadas LED podem ser vinte vezes mais eficientes do que as lâmpadas de incandescência, ao passo que as lâmpadas fluorescentes, baseadas em descargas eléctricas em gases, só são cinco vezes mais eficientes. A economia e o ambiente agradecem.

Como se isso fosse pouco, as lâmpadas LED duram mais, muito mais do que as outras: o seu tempo de vida é cem vezes maior do que o das lâmpadas de incandescência, ao passo que as lâmpadas fluorescentes só duram dez vezes mais. A economia e o ambiente voltam a agradecer. E é por isso que, se dantes só víamos os LED como umas luzinhas vermelhas em monitores eléctricos, hoje vemos LED por todo o lado: em lojas, em escritórios, nas ruas (os projectos multiplicam-se para substituir toda a iluminação pública de cidades só por LED). Temos lâmpadas LED por exemplo nos nossos telemóveis. Temo-las em nossas casas em ecrãs de computador e de televisão. Há até lasers azuis que permitem discos compactos com mais informação. E já há LED ultravioletas que permitem a purificação de águas. Os LED mostram mais uma vez o enorme poder transformador que a ciência pode exercer nas nossas vidas.

Este Nobel vem em hora oportuna. O ano de 2015, por decisão das Nações Unidas, será em todo o mundo o Ano Internacional da Luz. A Sociedade Portuguesa de Física e a Ciência Viva estão a congregar esforços com a UNESCO para celebrar a ciência e a engenharia da luz, ciência e tecnologia que são hoje inseparáveis da nossa civilização e cultura. Procurar-se-á fazer luz sobre a luz que está por todo o lado.

Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.

notícias

Gabinete de Física da Universidade de Coimbra é Sítio Histórico da Física

O Antigo Gabinete de Física da Universidade de Coimbra, hoje parte do Museu de Ciência da Universidade, foi recentemente nomeado pela Sociedade Europeia de Física (EPS) como um "EPS Historic Site" (Sítio Histórico Europeu), uma distinção que tem sido atribuída a locais na Europa que desempenharam um papel relevante no desenvolvimento da física.

A Sociedade Europeia de Física, que congrega as sociedades de físicos de todos os países europeus, criou esta distinção para reconhecer e promover uma lista muito restrita de locais ligados a episódios fundamentais na história desta ciência, tais como descobertas científicas e criação e utilização de instrumentos científicos. Entre os locais distinguidos encontram-se o CERN, em Genebra na Suíça (lugar onde têm sido feitas várias descobertas em Física de Partículas, incluindo a partícula de Higgs recentemente descoberta), o Instituto Niels Bohr em Copenhaga (berço da moderna física atómica e nuclear), ou o Blackett Laboratory do Imperial College em Londres (palco de numerosos avanços em física fundamental).

O Gabinete de Física é o primeiro local em Portugal a ser eleito pela EPS e o segundo na Península Ibérica. A Universidade de Coimbra procederá à colocação de uma placa comemorativa, numa cerimónia que contará com a presença não só do Reitor e da Presidente da Sociedade Portuguesa de Física como de vários convidados internacionais, incluindo o Presidente da Sociedade Europeia de Física.

Para saber mais:
http://www.eps.org/?page=distinction_sites

Gabinete de Física da Universidade de Coimbra

Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa

Maria João Santos

O LIP e o CERN organizaram em parceria mais uma edição da "Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa", que decorreu no CERN, Genebra, Suíça, de 24 a 29 de agosto.

Tratou-se da oitava edição deste evento que contou com o apoio financeiro da Agência Ciência Viva bem como da Agência CAPES no respeitante à participação brasileira.

Este ano, trinta e cinco professores portugueses, trinta professores brasileiros, dois professores moçambicanos, um professor cabo-verdiano e um professor santomense, integraram o grande grupo que participou no estágio do CERN.

A iniciativa ocorreu em regime bastante intensivo num equilíbrio entre palestras apresentadas por investigadores a trabalhar no CERN e visitas guiadas aos pontos fundamentais do Laboratório. Nestas fascinantes visitas, os professores puderam contactar de perto com as experiências e os aceleradores.

A possibilidade de descer às profundezas das cavernas onde decorrem as experiências criou no grupo uma euforia indescritível.

Nesta semana muito rica em matéria de formação, nunca faltou a boa disposição e a partilha de múltiplas experiências entre professores que falam a mesma língua.

Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa

Na Rota do Nuclear... de Lisboa a Oxford

Cristina Pinho

Após visitas ao Reator de Fusão - Tokamak no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear e ao Reator de

Fissão Nuclear no Campus Tecnológico e Nuclear, instituições do Instituto Superior Técnico, um grupo de 31 alunos do 12º ano, das Escolas Secundárias Ferreira Dias do Cacém e Pedro Nunes de Lisboa, acompanhados por professores das duas escolas, rumaram até Oxford para explorar o Centro de Ciência de Culham.

Aí, no dia 11 de abril de 2014, visitámos o maior reator de fusão: JET – Joint European Torus! Fomos recebidos por investigadores portugueses, o que constituiu uma mais-valia, assim como uma mensagem de esperança para os nossos alunos.

Como fomos as primeiras escolas a visitar o reator, tivemos direito a uma "comitiva" de fotógrafos.

A marcação da visita pode ser feita online:
https://www.euro-fusion.org/jet/visiting-jet/

As professoras organizadoras da visita foram Cristina Pinho, Helena Melo e Laura Jardim.

Alunos e professores portugueses no JET

Cohen Tannoudji nos 50 anos
da licenciatura em Física da FCUP

Carla Carmelo Rosa, João Penedones, Bruno Amorim

O Departamento de Física e Astronomia (DFA) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto assinalou os 50 anos do curso de licenciatura em Física, na passada semana de 20-25 de Outubro. As celebrações arrancaram com uma palestra pelo professor Cohen-Tannoudji, que recebeu o prémio Nobel da Física em 1997 pelo desenvolvimento de métodos para arrefecimento e confinamento de átomos usando lasers. Naturalmente, durante a palestra intitulada "Light: a tool for manipulating atoms", o Nobel introduziu e discutiu estes conceitos, mas também deu a sua perspectiva sobre questões relacionadas com o mundo da investigação: a importância da relação entre investigação de fundo (longo prazo) e inovação futura; a necessidade de criar condições de trabalho para os novos investigadores, dando espaço para a maturação e transmissão de conhecimentos; o necessário acoplamento entre investigação e ensino avançado.

O DFA organizou mais dois eventos: um encontro de antigos e actuais professores, e um encontro de antigos alunos que contaram as suas experiências e o impacto da Física nas suas carreiras. Múltiplas curiosidades foram reveladas nestes encontros, como aprender que antes de 1964 existia uma licenciatura em Ciências Físico-Químicas com apenas 20% de disciplinas de Física. Os antigos alunos demonstraram claramente que a Licenciatura em Física "dá para fazer tudo", desde desenvolver jogos de cultura geral por SMS até análise de risco de crédito bancário, assim como investigação de ponta em áreas transversais das ciências e da tecnologia.

Claude Cohen Tannoudju (dir.) e Orfeu Bertolami (esq., Presidente do Dep. Física da FCUP)

Ações de formação do IPFN
para professores do ensino secundário

Bruno Gonçalves e Gonçalo Figueira

O Instituto Superior Técnico, através do seu Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), organizou neste verão duas ações de formação destinadas a professores do ensino secundário: lasers (7 a 11 de julho) e fusão nuclear (8 a 12 de setembro).

A ação de formação em lasers teve 12 participantes (imagem de cima), selecionados de um total de 45 candidatos. Os professores tiveram uma formação base em fundamentos de lasers e aplicações – na medicina, indústria, sociedade, ciência, e outras áreas – e puderam visitar laboratórios de investigação operados pelos investigadores do IPFN. A segunda metade da formação consistiu numa visita ao Laboratório Rutherford Appleton, perto de Oxford, Reino Unido. Lá, os participantes tiveram oportunidade de ficar a conhecer de perto alguns dos lasers mais poderosos à face da Terra, como os sistemas Vulcan e Astra, aprender quais as aplicações futuristas em desenvolvimento na *Lasers for*

Science Facillity, além de visitarem outras infraestruturas de investigação únicas como a fonte de neutrões e muões ISIS e o sincrotrão Diamond. Os professores ficaram ainda alojados num *college* histórico da Universidade de Oxford, o que lhes permitiu conhecer o interior de uma das mais prestigiadas instituições académicas do mundo.

A ação de formação em fusão nuclear contou com a participação de 13 professores do ensino secundário (imagem de baixo), provenientes de vários pontos do país e selecionados entre cerca de 75 candidatos. Durante três dias os professores assistiram a várias aulas proferidas por investigadores do IPFN e do JET focadas nos vários aspectos da física, tecnologia e engenharia da Fusão nuclear. O programa da ação de formação contou com uma visita ao tokamak JET, também perto de Oxford, onde os professores tiveram a oportunidade de visitar o dispositivo experimental e vários dos sistemas auxiliares.

O JET (Joint European Torus) é o único dispositivo de fusão nuclear por confinamento magnético capaz de operar com misturas de deutério e trítio. O JET é colectivamente utilizado por mais de 40 laboratórios membros do consórcio Eurofusion, um consórcio no qual Portugal é representado pelo IST, contribuindo para o programa mais de 350 investigadores e engenheiros de toda a União Europeia e da Suíça. Desde 2000 que a participação portuguesa no JET tem vindo a aumentar, refletindo a elevada qualidade e o reconhecimento internacional dos investigadores do IPFN.

As Ações de Formação promovidas pelo IPFN são acreditadas pelo CCPFC e são gratuitas. As visitas aos laboratórios no Reino Unido são patrocinadas pelo IPFN. Esta iniciativa tem o apoio da Ciência Viva, TAP, SPF e Laserlab-Europe.

Para saber mais:
http://ipfn.ist.utl.pt/formacoes2014/

Participantes da acção de formação em lasers no RAL, Reino Unido

Participantes da acção de formação em fusão nuclear no JET, Reino Unido

FÍSICA 2014

A 19.ª Conferência Nacional de Física e o 24.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física – conjuntamente designados por "FÍSICA 2014" – tiveram lugar em Lisboa, de 2 a 4 de Setembro de 2014. Este encontro bienal é organizado pela SPF e atrai físicos, professores e estudantes de todo o país e da vizinha Espanha. O número total de participantes foi de 250.

Este ano o evento foi organizado e co-patrocinado pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. A comissão organizadora contou com a preciosa ajuda de uma equipa de 20 estudantes de física que se voluntarizaram para ajudar durante o evento.

A conferência e o encontro tiveram em destaque os seguintes três tópicos:

- Física Nobel: Higgs, Supernovas e o Universo, Grafeno
- Novos Materiais e Física Biomédica
- Ano Internacional da Cristalografia

Houve também sessões dedicadas aos temas Fronteiras Interdisciplinares, Inovação no Ensino, e Energia.

No segundo dia teve lugar uma sessão aberta ao público, onde foi debatida a relação Física - Sociedade. Esta sessão teve como convidados o presidente da Sociedade Europeia de Física (EPS), John Dudley, o ex-Ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, José Mariano Gago, e o historiador Kostas Gavroglu. O debate foi seguido pela cerimónia de homenagem a quatro ex-presidentes da SPF, em reconhecimento do seu papel em prol da visibilidade e impacto da SPF: Augusto Barroso, Carlos Matos Ferreira, Filipe Duarte Santos e José Dias Urbano. Por fim, e aproveitando a sua presença, John Dudley apresentou o Ano Internacional da Luz, iniciativa da EPS cuja celebração foi declarada pela UNESCO para o ano de 2015. Com esta apresentação as celebrações do AIL2015 em Portugal foram formalmente abertas.

Além destes destaques, a conferência contou também com 15 palestras convidadas, 42 contribuições orais e mais de uma centena de pósteres. A participação de jovens cientistas, em particular estudantes de mestrado e de doutoramento, foi especialmente incentivada.

Esta edição contou também com o concurso "C_2^{14} - Conheci um cientista na FISICA2014". Através deste, estudantes do secundário puderam enviar perguntas sobre os vários temas da conferência, e os alunos com as melhores perguntas tiveram a oportunidade de apresentá-las no local aos palestrantes convidados.

O Encontro Ibérico, que é especialmente voltado para professores do ensino básico e secundário, contou com várias sessões de formação acreditada em temas como a preparação dos alunos para as Olimpíadas de Física, a utilização de *tablets* no Ensino de Física, ou o uso de vídeos no ensino de física experimental. Também teve lugar um interessante debate sobre a importância dos MOOCS em todos os níveis de ensino em física.

Por fim, o programa cultural e social, que consistiu numa visita noturna guiada aos Museus de Ciência da Universidade de Lisboa e no jantar da conferência, criaram um ambiente perfeito para reunir os participantes e comemorar o 40º aniversário da Sociedade Portuguesa de Física.

FÍSICA 2014 - programa

Auditório do Centro de Congressos do Instituto Superior Técnico, Lisboa

Terça-feira, 2 de Setembro

09:00 Cerimónia de abertura
Intervenções

- Presidente do Instituto Superior Técnico, **Arlindo Oliveira**
- Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, **Teresa Peña**
- Presidente do Departamento de Física do IST, **José Sande Lemos**
- Reitor da Universidade de Lisboa, **António Cruz Serra**
- Ministro da Educação e Ciência, **Nuno Crato**

09:40 Cosmologia e Astrofísica I
Nearby stars as detectors of the cosmos
Ilídio Lopes

11:30 Sessão Paralela CNF01-04
Compact stars: Radius to mass relation
Francisco Lopes, José P. S. Lemos, Gonçalo Quinta, Vilson T. Zanchin

Análise do comportamento da temperatura em séries urbanas de Portugal
L. Caramelo, A. A. Soares, M. D. Manso Orgaz

Si (100) surfaces functionalized by dual ion implantation: (C+Fe)+ and (C+Ti)+ systems
B. Nunes, N. Franco, A. M. Rego, E. Alves, R. Colaço

Micromanipulação celular usando fibras óticas
R. S. Rodrigues Ribeiro, R. B. Queirós, O. Soppera, J. Viegas, A. G. Oliva, A. Guerreiro, P.A.S. Jorge

11:30 Sessão Paralela EIEF01-04
Da experimentação à simulação
A. A. Soares, L. Caramelo, Adelaide Andrade, Francisco Pereira, J. J. Teixeira, Paula Lopes, Anabela Coelho

Instrumentos de tempo numa colecção científica
Marisa Monteiro, Manuel B. Marques

Prácticas de óptica en la rede UNILabs de laboratorios virtuales y remotos
C. Carreras, M. Yuste, J.P. Sánchez-Fernández, L. de la Torre, R. Heradio, J. Sáenz, S. Dormido

easyPET – um sistema PET didático
I. F. C. Castro, L. F. Carramate, P. M. M. Correia, L. M. Moutinho, D. Oliveira, A. I. Veloso, A. C. P. Ribeiro, A. L. M. Silva, J. F. C. A. Veloso

14:00 Cosmologia e astrofísica II
Mapping the dark universe: EUCLID mission and the portuguese contribution
Ismael Tereno

Star quakes and extrasolar planets: an enduring synergy
Tiago Campante

15:50 Inovação no ensino
Cem mil quilómetros de ciência: dois anos de Mundo na Escola
Ana Eiró

16:30 Sessão Paralela CNF05-CNF10
Investigação da distribuição elementar em amostras ósseas humanas
C. Santos, M. Fonseca, V. Corregidor, M. Guerra, Vidal B, L. C. Alves, H. Silva, M. L. Carvalho, J. P. Santos, J. C. Branco, A. P. Jesus

Black hole entropy in d-dimensions through thin matter shells
Gonçalo M. Quinta, José P. S. Lemos

Estudo da reação de fusão 16O+16º
H. Silva, J. Cruz, C. Santos, A. P. Jesus

Imagiologia de infravermelhos: do betão à nanotecnologia
T. Santos, L. Ferreira, L. C. Gomes, J. S. Amaral, V. A. F.Costa, V. S. Amaral

A high resolution RPC PET prototype for small animals
P. Martins, A. Blanco, P. Crespo, M. F. F. Marques, R. F. Marques, P. M. Gordo, M. Kajetanowicz, G. K., L. Lopes, J. Michel, M. Palka, M. Traxler, M. Couceiro, P. Fonte

Avaliação da performance térmica de materiais: Hot Disk
L. Ferreira, T. Santos, J. S. Amaral, V. S. Amaral

16:30 EIEF – Oficinas 1

18:00 Sessão de Pósteres (CNF & EIEF)

Quarta-feira, 3 de Setembro

09:00 Bosão de Higgs I
The Higgs Boson unleashed
Howard Haber

Beyond the Higgs Boson: open questions in particle physics
João Varela

10:50 Sessão Paralela CNF11-CNF17
Fabricação de microsensores usando tecnologia de Feixe de Iões Focado (FIB)
R. M. André, M. B. Marques, O. Frazão

Rastreabilidade metrológica do ângulo plano e a cristalografia
F. Saraiva, L. Eusébio, L. Ribeiro, S. Gentil, E. Filipe

Aplicação da espectroscopia de infravermelhos na diferenciação da deterioração de carnes de caça
C. Saraiva, Ana C. Silva, M. J. Moreira, P. Nascimento, J.M.M.M. de Almeida

Temperature at the nanoscale: Scanning Thermal Microscopy
M. J. Pereira, J. S. Amaral, N. J. O. Silva, V. S. Amaral

Efeitos não-lineares em fibras óticas convencionais e microestruturadas
M. F. S. Ferreira

Implementação da calibração em espectrofotometria segundo o VIM_3
O. Pellegrino, A. Laundos, E. Filipe

Avaliação do desempenho de dois aparelhos ortodônticos, por meio de sensores de Bragg
L. Carvalho, P. Roriz, O. Frazão, M. B. Marques

10:50 Sessão Paralela EIEF05-EIEF11
La física recreativa como recurso didáctico de enseñanza y aprendizaje para los maestros en formación
G. Martínez, F.L. Naranjo, F. Cañada, L. Melo

Clube do ensino experimental das ciências: um espaço de promoção de ciência e tecnologia
J. J. Teixeira, A. A. Soares

Experiências com radiação infravermelha
L. Peralta, F. Rego

Qchallenge! – atividades experimentais para alunos olímpicos
F. Oliveira, J. A. Paixão

Critérios de apreciação de manuais escolares de física do 10º ano: implicações e necessidades de um alinhamento curricular
M. B. P. Braga, D. Ruivo, M. A. Nascimento

O programa ESERO
M. Adelina Machado

Campus científicos de verano: física
S. Velasco Maillo, M. J. Santos Sánchez

14:00 Bosão de Higgs II
Higgs boson - here to stay
André David

Overview of Standard Model Higgs boson experimental results in the main fermionic and bosonic decay channels
Patrícia Muiño

15:30 Inovação no ensino
MOOCs

16:30 Sessão paralela CNF18-CNF23
Estimulação magnética transcraniana profunda através de sistema de bobinas imersas em líquido condutor
S. Sousa, J. Almeida, P. C. Miranda, R. Salvador, J. Silvestre, H. Simões, P. Crespo

Espectroscopia de impedâncias e de Raman na análise de granitos porosos
P. R. Prezas, M. P. F. Graça, M.J. Soares, S.K. Mendiratta, J. Monteiro, H.G. Silva

Produção de Titânio-45 em ciclotrão de baixa energia para aplicação em imagiologia PET
P. Costa, L.F. Metello, F. Alves, M. Duarte Naia

New approach to date metallic artifacts using the Uranium-238 radioactive séries
P. I. Girginova, J. Cruz, V. Corregidor, E. Figueiredo, R. J. C. Silva, C. Cruz

Compositional characterization of iron gall inks in manuscripts using non-destructive techniques
R. Viegas, V. Corregidor, M. T. Peña

Deteção de sincronia entre sinais de actividade eléctrica cerebral e muscular
R. Martins, C. Quintão, R. Vigário

16:30 EIEF - Oficinas 2

18:00 Sessão Pública
Física e Sociedade
John Dudley, Mariano Gago, Kostas Gavroglu

Ano Internacional da Luz em Portugal
Carlos Fiolhais

Tributo a Sócios Honorários

Quinta-feira, 4 de Setembro

09:00 Inovação em Materiais I
Experiência clinica com o acelerador EDGE
Sandra Vieira

Aplicações biomédicas de filmes ultrafinos produzidos pela técnica de automontagem camada-a-camada
Rui Costa

10:50 Fronteiras Interdisciplinares
Why is GeV physics relevant in the age of the LHC?
Michael Pennington

11:30 Sessão Paralela CNF24-CNF27
Polarimetry of a Venus type exoplanet
S. F. A. Batista, D. M. Stam

MEMS: fabrication and characterization of microcantilevers
S. Ferreira, K. Pedersen, A. Silva

Numerical simulation of electrical transport in rocks under mechanical action
T. Queiroz, M. A. Salgueiro da Silva, T. M. Seixas, H. G. Silva

Resultados recentes do Observatório Pierre Auger
J. Espadanal

11:30 Sessão EIEF12-EIEF15
Sensores no ensino experimental de física: um contributo para uma utilização significativa
M. Lambéria, I. Chagas

A escolha de manuais escolares por professores de física: relações entre cultura escolar, cultura e mercado
A. A. Martins, N. M. D. Garcia, M. L. M. Baptista

O raio da Terra em alta precisão com o método de Eratóstenes
R. J. Agostinho

Um olhar sobre o projeto "Escolher Ciência"
S. Leal, V. Monteiro, H. Fernandes

14:00 Inovação em Materiais II
Graphene: a paradigm in fundamental and applied physics
Eduardo V. Castro

10:50 Fronteiras Interdisciplinares
A física ao serviço do património
Francisco Gil

15:50 Sessão de Pósteres (CNF)

15:50 Inovação no Ensino
Novos programas de F&Q A
Carlos Fiolhais

Followers de la Física… ¡Ya están en nuestras aulas!
Pablo Nacenta Torres

17:20 Fronteiras interdisciplinares
Física e a Energia
Carlos Varandas

Encerramento

FÍSICA 2014 - fotografia de grupo

36
onda e corpúsculo
VOL. 37 - N. 3

CEM anos do Decreto n.º 896

Mª da Conceição Abreu

LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

mabreu@ualg.pt

***Sem palavras*: bastava se o Decreto n.º 896 fosse transcrito, tal é a clareza do mesmo como se pode ler no *fac simile*, que mostra partes dele e da Portaria que foi publicada simultaneamente. Contudo, aproveitemos a oportunidade para analisar como vai o OUSAR a experimentação hoje.**

Escreveu Gramsci na carta que enviou ao seu irmão a 19 de dezembro de 1929, quando estava na prisão de Turim: "O meu estado de espírito sintetiza e supera estes dois sentimentos: sou pessimista com a inteligência, mas otimista pela vontade".

É pela vontade que ouso mais uma vez sair a terreiro pelo ensino/aprendizagem da Física usando o laboratório, sim o laboratório tal como deve ser, no sítio próprio – o laboratório da escola – e pela pessoa certa – o professor. O laboratório deve ser um espaço com bancadas, tomadas, internet, instrumentos, computadores, quadro de ferramentas, manuais do equipamento, uns bancos para descansar as pernas, mas a maior parte do trabalho deve feito de pé, etc.

A 26 de setembro de 2014 faz cem anos o Decreto n.º 896 [1], publicado pelo Ministério de Instrução Pública, determinando que fossem criados nos liceus cursos de trabalhos individuais educativos.

Porquê o interesse deste decreto para os tempos de hoje? Defender a importância do trabalho experimental, numa sociedade onde a tecnologia impera, pareceria desnecessário, mas não o é, e penso que o Decreto da 1.ª República é muito claro para que serve este tipo de labor.

Para podermos perceber a sua atualidade, talvez ajude transcrever algumas partes do decreto centenário. Do preâmbulo cito:

"Devendo na instrução secundária, sobretudo, fazer-se a educação do aluno, por forma a desenvolver as suas faculdades de investigação e habituá-lo à prática dum método de estudo e trabalho que possa aproveitar-lhe, qualquer que seja a carreira a que se destine"

(…)

"Considerando que os trabalhos práticos individuais constituem um excelente meio de despertar o interesse, provocar a iniciativa, cultivar a personalidade e desenvolver as faculdades de observação e experiência;"

Segue-se um articulado de treze artigos nos quais se diz como se deve proceder, quem deve dar estas

Sábado 26 de Setembro de 1914

I Série — Número 175

DIÁRIO DO GOVÊRNO

Toda a correspondência, quer oficial quer relativa à assinatura do *Diário do Govêrno* e à publicação de anúncios, deve ser dirigida à Direcção Geral da Imprensa Nacional, bem como os periódicos que trocarem com o mesmo *Diário*.

ASSINATURAS

As 3 séries . . .	Ano	18$	Semestre	9$50
A 1.ª série. . . .	»	8$	»	4$50
A 2.ª série. . . .	»	6$	»	3$50
A 3.ª série. . . .	»	5$	»	2$50

Avulso: até 4 pág., $04; cada fl. de 2 pág. a mais, $02

O preço dos anúncios é de $06 a linha, acrescido de $01 de sêlo por cada um, devendo vir acompanhados das respectivas importâncias. As publicações literárias de que se recebam 2 exemplares anunciam-se gratuitamente.

aulas, se aconselha que o professor responsável seja coadjuvado por um professor no início de carreira, se aponta para a colaboração, na utilização de meios, entre o ensino secundário, as universidades e os museus. Permito-me a citar o Artigo 8.º:

"Os laboratórios e gabinetes dos liceus conservar-se hão abertos aos alunos inscritos nestes trabalhos, nos dias de semana e pelo máximo tempo que seja possível, fixado pelo reitor de acordo com os directores de divisão ou os professores respectivos";

e o 12.º que diz:

"os alunos deverão munir-se no princípio de cada ano… dum caderno escolar individual, rubricado pelo professor, destinado a registar ou descrever os exercícios…"

Este caderno, hoje, pode ser uma pasta num computador pessoal, mas não deixa de ser importante os alunos fazerem um registo e esboços da evolução das grandezas em gráficos preliminares, etc.

O Decreto n.º 896 é seguido, no mesmo Diário do Governo, pela Portaria n.º 239. Provavelmente, nos tempos de hoje, a Portaria regulamentadora sairia, não simultaneamente, mas sim vários meses ou anos depois! A portaria tem um conteúdo igualmente de grande acuidade atual, donde acompanhar o *fac simile* do decreto.

Devo concretizar o que entendo por trabalho de laboratório: é aquele onde se observa, se mede, se analisa, se tiram conclusões e onde as mesmas são avaliadas e discutidas à luz do conhecimento existente ou propondo novas teorias.

Por exemplo, o que pode trazer o ato de MEDIR? Uma vez que não somos adeptos da execução de "receitas tipo cozinha", o aluno deve pensar como medir a grandeza em causa, tendo em atenção os equipamentos existentes e o grau de rigor que se pode atingir com os meios de que se dispõe. Medir é uma operação que raramente se consegue à primeira, e mesmo que seja algo simples, como medir um comprimento, a medição exige que se tenha a régua adequada à ordem de grandeza do comprimento a medir; e mesmo que seja um comprimento banal, como o comprimento e a largura de uma mesa, será que uma medição única é suficiente para o objetivo em causa? Ou talvez não seja aconselhável se quisermos grande exatidão, pois esta depende da posição dos olhos em relação à escala da régua que temos, e o valor a medir pode situar-se entre dois traços da escala, etc... No caso de várias medições, teremos uma média das observações, a análise da distribuição dos dados em relação à média, etc. Todos os passos e valores devem ser registados em caderno ou no computador, o seu tratamento pode ser feito com uma máquina de calcular ou recorrendo ao cálculo mental ou a programas preexistentes no computador, e são exigidas ao

DECRETO N.º 896

Devendo na instrução secundária, sobretudo, fazer-se a educação do aluno, por forma a desenvolver as suas faculdades de investigação e habituá-lo à prática dum método de estudo e trabalho que possa aproveitar-lhe, qualquer que seja a carreira a que se destine;

Tendo em vista o alto valor educativo das sciências físico-químicas, biológicas e geológicas e da geografia;

Considerando que os trabalhos práticos individuais constituem um excelente meio de despertar o interêsse, provocar a iniciativa, cultivar a personalidade e desenvolver as faculdades de observação e experiência;

Usando das atribuições que me confere o n.º 3.º do

aluno a procura dos meios computacionais que se ajustam ao assunto e uma atitude crítica em relação aos resultados do programa, quer na forma numérica quer em gráfico [2].

A Portaria referida defende claramente estes pontos.

A autora deste artigo é uma pessoa normal, que a maioria das vezes só entendeu o alcance de equações e teorias depois de trabalhos laboratoriais realizados, e isto passou-se não só na disciplina de físico-química, mas também nas de biologia e geologia, e só no ensino dito complementar (antigo 6.º e 7.º ano) e depois universitário. Felizmente que no ensino liceal, já no 3.º a 5.º ano (atuais 7.º a 9.º), os professores das disciplinas referidas foram generosos em demonstrações em que colaborávamos. Teria sido bom que tivesse acontecido desde a então escola primária. Na realidade, ao metermos as mãos na massa, no cérebro dispara um hélas…

O pensamento: Ouvi–percebi, li–lembrei, fiz–aprendi (atribuído a Confúcio) traduz bem aquilo que a experimentação pode trazer à compreensão da física.

É necessário vir para a rua gritar em defesa da experimentação? Penso que é inevitável.

Lembremos os factos, começando pelos incentivos ao ensino experimental no século passado:

Depois do Decreto de 1914, em muitos liceus que se estavam a construir à época [3], e mesmo nos que já o tinham sido no final do século XIX e no início do XX, foram criados laboratórios (e até museus no seu interior). Quer os laboratórios quer os armários e corredores museu ainda estavam funcionais nos anos 70, mesmo nos 80.

Na década de 80 houve uma vaga de construção de instalações para o 2.º e 3.º ciclo em que estava presente a preocupação com a experimentação, se bem que com soluções que não eram excecionais: com os laboratórios parte integrante das salas de aulas das ciências, reduzidos a umas bancadas, em geral ao longo das paredes, com pontos de água e com uma certa acessibilidade à corrente elétrica. Os miúdos trabalhavam voltados para a parede e os professores tinham de, sobre as cabeças deles, dar instruções. Nessa época, ainda existiam em quase todas as escolas técnicos de laboratório ou um funcionário dedicado a tarefas como manutenção ou aprovisionamento. Os professores emergiam de licenciaturas de ensino em Físico-

PORTARIA N.º 239

A fim de ser dada execução ao decreto desta data: manda o Govêrno da República Portuguesa que sejam aprovadas as seguintes instruções sôbre os trabalhos individuais educativos.

Dada nos Paços do Govêrno da República, e publicada em 26 de Setembro de 1914. = O Ministro de Instrução Pública, *José de Matos Sobral Cid*.

Instruções sôbre os trabalhos individuais educativos

1.ª Os trabalhos individuais educativos são trabalhos executados pelos alunos, sob a direcção de um ou mais professores, em laboratórios, museus ou no campo, em excursões devidamente preparadas, trabalhos em que se deve visar principalmente, não a instrução literária do aluno, mas sobretudo a sua educação scientífica, procurando criar nele hábitos de investigação e crítica.

2.ª O trabalho deve ser individual, respeitando-se e cultivando-se nele, o mais possível, a habilidade manual, faculdade de observação, espírito de investigação, a personalidade e a iniciativa do aluno.

Química (FQ), ou Ensino da Física, ou Ensino da Química. Estas duas últimas opções tinham nascido devido à falta de cooperação típica dos portugueses, com as faculdades a deixarem os departamentos de Física e Química fazerem esse disparate que era cada um formar os professores na sua área, na esperança que o ensino fosse separado um dia, o que ainda hoje só acontece no 12.º ano, e não sei até quando. Aqui devemos louvar as universidades mais pequenas e recentes (Açores, Algarve, Aveiro, Évora…), que foram sensatas e formaram professores de FQ. O ensino experimental também estava um pouco precavido, porque não só as turmas eram de vinte e pouco alunos, como nas ciências eram desdobráveis para a realização de trabalho experimental, o que dava uns confortáveis 12-13 alunos para a realização de experiências em grupos de dois ou três, conforme o material.

Eis senão quando se começa, no dealbar do novo século, uma escalada desastrosa contra a experimentação e, já agora, o correto ensino de FQ.

1. A Parque Escolar é encarregue de remodelar as escolas secundárias [4], muitas delas com óbvia degradação e a necessitar de obras mas, não sabemos com base em que conhecimento didático, arrasaram-se os laboratórios, copiou-se o modelo do Ensino Básico de bancadas junto à parede, mas agora os miúdos tem um metro e setenta e não metro e meio e os professores já não veem através dos corpos deles… Ficaram ufanos porque as mesas da sala podiam ficar em forma de L com a bancada, mas as mesas tem um peso enorme e são dificilmente amovíveis. Penso que a filosofia por detrás disto é que tudo se aprende no computador e no quadro interativo! Observar, medir, experimentar, construir são óbvios; basta ver que nós próprios NÃO vivemos em construções com materiais maioritariamente portugueses, NÃO usamos aparelhos que uma fábrica portuguesa construiu, NÃO nos lavamos com algum sabão-que-não-seca-a-pele português, o barco que vai à pesca foi algures comprado, e por aí fora. Na Parque Escolar vingou a teoria do virtual contra o real, ou seja, os alemães constroem e nós compramos. Não deixo de mencionar o artigo publicado pela equipa da Parque Escolar sobre a modernização dos espaços na Escola Secundária D. Dinis [5], um artigo de uma colega muito entusiasmada com a modernização [6], e outros da autora do presente artigo que, onde todos viam virtudes, ela e alguns colegas só veem pecados mortais [7].

2. As turmas começaram a ter mais e mais alunos (já vamos em 30?) e os desdobramentos a falharem (2010?).

3. A reforma do Secundário reduziu por exemplo a escolaridade da Física ou da Química de sete para quatro horas (2011?).

4. Os técnicos de laboratório começaram a reformar-se e não foram substituídos, os auxiliares de educação são reduzidos e mal pagos, não dão para tudo ou não estão habilitados para tal.

5. A reforma de Bolonha faz regredir a formação para licenciaturas de Física ou Química com umas opções no 3.º ano na outra disciplina para quem queira ir para o ensino; mas isto é voltar às licenciaturas dos anos 70 e 80, em que a formação numa das disciplinas era "coxa" e, em geral, era a física aquela que era menos sabida pelos professores. O Mestrado de Habilitação para a docência só com muita astúcia permite recuperar a falta de preparação na outra disciplina, e isso só seria possível se as faculdades de ciências soubessem e pudessem oferecê-los. Há pelo menos um bom exemplo que pode ser visto em [8], e penso que entretanto algumas outras universidades estão a recuperar este modelo.

Na reforma de Bolonha, para se garantir o número de matérias a abordar (disciplinas), também se cortou sem jeito na carga horária dedicada ao laboratório nas licenciaturas de Física e Química, tendo a maioria dos trabalhos que se contentar com hora e meia ou duas horas no máximo.

6. O texto que esteve até fim de Março de 2013 em discussão, e agora foi publicado, sobre as Metas Curriculares do 3.º ciclo do Ensino Básico de Ciências Físico-Químicas, não tranquiliza quanto o futuro do ensino experimental no Ensino Básico, nomeadamente porque a par do significado de verbos como *Definir*, *Saber*, *Caracterizar*, etc., não aparecem as definições de *Medir* e *Observar* por serem óbvios; quando não temos dúvidas sobre uma matéria é porque não lhe demos a devida atenção.

O que fazer?

Temos de agir quer na formação/atualização dos professores, na readequação das instalações e no pessoal técnico de apoio aos laboratórios. A oferta de curso de formação básica, de mestrado e de

atualização em que o caráter experimental está sempre presente é uma urgência. No momento presente a oferta não só é escassa como pouco distribuída por todo o País, apesar de esforços vários como as ofertas da Sociedade Portuguesa de Física (SPF), da Sociedade Portuguesa de Química, e de outros programas dispersos. É necessário voltar a repensar a formação básica dos futuros professores de ciências.

Alguma readequação nas atuais construções escolares podia ser útil, e dou um exemplo muito simples, talvez até ridículo, que seria colocar as *hottes* na sala de aula e não na sala de apoio reservada a docentes, e em geral minúscula.

Mas também podemos fazer um pouco mais e tentar que o que está em curso, quer em obras quer nos curricula, seja feito corretamente. E para termos os técnicos podíamos prever esse perfil de formação nos cursos tecnológicos. Se as turmas tem mais alunos e é difícil fazer trabalho experimental, então que nestas sessões estejam presentes dois professores…

O Ensino/aprendizagem tem um sítio – a ESCOLA – e um agente – o PROFESSOR. É óbvio que quer alunos, quer professores, devem cuidar da sua cultura, e para isso há museus, centros, cinemas, livrarias, exposições…

Mas uma coisa é verdadeira: estamos longe do decreto de 1914, que até previa que os laboratórios deviam estar *abertos sempre que possível!*

A sabedoria do Decreto n.º 896 e o cuidado da Portaria n.º 239 que o acompanha são verdadeiros diamantes que podiam refletir luz para os dias de hoje.

É bom ter do nosso lado pessoas com muitos anos de estudo e ensino. Conheci pela primeira vez Jon Ogborn em 1976, numa conferência do GIREP (*Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique* [9]), em Oxford. A sua palestra motivou-me, sabia que era um dos responsáveis do *Nuffield Advanced Physics* [10], que foi traduzido para português sob o auspício da Fundação Calouste Gulbenkian. Em 2012 encontrei novamente Ogborn numa conferência do GIREP em Istambul, agora como um dos porta-voz do projeto MUSE [11], que defende melhor compreensão recorrendo a experiências simples e dando aos professores a possibilidade de implementar esse objetivo nas suas aulas, e insiste sempre que para tudo é preciso tempo, muito tempo.

Esta comemoração do Decreto da 1.ª República serve para, com unhas e dentes, pedir que os responsáveis pela educação permitam que as escolas criem condições aos seus professores para poderem, a partir de 2014, retomar a prática delineada pelos ideais do referido decreto, e que a SPF não ceda a soluções de faz-de-conta. O facto de quase todos os números da *Gazeta de Física* apresentarem trabalhos experimentais de grande valia para os vários graus de ensino é uma forte esperança que a SPF continua empenhada na causa do trabalho experimental nas escolas. Pelo menos ainda há luz, e é bom terminar esta evocação com otimismo e dizer que ainda estamos a tempo, mas não temos muito tempo, a esperança não dura eternamente apesar de ser a última a morrer.

Referências

1. Decreto nº 896, Diário do Governo, I Série-número 175, de sábado 26 de Setembro de 1914.
2. J. Bernardino Lopes, *Aprender e ensinar física*, ed. Fundação Calouste Gulbenkian (2004). M. C. Abreu, L. M. Matias, L. Peralta, *Física Experimental, ums introdução*, ed. Presença, (1994).
3. *Liceus em Portugal*, Coordenação de António Nóvoa, ed. ASA (2003).
4. Programa de Modernização do Parque Escolar do Ensino Secundário, Portal da Educação, Ministério da Educação, 21 de Fevereiro de 2006.
5. T. Heitor, V. Teodoro, J. Fernandes, C. Boavida, "Modernização dos espaços para o ensino das Ciências no Ensino Secundário", *Gazeta de Física* 30 (3,4), 40-41 (2007). T. Heitor, V. Teodoro, J. Fernandes, C. Boavida, "Laboratórios Escolares, espaços flexíveis para aprendizagem activa", *Gazeta de Física* 30 (3,4), 42-43 (2007).
6. Maria da Luz Castro, "Que espaço para o ensino das ciências?", *Gazeta de Física* 10 (2/3), 39 (2007).
7. M. C. Abreu, "Laboratórios para o século XXI", *Gazeta de Física* 31 (1,2) 41-42, 2008. M. C. Abreu, N. Matos e M. Quinteiro, "O Laboratório é essencial na aprendizagem das Ciências: A experiência em duas Escolas", Poster, Física2008 e 17º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, Setembro de 2008, Costa da Caparica. M. C. Abreu, A. C. Rodrigues, M. Quinteiro, A. Pinho, P. Nunes, J. L. Figueiredo, "Experimentação em Física no 3º ciclo do Ensino Básico: O Mito e a Realidade", Atas Física2006 e 16º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, Setembro de 2006, Aveiro, pág. 38.
8. Ensino no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário https://www.ualg.pt/home/pt/cursos/mestrado
9. GIREP (Groupe International de Recherche sur l' Enseignement de la Physique), http://www.girep.org
10. J. Ogborn (Ed.), *Nuffield Advance Physics*, Harmondsworth: Penguin Books Ltd, (1971).
11. MUSE (2010) http://education.epsdivisions.org/muse

Mª da Conceição Abreu é Investigadora do LIP e Prof.ª Catedrática aposentada da Universidade do Algarve. Colaborou na criação do Mestrado em Física para Ensino do Dep. Física da Fac. Ciências da Univ. Lisboa e na UCE da Univ. Algarve, e ainda no Mestrado de Habilitação para a Docência em Físico-Química da Fac. Ciências e Tecnologia da mesma universidade. Orientou estágios pedagógicos de alunos das Licenciaturas de Física ou Física e Química na zona da Grande Lisboa e no Algarve.

FÍSICA2014 - fotografias

Uma seleção mais vasta de fotografias está disponível em:
https://eventos.spf.pt/fisica2014/pt/GALERIA

Sessão de abertura, intervenção de Teresa Peña, Presidente da SPF.

Intervenção de Nuno Crato, Ministro da Educação e Ciência.

Átrio da conferência.

Oradores da sessão "Inovação no Ensino - MOOC's".

Sessão Ciência e Sociedade, Mariano Gago.

Sessão Ciência e Sociedade, Kostas Gavroglu.

Sessão Ciência e Sociedade, John Dudley.

2015 Ano Internacional da Luz em Portugal, Carlos Fiolhais.

Palestra "Experiência clinica com o acelerador EDGE", Sandra Vieira.

Bernardo Carapito e Mariana Martins Azevedo, dois dos alunos vencedores do concurso "C2-14 Conheci um Cientista na Física 2014".

Palestra "A física ao serviço do património", Francisco Gil.

Sessão "Novos programas de F&Q A".

Pedro Abreu, Presidente da DRSI-SPF.

Palestra "Followers de la Física... ¡Ya están en nuestras aulas!", Pablo Nacenta Torres.

Palestra "Física e a Energia", Carlos Varandas.

M.ª José Ribeiro Gomes e grupo de voluntários da FÍSICA 2014.

INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015

www.light2015.org

INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT 2015