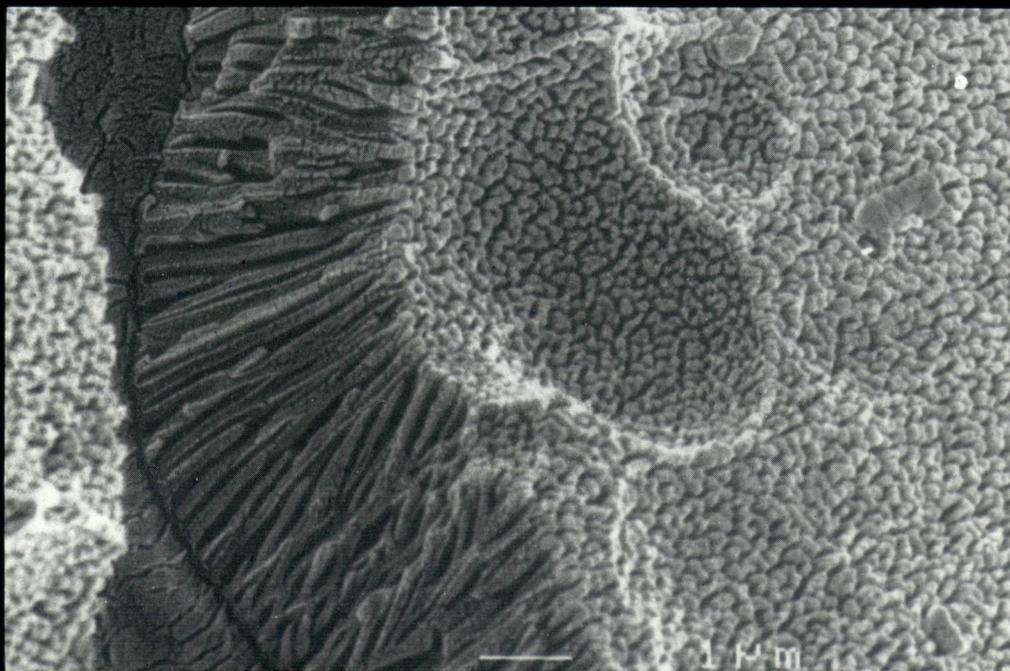


G A Z E T A D E

FÍSICA



SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

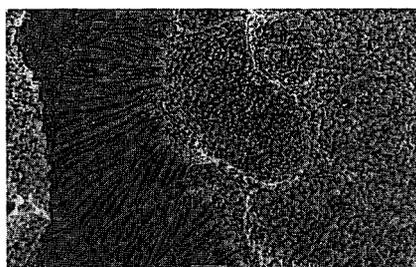
VOL. 17 • FASC. 3 • 1994 • PUBLICAÇÃO TRIMESTRAL • JULHO / SETEMBRO



A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. Deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da SPF, nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas. Os artigos podem ter índole teórica, experimental ou aplicada, visando promover o interesse dos jovens pelo estudo da Física, o intercâmbio de ideias e experiências profissionais entre os que ensinam, investigam ou aplicam a Física. As opiniões expressas pelos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Os **manuscritos** devem ser submetidos em duplicado, dactilografados em folhas A4 a dois espaços (máximo *equivalente* a 4000 palavras, incluindo figuras; 1 figura corresponde em média a 140 palavras). Deverão ter sempre um curto resumo, não excedendo 130 palavras. Deve ser indicado o(s) endereço(s) completo(s) das instituições dos autores. Agradece-se o envio do texto em disquete (de preferência «Word» para Macintosh ou PC). Os originais de figuras devem ser apresentadas em folhas separadas, prontos para reprodução. Endereço para correspondência: **Gazeta de Física - Sociedade Portuguesa de Física**, Av. da República, 37 - 4.º — 1000 Lisboa.

Na capa: O alumínio anodizado é caracterizado por ter um filme de revestimento, obtido por galvanoplastia e essencialmente constituído por alumina (Al_2O_3). A figura mostra uma imagem da estrutura desse revestimento, obtida por microscopia electrónica de varrimento. A alumina aparece sob a forma de cristais em «agulha», muito finos e perpendiculares à superfície.



SUMÁRIO

2

FILMES EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS
J. Bessa Sousa, J. M. Moreira, J. A. Mendes e A. A. C. S. Lourenço

10

UMA TENTATIVA PARA ULTRAPASSAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS
SOBRE CALOR E TEMPERATURA
Marília F. Thomaz, I. M. Malaquias, M. O. Valente e M. J. Antunes

18

CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA E ENCONTRO IBÉRICO SOBRE ENSINO

23

O QUE HÁ DE NOVO?

25

OLIMPIADAS DE FÍSICA

28

NOTICIÁRIO SPF

FILMES EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

J. BESSA SOUSA, J. M. MOREIRA, J. A. MENDES

IFIMUP (IMAT) e CFUP, Fac. Ciências Univ. Porto, 4000 Porto

A. A. C. S. LOURENÇO

INESC, R. José Falcão 110, 4000 Porto

Os filmes finos desempenham um papel fundamental na ciência e na tecnologia moderna. Há uma grande diversidade de métodos de fabrico e de aplicações específicas, não sendo por vezes fácil, a um leitor não especializado, ter uma perspectiva abrangente deste campo. Por outro lado, os filmes finos permitem criar materiais inteiramente novos, não existentes na natureza, abrindo um vasto campo de estruturas artificiais em ciência dos materiais. Um exemplo paradigmático é o caso das micro e nanoestruturas utilizadas em electrónica avançada. Neste artigo procura-se fazer uma síntese introdutória, em linguagem não especializada, dos princípios físicos (e químicos, em alguns casos) subjacentes à preparação e utilização de uma vasta gama de filmes. Procurou-se dar uma perspectiva crítica e unificadora, destacando apenas aspectos essenciais para compreender as vantagens/desvantagens/especificidades de algumas das técnicas mais utilizadas. Esta abordagem enquadra-se no contexto mais geral da ciência dos materiais, da termodinâmica do equilíbrio e do papel que a metaestabilidade hoje desempenha na preparação de novos materiais.

1. Breve síntese introdutória

O estudo e o fabrico de filmes finos dos mais diversos materiais — metais, isoladores, semicondutores, supercondutores, ... — exibindo novas propriedades físicas ou propriedades convencionais mas optimizadas pela estrutura em filme (nomeadamente em microdispositivos e revestimentos), ocupa hoje um lugar destacado na investigação científica e na tecnologia moderna.

A título ilustrativo referem-se os lasers miniatura de estado sólido, os dispositivos semicondutores ultra-rápidos e opto-electrónicos; os filmes supercondutores de alta temperatura crítica; os detectores ferro e piroeléctricos; as super-redes e as heteroestruturas ao nível nanoscópico; os novos sensores magnetoresistivos e magneto-ópticos.

Nos chamados *filmes finos* as espessuras típicas podem variar desde escassas

dezenas até milhares de Å, de acordo com as aplicações. Fala-se em geral de *filmes espessos* quando as espessuras excedem o micron ($1 \mu\text{m} = 10^4 \text{Å}$). A importância dos filmes pode ser apreciada sob vários ângulos, que passamos a analisar.

1.1. Espessura e desempenho funcional; por quê filmes finos?

A plena utilização funcional de uma dada propriedades física (eléctrica, magnética, óptica, ...) não exige necessariamente uma quantidade macroscópica de material. Em muitos casos basta um número reduzido de camadas atómicas de material (nanoestruturas) ou, quando muito, espessuras muito reduzidas ($\sim \mu\text{m}$; microestruturas). É nesta gama que os filmes trabalham, para os mais variados desempenhos funcionais.

Para quê filmes finos?

Filmes finos e Ciência de Materiais

O papel crucial do alto vácuo

Crescimento epitaxial de filmes

Técnicas básicas de deposição

Por exemplo, os sinais eléctricos de informação envolvem potências diminutas, podendo ser adequadamente transmitidos, nos circuitos de processamento, por filmes metálicos. Com filmes supercondutores, sem resistência eléctrica, conseguem-se tempos de transmissão ultra-rápidos.

Em conversores de energia solar ou dispositivos optoelectrónicos, quando a penetração da radiação se restringe à gama dos milhares de Å, podem utilizar-se eficazmente os filmes, como acontece nas células solares de silício amorfo.

Nos mostradores digitais, por exemplo de relógios de pulso ou instrumentos de medida, há uma densa matriz de condutores e eléctrodos para activar selectivamente as diversas partes (e “pontos”) do painel. Como é óbvio, esta estrutura não deverá ser visível à vista desarmada. Isso consegue-se com filmes metálicos (ou óxidos condutores transparentes) muito finos e estreitos, depositados com técnicas que permitem preservar o isolamento eléctrico recíproco (p. ex. litografia).

Filmes condutores relativamente espessos são utilizados para aquecer localmente superfícies, como acontece nos vidros dos automóveis (desembaciamento). Noutros casos os filmes actuam como sensores, podendo medir temperatura, deformações, radiação, etc., em pontos bem determinados. Os filmes finos permitem diminuir drasticamente os tempos de resposta a excitações exteriores, nomeadamente térmica.

1.2. Os filmes e os revestimentos na protecção de materiais. Melhoria da aparência de materiais

A protecção superficial de materiais com filmes pode envolver propriedades muito diversas, nomeadamente: *mecânicas* (ex: aumento da resistência ao desgaste na superfície dos discos duros; fabrico de lentes “irriscaíveis”, protegidas por um filme transparente de diamante), *químicas* e *electroquímicas* (ex: protecção contra a oxidação e corrosão), *ópticas* (ex: protecção contra radiações p. ex. viseiras-filtros UV; revestimentos reflectivos), etc.

Com filmes, em geral espessos, podemos também transformar radicalmente a aparência de materiais comuns (côr, brilho, textura, dureza superficial, tonalidades ambientais, etc), conferindo-lhes notáveis qualidades decorativas e novas áreas de aplicação (edifícios, superfícies, elementos para “design”, etc). Podemos também criar as condições adequadas para a aderência posterior de outros produtos.

1.3. Criação de novas propriedades e fenómenos físicos

Nos filmes finos ou nanoestruturados predominam os efeitos de superfície e de interface (alcance das interacções maior que a espessura dos filmes), podendo originar novos fenómenos físicos, sem paralelo nos corpos macroscópicos (efeitos de volume). Alguns desses fenómenos têm uma relevância física fundamental, e também grandes potencialidades para aplicações tecnológicas. Vejamos alguns exemplos.

- O crescimento de filmes e interfaces de qualidade, sobretudo entre semicondutores, permitiu criar fluidos electrónicos *bidimensionais*, espacialmente bem localizados e estudar pela primeira vez as suas propriedades. Isto levou à descoberta do célebre *efeito de Hall quantificado*, que esteve na origem do prémio Nobel atribuído a K. von Klitzing no ano de 1985. Nasceu então um novo campo de investigação, *da física dos electrões confinados* (e não só). Numa linguagem sugestiva, fala-se hoje em nanoestruturas “dots” (pontos), “wires” (fios), “tubes” (tubos),..., exibindo efeitos físicos específicos da respectiva topologia e dimensionalidade, com potencialidades para aplicações espectaculares.

- Com o aperfeiçoamento das técnicas de deposição controlada de átomos (ver secção 5), surgiram os filmes de elevada perfeição (super-redes, filmes estratificados, homo e heteroestruturas cristalinas), envolvendo a criação artificial de cristais, formados átomo-a-átomo, plano a plano, com características e periodicidades ajustáveis, não existentes na natureza. É a nova física e tecnologia das *estruturas artificiais*, de que a engenharia do hiato dos semicondutores é um exemplo paradigmático. Esta engenharia permite fabricar uma vasta gama de micro e nanodispositivos, sobretudo baseados em heteroestruturas de elementos dos grupos III-V (os chamados *semicondutores 3-5*) ou II-VI (semicondutores 2-6). Estes materiais estão a revolucionar todo o campo dos dispositivos semicondutores, sobretudo na área da optoelectrónica, em direcção ao que já se designa por nova era *pós-silício*.

1.4. Filmes finos, metaestabilidade termodinâmica e ciência de materiais

O papel histórico da termodinâmica do equilíbrio

Durante decénios a termodinâmica do equilíbrio (e dos diagramas de fase) constituiu o instrumento teórico fundamental para a preparação de materiais. Estes fabricavam-se quase invariavelmente a partir da fusão, seguida de arrefecimento controlado.

- Com arrefecimentos muito lentos (e procedimentos especiais complementares), é possível manter as mesmas condições de quase equilíbrio termodinâmico em todo o material em solidificação, obtendo cristais de grande dimensão; é o conhecido campo da Cristalogenese.

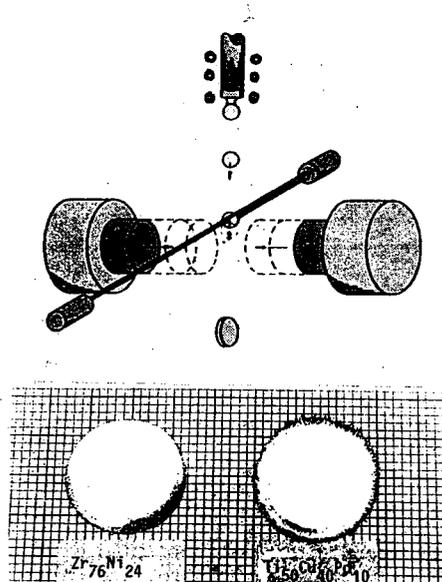
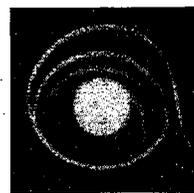
- No outro extremo, as taxas de arrefecimento rápido proporcionadas pelas técnicas disponíveis (elas próprias reflexo da visão limitada então existente) eram insuficientes, à escala dos tempos microscópicos, para contrariar os processos que rapidamente estabelecem condições de equilíbrio termodinâmico a nível local (poderão ser diferentes de região para região, num meio macroscópico). Nesta situação, o resultado invariável é a formação de materiais constituídos por muitos grãos cristalinos, de diferentes tamanhos e orientações, reflectindo justamente a diversidade das condições de equilíbrio local de região para região no meio (*). Os diferentes cristais estão separados entre si por estreitas fronteiras de grão, onde existe apreciável desordem estrutural.

Daqui decorre uma limitação fundamental da ciência de então: os materiais fabricados eram sempre constituídos por cristais que, embora pudessem ser muito pequenos, eram fisicamente macroscópicos e como tal formados em condições de equilíbrio termodinâmico local. Nestas condições, dois elementos A e B termodinamicamente imiscíveis nunca poderiam ficar misturados num mesmo cristal. Por outras palavras, os imperativos da termodinâmica do equilíbrio reinavam ao nível microscópico, restringindo as combinações possíveis de diferentes elementos à *escala atómica*, logo o fabrico de novos materiais controlados a esse nível ($\sim \text{\AA}$). Como se sabe, muitas das propriedades electrónicas, ópticas, magnéticas, ..., têm origem directa nas propriedades dos átomos e nas suas interações com átomos *imediatamente vizinhos* (tipo de átomos, número e disposição espacial, distâncias, etc.); a este nível último de controlo nanoscópico a ciência dos materiais *clássica* não consegue penetrar.

Metaestabilidade à escala nanoscópica; arrefecimento ultra-rápido

Com o aparecimento das técnicas de arrefecimento ultra-rápido, com taxas superiores a 10^6K/s , tornou-se possível "congelar", no estado sólido, a estrutura microscópica do estado líquido. Foram assim obtidos sólidos amorfos de materiais muito diversos, preservando a mistura íntima de diferentes elementos, mesmo termodinamicamente imiscíveis.

(*) Exceptua-se o caso dos materiais amorfos característicos, como os vidros e materiais afins. Referimo-nos no texto sobretudo a materiais metálicos, semicondutores, sólidos iónicos e materiais afins.



Arrefecimento ultra-rápido com a técnica de splat-cooling.
 (a) Correntes eléctricas intensas de radiofrequência numa bobina vertical (helicoidal/cónica), fundem uma pequena porção de material ($m \leq 5 \text{ g}$), formando uma gota que levita na atmosfera ou vácuo!
 (b) Extinguindo a corrente, a gota cai subitamente pelo orifício da bobina, acabando por interseparar um feixe óptico (F). Uma célula fotoeléctrica (CF) regista essa passagem, "desencravando" 2 pistões que inicia um movimento a alta velocidade um contra o outro, de modo a apanharem e espalmarem a gota entre as suas faces.
 (c) Ocorre um arrefecimento brutal, obtendo-se pequenos discos de material amorfo, com alguns cm de diâmetro e espessuras de dezenas de μm .

Os átomos são forçados, pelo arrefecimento ultra-rápido, a permanecer juntos uns dos outros ... tal como se encontravam no estado líquido! Trata-se de uma mistura sólida metaestável, mas como à temperatura ambiente a energia térmica média por átomo é insignificante ($kT \sim 10^{-2} \text{ eV}$), em face das barreiras energéticas envolvidas em subseqüentes ajustamentos de posições dos átomos (\geq vários eV), os correspondentes movimentos de difusão estão fortemente bloqueados. Basta recordar que a probabilidade de um átomo ter uma energia térmica superior a uma barreira energética $\Delta \approx \text{eV}$ é apenas de $p \approx e^{-\Delta/kT} \sim 10^{-43}$! Por isso, alterações significativas da estrutura (à temperatura ambiente) só ocorrem em escalas de tempo muito longas, milhares/milhões de anos em certos casos. Tal estrutura metaestável comporta-se como um estado definitivo e absolutamente estável para todos os efeitos práticos. Temos assim aberto um vasto campo para

a produção de novos materiais, fora do domínio restrito imposto (à ligação de átomos) pelas leis da termodinâmica do equilíbrio.

Mas há ainda uma possibilidade de diversificação adicional. Partindo do estado amorfo pode-se induzir, com *tratamentos térmicos controlados*, graus crescentes de cristalização, produzindo uma gama quase contínua de diferentes materiais, com graus de cristalinidade finamente controlados, desde a escala nanométrica até à escala micrométrica (ou acima). Cobre-se, deste modo, toda a gama de dimensões cristalinas que escapavam à metalurgia clássica ($\leq \mu\text{m}$), alargando significativamente o campo dos materiais possíveis, bem como o controlo fino das suas propriedades.

O controlo último das estruturas atómicas.

Filmes cristalinos e nanoestruturados.

A Cristalogenese permite obter materiais monocristalinos de grandes dimensões e perfeição interna, mas limitados às combinações de elementos (e estequiometrias) permitidas pelas leis do equilíbrio termodinâmico.

Vimos também que, com os métodos clássicos da metalurgia, a mistura íntima (à escala do Å) de elementos estava condicionada às leis do equilíbrio termodinâmico. No caso de incompatibilidade termodinâmica (imiscibilidade), o melhor que se pode obter é uma mistura, em geral à escala micrométrica, de cristais de fases termodinâmicas distintas.

As técnicas de arrefecimento ultra-rápido permitem assegurar a mistura íntima de elementos, mesmo termodinamicamente imiscíveis, obtendo-se materiais não previstos pela termodinâmica do equilíbrio. Há contudo uma penalidade a pagar: esses materiais são *amorfos* ou quando muito *nanocristalinos*.

Será possível ter a liberdade de combinar diferentes elementos ao nível do Å e, simultaneamente, assegurar um cristal em larga escala, isto é, fabricar materiais com os seus átomos dispostos em planos atômicos perfeitos e de extensão macroscópica?

Estes dois objectivos podem conseguir-se hoje em dia ao nível dos filmes, mercê das modernas técnicas de preparação de filmes finos e nanoestruturados.

2. Elementos básicos na preparação de filmes

A preparação de filmes envolve, quase invariavelmente, o concurso de quatro componentes básicos:

— *Alvo*: que é o material (ou conjunto de materiais) a depositar (ou co-depositar). Por vezes o material a depositar está na fase gasosa (deposição em fase gasosa), podendo o próprio processo de deposição envolver reacções químicas específicas nessa fase (deposição química em fase gasosa).

— *Substrato*: superfície adequada, muitas vezes monocristalina, devidamente posicionada em relação ao

alvo, para receber (favorecendo a fixação) os átomos vindos do alvo e, em certos casos, induzir num crescimento cristalino, devidamente orientado, dos filmes (crescimento epitaxial).

— *Fonte de energia*: pode revestir várias formas, de acordo com os diferentes processos de fornecer energia aos átomos do alvo, libertando-os e comunicando-lhes suficiente energia cinética (e direcção de saída adequada) para que se venham a fixar, por impacto, no substrato, originando o crescimento do filme.

— *Câmara de vácuo ou de atmosfera controlada*: para garantir que todas as fases de preparação decorrem sob condições controladas e com o menor grau de contaminação possível. O vácuo elevado ($\sim 10^{-6}$ – 10^{-7} Torr) ou o ultra-alto-vácuo (UHV, 10^{-10} Torr ou melhor) são imprescindíveis para a preparação reprodutível de filmes de elevada qualidade, nomeadamente monocristalinos com crescimento orientado. Noutros casos, há uma atmosfera na câmara, desempenhando um papel chave na deposição, tanto como agente que provoca o arranque dos átomos do alvo, como suporte dos processos físicos e químicos inerentes a essa deposição.

Abordamos, nas secções seguintes, alguns aspectos básicos sobre as condições de fabrico e as técnicas possíveis de preparação de filmes.

3. O papel crucial do alto vácuo na preparação de filmes de qualidade

É extremamente fácil contaminar as superfícies dos materiais, e consequentemente qualquer filme durante a fase de preparação, se não forem tomadas precauções para limitar a inclusão de átomos estranhos, sempre presentes no meio envolvente.

Analisemos quantitativamente esta questão, começando por calcular o número de átomos (ou moléculas) que chocam, por unidade de tempo e de superfície, com o substrato, $dN/dSdt$. Supondo que há n átomos (ou moléculas) por unidade de volume da atmosfera envolvente, a teoria cinética dos gases permite escrever imediatamente:

$$\frac{dN}{dSdt} = n \langle |v_z| \rangle$$

onde $\langle |v_z| \rangle$ representa o valor médio do módulo da componente da velocidade molecular perpendicular à superfície.

Para uma temperatura absoluta T , este valor é facilmente calculado utilizando a distribuição de Maxwell-Boltzmann para a velocidade das partículas, obtendo-se

$$\langle |v_z| \rangle = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot n \cdot \sqrt{\frac{KT}{m}}$$

Expressando n à custa da pressão p do gás, suposto perfeito, $p = nKT$, obtém-se:

$$\frac{dN}{dSdt} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot p \cdot \frac{1}{\sqrt{mKT}} = \sqrt{\frac{N_0}{2\pi K}} \cdot \frac{p}{\sqrt{KT}}$$

onde, na última passagem, exprimimos a massa m de cada partícula à custa da massa molecular (M) do gás correspondente, $m = M/N_0$ ($N_0 =$ número de Avogadro).

Supondo que todos os átomos que chocam com o substrato ficam agarrados, formando camadas atómicas com uma distância característica (d) entre átomos vizinhos, a concentração (superficial) de átomos em cada camada que se forma é dada por:

$$n_s = \frac{1}{d^2}$$

Então o número de camadas que se formam, por unidade de tempo (dN_c/dt), é dado por:

$$\frac{dN_c}{dt} = \frac{1}{n_s} \cdot \left(\frac{dN}{dSdt} \right)$$

Em geral, nem todas as partículas que chocam com uma superfície se fixam efectivamente, sendo necessário introduzir um factor correctivo (η), correspondente à probabilidade real de fixação de cada partícula que choca com o substrato, ficando:

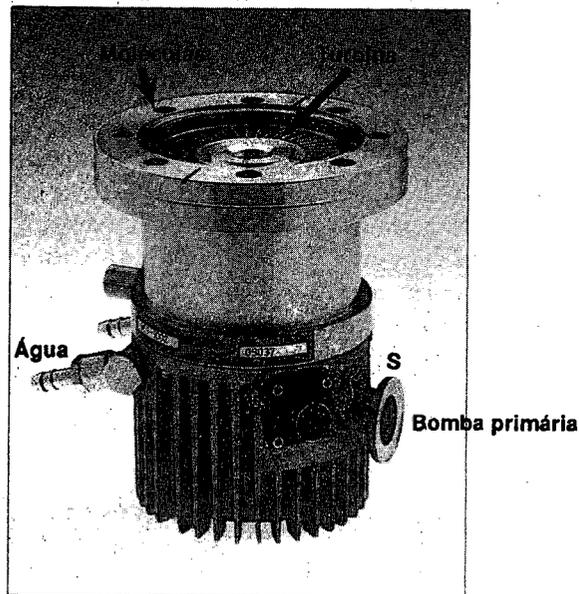
$$\frac{dN_c}{dt} = \frac{1}{n_s} \cdot \left(\frac{dN}{dSdt} \right) \cdot \eta$$

Vejamos alguns exemplos ilustrativos, à temperatura ambiente ($T = 300K$), tomando como gás o azoto ($M = 28g$, $d \sim 3\text{Å}$), em função de diferentes valores da pressão, e portanto do grau de vácuo existente durante a deposição do filme (por simplicidade, tomamos $\eta = 1$):

- (i) $p = 760$ Torr, $\frac{dN_c}{dt} \sim 7.5 \times 10^8$ monocamadas/segundo
- (ii) $p = 10^{-6}$ Torr ~ 1 monocamada/segundo
- (iii) $p = 10^{-10}$ Torr ~ 1 monocamada/hora

Vemos que para ter uma superfície atómicamente limpa por um período da ordem de 1 hora, a pressão do gás em contacto com essa superfície deve ser extremamente baixa, pelo menos de 10^{-10} Torr. Esta gama de pressões (e abaixo) designa-se de região de Ultra-Alto-Vácuo (UHV). Este grau de vácuo consegue-se na prática

utilizando acessórios de vácuo especiais (tubagem, câmaras, ligações para UHV) e bombas de vácuo do tipo turbomolecular ou criogénico, por exemplo.



Bomba turbomolecular. Uma turbina (T) com elevadíssima velocidade de rotação (70 000 rotações/minuto no modelo apresentado) arrasta as moléculas de gás a evacuar, concentrando-as no interior do corpo da turbina; uma bomba rotativa primária, ligada à saída (S), lança essas moléculas para o exterior.

4. Crescimento epitaxial de filmes

Para muitas aplicações, sobretudo em dispositivos semicondutores opto e magnetoelectrónicos e supercondutores de alta temperatura crítica, os filmes finos devem ser monocristalinos e, adicionalmente (em certos casos), com o seu crescimento segundo uma direcção cristalográfica definida. A possibilidade de produzir filmes monocristalinos envolve factores complexos, interligados, em geral de difícil caracterização quantitativa: tipo de material a depositar, natureza e estrutura superficial do substrato, processo particular de deposição, temperatura, etc. Pela sua importância prática, referimo-nos aqui ao chamado *crescimento epitaxial* de filmes.

Conhecido o material a depositar, incluindo a(s) eventuais estrutura(s) cristalina(s) em que poderá cristalizar, e as correspondentes distâncias interatómicas, selecciona-se para substrato um cristal de elevada perfeição, quimicamente inerte, e com uma estrutura (e distâncias interatómicas) compatível com a que desejamos implementar no filme. O substrato é então cortado (corte de alta qualidade, incluindo eventualmente clivagem ou polimento fino) segundo um plano com alta concentração de átomos, escolhido de modo a induzir o crescimento cristalino desejado.

Nos casos de deposição bem sucedidos, verifica-se que os átomos vindos do alvo e projectados sobre tal superfície preparada, com uma *energia cinética adequada*, rapidamente se fixam, por movimentos sucessivos, em posições regulares na superfície do substrato, correspondentes a mínimos locais da energia potencial impostos pelo cristal subjacente.

Assegura-se assim, univocamente, um crescimento monocristalino do filme, com uma estrutura semelhante à do cristal subjacente, incluindo a direcção de desenvolvimento. É o chamado crescimento epitaxial de filmes finos e de filmes cristalinos nanoestruturados (em grego, *epi* significa *sobre*, enquanto *taxis* significa *ordenado*).

5. Técnicas básicas de deposição

Há uma grande diversidade de técnicas de deposição de filmes, baseadas em diferentes princípios físicos e fisico-químicos. Envolvem, essencialmente, diferentes processos de promover a libertação de átomos do material a depositar (comunicando-lhes adequada energia cinética) bem como o seu transporte e fixação no substrato.

A energia pode ser fornecida aos átomos por via estritamente térmica, mediante evaporação com aquecimento resistivo ou com feixe de electrões (evaporação por feixe electrónico); por impacto de iões acelerados, num plasma (pulverização catódica; *sputtering*, na língua inglesa) ou num feixe iónico (ou electrónico; pulverização por feixe iónico ou electrónico); por feixe de fotões com alta intensidade (*ablação laser*). Noutros casos o material a depositar é previamente atomizado e levado, sob a forma de um fluxo atómico com direcção e energia controladas, a incidir sobre o substrato (exs: deposição por feixe molecular; electrodeposição). No contexto deste artigo, limitamo-nos apenas a algumas destas técnicas, com brevíssimos comentários em cada caso.

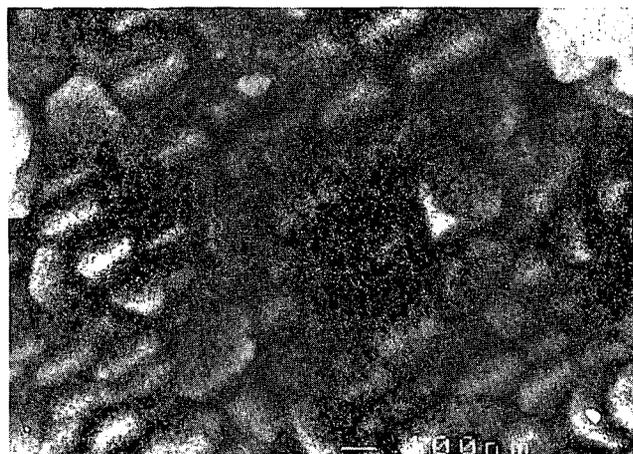
(i) Evaporação

Na versão corrente, o material a depositar é posto num cadinho apropriado (não contaminante), com *aquecimento resistivo* (por efeito Joule), comunicando-se crescente energia térmica de vibração aos seus átomos (em média $\sim 3kT$ por átomo). Os átomos mais rápidos que se encontram junto à superfície poderão escapar-se para o exterior (evaporação), indo-se depositar sobre o substrato próximo, devidamente posicionado. Como a velocidade (e direcção) destes átomos cobre uma larga faixa de valores, as condições de deposição são diferentes de átomo para átomo, o que se reflete na qualidade do filme obtido. Por outro lado, para que a evaporação não seja tumultuosa, há que manter uma certa “pressão” sobre o material líquido, através de uma atmosfera inerte (Ar, He, ...), em geral rarefeita.

Numa versão “mais limpa”, não ocorre a fusão de toda a massa no cadinho, mas apenas de uma pequena película superficial, mediante aquecimento muito localizado, conseguido com um feixe de electrões previamente acelerados (energias de alguns KeV), cuidadosamente focado numa pequena região da superfície do material a depositar, produzindo uma fusão local. Esta técnica permite trabalhar sob alto vácuo (virtual ausência de choques para os electrões), não produz ebulição tumultuosa, nem o risco de contaminação por “atmosfera” envolvente. Designa-se por técnica de *evaporação por feixe electrónico em ultra-alto-vácuo*. Conseguem-se taxas muito baixas de deposição (≤ 1 monocamada/s), grande estabilidade do fluxo de átomos e, em certos casos, condições adequadas a uma deposição epitaxial de filmes.

(ii) Ablação laser

É hoje possível dispor de lasers de alta potência, emitindo sob a forma pulsada feixes com elevadíssima concentração de fotões, capazes de transportar (à velocidade da luz) quantidades apreciáveis de energia por impulso. Conseguem-se potências de pico da ordem $10^9 - 10^{19}$ Watt/impulso. Quando estes fotões (em feixe muito estreito, devido à coerência da radiação laser) incidem numa região muito restricta do alvo e são aí absorvidos, tem-se localmente potências de aquecimento elevadíssimas. Ocorre uma *fusão* local quase instantânea de material, sendo os átomos superficiais literalmente arrancados e ejectados a alta velocidade em direcção ao substrato.



Filme fino de cerâmica supercondutora de alta temperatura crítica ($YBa_2Cu_3O_7$), obtido por ablação laser. O crescimento do filme ocorre em grânulos colunares ($\sim 10^2$ nm) com crescimento cristalino orientado.

O método é compatível com um elevado vácuo na câmara, logo virtual ausência de contaminação, ou com a presença de uma atmosfera, de qualquer tipo. A elevada energia dos átomos ejectados favorece o crescimento cris-

talino (ou texturado) dos filmes, bem como uma elevada aderência filme-substrato. A evaporação dos átomos é congruente, isto é, a composição química do filme é virtualmente a mesma do alvo. Sobre a grande importância actual desta técnica, suas especificidades e aplicações, ver artigo independente no próximo número da Gazeta.

(iii) *Epitaxia de feixe molecular (MBE, molecular beam epitaxy)*

É a técnica por excelência para a produção de filmes cristalinos e nanoestruturados de elevada perfeição e pureza. Exige contudo uma instalação complexa e de custo muito elevado, ocorrendo a deposição numa câmara de UHV munida de diversa instrumentação auxiliar e analítica de precisão. Estes dispositivos controlam *in situ* características básicas dos filmes (espessura, estrutura, propriedades físicas, químicas) à medida que vão crescendo.

A deposição é feita utilizando *feixes moleculares*, um para cada elemento a depositar, com fluxos de átomos finamente controlados. Cada feixe é obtido numa célula especial (*effusion cell*) essencialmente constituída por um pequeno cadinho contendo o material a depositar, com um sistema de aquecimento e regulação da temperatura (controlado por computador), e um colimador deixando sair para o exterior apenas um feixe atómico (ou molecular) para a subsequente deposição do filme. Um sistema de obturadores (um por célula), controlados por computador, permite abrir ou fechar selectivamente os diversos feixes moleculares. A deposição ocorre camada-a-camada atómica, com a medida simultânea da quantidade de material depositada, composição do feixe molecular, fluxo e sua estabilidade, qualidade estrutural das camadas depositadas, etc.. É assim possível conhecer, com rigor, o fluxo ϕ de partículas em cada feixe molecular, por exemplo do elemento A:

$$\phi_A = \frac{dN_A}{dSdt}$$

Para um substrato de superfície S, o número de átomos A que caem no intervalo dt é $dN_A = \phi_A S dt$. Suponhamos que queremos depositar uma camada atómica do elemento A, para a qual a distância interatómica (conhecida) é d_A . Para termos uma camada monoatómica cobrindo integralmente a superfície S precisamos de um número de átomos A dado por $dN_A = S/d_A^2$. Para que tal ocorra temos que abrir o obturador da célula A durante um intervalo de tempo dado por:

$$\Delta t_A \text{ (1 monocamada de elemento A)} = \frac{S/d_A^2}{\phi_A S} = \frac{1}{\phi_A d_A^2}$$

Se quisermos depositar m-camadas sucessivas do elemento A, o tempo de abertura deverá ser:

$$\Delta t_A \text{ (m monocamadas de A)} = \frac{m}{\phi_A d_A^2}$$

A vantagem decisiva da técnica MBE sobre outras técnicas epitaxiais (que, adicionalmente, trabalham a pressões mais elevadas) é a rapidez de comutação que se consegue com a abertura/fecho dos obturadores das células, o que permite assegurar com grande rigor o tempo de deposição com cada feixe. Isto permite um controlo rigoroso do número de átomos em cada camada, assegurando um crescimento cristalino perfeito, e interfaces abruptas entre camadas de diferentes materiais. Uma taxa típica de deposição MBE é de $1 \mu\text{m/h}$ que corresponde a cerca de $0,3 \text{ nm/s}$, ou seja 1 monocamada por segundo. O tempo requerido para a comutação entre diferentes feixes deverá ser, por isso, muito inferior a 1 segundo.

(iv) *Pulverização catódica*

O arranque dos átomos do alvo é conseguido pelo impacto dos iões de um gás raro envolvente (Ar, Ne, ...; previamente ionizado), com uma energia cinética suficiente, resultante de um processo de aceleração por uma diferença de potencial eléctrico adequada (centenas de V). O alvo é posto a um potencial negativo, daí a designação de pulverização *catódica*.

Há vários processos de produzir a ionização, quer através de uma tensão contínua entre placas de um condensador, sendo o alvo uma delas (pulverização *diodo DC*; só aplicável quando o material do alvo é condutor eléctrico), ou com uma tensão de radiofrequência (pulverização *diodo RF*, aplicável a qualquer alvo, condutor ou isolador; só há pulverização efectiva nos ciclos em que o alvo fica negativo). Em qualquer dos casos forma-se um plasma fortemente ionizado na câmara de deposição.

Para aumentar o número de iões junto ao alvo, usam-se por vezes campos magnéticos intensos, próximos e sensivelmente paralelos à sua superfície, que forçam os electrões (que, por choque, produzem ionizações dos átomos do gás raro) a movimentos espiralados em torno das linhas de força do campo magnético, o que leva a um aumento espectacular da concentração de iões junto à superfície do alvo. Isto assegura elevadas taxas de deposição, como se requiere, por exemplo, na produção industrial. É o conhecido processo de *pulverização catódica do tipo magnetron*.

Noutros casos a ionização do gás é feita numa parte da câmara longe do alvo, sendo aí criado um feixe de iões, devidamente acelerados por um potencial eléctrico. Este feixe é em seguida focado e "guiado" para convergir no

alvo, mediante deflexão dos iões por um campo magnético (linhas de força com geometria adequada na câmara) sensivelmente perpendicular à linha alvo / célula de ionização. É o chamado sistema de *pulverização triodo*.

A pulverização catódica usa necessariamente uma atmosfera que, embora rarefeita para assegurar a ionização, é sempre uma fonte de contaminação e de perturbação do crescimento dos filmes. Quando se pretende depositar mais do que um material, usam-se diferentes alvos, quer para co-deposição (ligas) ou para deposições em alternância (filmes multicamadas). A extinção/arranque da deposição de cada elemento não pode realizar-se de modo tão controlado e abrupto como na deposição MBE, envolvendo alterações complexas no plasma existente... Contudo, é possível otimizar parâmetros-chave do processo (pressão, potência eléctrica, temperatura do substrato, tempos de obturação mecânica dos alvos, tipo de gás utilizado, etc.) e, em muitos casos, fabricar filmes finos multicamadas cristalinos, ou com interfaces abruptas, sobretudo quando os elementos em jogo são termodinamicamente imiscíveis.

(v) *Deposição química organo-metálica em fase gasosa*

Neste caso os átomos a depositar são "libertados", por reacção química, de moléculas adequadas constituindo uma atmosfera de um gás ou mistura de gases. As suas moléculas, do tipo *organo-metálico*, são ionizadas em geral com radiação de RF, de modo a reagirem entre si e libertarem como produto da reacção iões do elemento particular a depositar, em condições energéticas favoráveis à sua deposição preferencial no substrato. Por exemplo, por ionização do silano, SiH_4 , obtêm-se iões de silício que se podem depositar directamente num substrato, originando um filme de Si.

Este processo constitui o segundo método epitaxial mais importante na indústria de semicondutores, depois do método MBE. Contudo, não permite tempos de comutação muito curtos, pois essa operação envolve a renovação de toda a atmosfera de um dos elementos na câmara de gás (*o reactor*) e a injeção de novo gás, subsequente ionização, etc..

Mediante jactos de gases conduzidos através de tubos capilares, finamente controlados e posicionados, é hoje possível reduzir apreciavelmente os tempos de comutação, produzindo filmes epitaxiais de boa qualidade interfacial, no chamado *método MBE - organo-metálico*.

(vi) *Deposição electrolítica*

Este método é a base do conhecido processo industrial da galvanoplastia. Façamos uma análise muito esquemática dos seus princípios. Como electrólito usa-se uma solução de iões, obtida por dissociação de moléculas iónicas apropriadas R^-M^+ , contendo iões do metal (M) a deposi-

tar; R^- é a restante parte iónica da molécula. Por exemplo, na dissolução aquosa do sulfato de cobre tem-se $\text{R}^- = \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{M}^+ = \text{Cu}^{2+}$. Introduzem-se na solução 2 electrodos, um constituído pelo metal M a depositar, que se polariza positivamente (ânodo), e o outro (cátodo) constituindo o substrato.

Com uma escolha criteriosa da solução (tendo em atenção a deposição do metal M), os mecanismos essenciais que ocorrem são os seguintes. Os iões R^- são atraídos pelo ânodo e ao chocarem com a sua superfície colocam os respectivos iões (M^+) numa nova situação: passam a estar simultaneamente atraídos pelo fluido electrónico (no interior do metal) e pelo ião molecular R^- , no exterior. Se a energia-base do sistema M^+/R^- for menor quando M^+ se liga quimicamente a R^- , formando uma molécula RM , então ocorre o "arranque" de iões M^+ do metal para constituírem moléculas RM . Estas difundem-se na solução, acabando (mediante choques) por se ionizarem, libertando então iões M^+ para a solução. Estes são em seguida atraídos pelo substrato (cátodo), fixando-se aí em camadas atómicas sucessivas, uma a uma, formando filmes de metal M com espessura crescente.

Como é bem conhecido de todos, a galvanoplastia tem vastíssimas aplicações industriais e tecnológicas, nos mais variados campos. A novidade recente foi a "reescopagem" do método para preparar filmes finos nanocristalinos e heteroestruturados. Ainda numa fase exploratória e de aperfeiçoamento, com algumas limitações intrínsecas (problema dos tempos de comutação, presença de soluções concentradas contendo outros elementos, complexos processos químicos em jogo, etc.), o método apresenta o enorme atractivo de ser muito simples, barato e imediatamente acessível ao manuseamento industrial.

Em alguns casos, para os quais a perfeição extrema da estrutura atómica dos filmes não é um factor impeditivo, foram já fabricados filmes nanoestruturados (em multicamadas) com propriedades físicas aceitáveis, nomeadamente na área dos filmes magnetoresistivos; refere-se também a área promissora dos filmes magnéticos granulares.

BIBLIOGRAFIA

- IBACH, Harald e LUTH, Hans, in *Solid State Physics*, Springer-Verlag, cap.º 28 (*Semiconductor Epitaxy*), pág. 324 (1993).
HERMAN, M. A. e SITTE, H. — *Molecular Beam Epitaxy*, Springer-Verlag, series on Materials Science, vol. 7 (1988).
PARKER, E. H. C. (ed.) — *The Technology and Physics of Molecular Beam Epitaxy*, Plenum Press, N. York (1985).
BURNS, G., in *Solid State Physics*, Academic Press, cap.º 17 (*Surface Science*), cap.º 18 (*Artificial Structures*) (1985).
CHRISSEY, Douglas B. and HUBLER, Graham K., in *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*, Wiley Interscience, cap.º 13 (*Comparison of Vacuum Deposition Techniques*) (1994).
SZE, S. M. — *VLSI Technology*, McGraw-Hill series in Electrical Engineering (1983)

UMA TENTATIVA PARA ULTRAPASSAR CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS SOBRE CALOR E TEMPERATURA

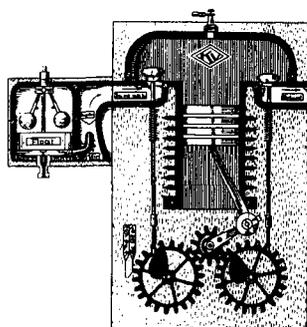
MARÍLIA F. THOMAZ, I. M. MALAQUIAS, M. O. VALENTE E M. J. ANTUNES

Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

Os conceitos de calor e de temperatura, e outros com estes relacionados, são reputados por provocarem problemas conceptuais nos alunos. Resultados de investigação têm evidenciado que a abordagem tradicional ao ensino destes conceitos não tem promovido mudança conceptual. Numa tentativa para ultrapassar esta situação, elaborou-se e implementou-se um modelo alternativo para a introdução formal destes conceitos. O modelo tem subjacente uma perspectiva construtivista e as mudanças propostas são baseadas nos resultados de investigação educacional atrás citados.

O estudo foi desenvolvido por quatro professores, dois do ensino universitário e dois do ensino básico/secundário.

Os resultados sugerem que o modelo tem potencialidades para promover uma melhor compreensão dos conceitos em causa. A investigação em acção desenvolvida provou ser uma actividade útil e eficiente no âmbito da formação contínua de professores.



Introdução

O ensino tem sido descrito (Zumwalt 1982) como um processo deliberativo que requer dos professores uma reflexão profunda sobre aquilo que fazem. D. Khun (1986) faz notar que “uma extensa e importante literatura teórica no campo da educação, que remonta aos princípios deste século, reflecte a opinião de que a única maneira de melhorar o pensamento dos professores é envolvê-los nele”.

Por outro lado, ao longo das duas últimas décadas, têm sido realizados muitos estudos sobre concepções alternativas em Física (ex. Driver 1981, Gilbert e Watts 1983, MacDermont 1984, Novack 1987, Vasconcelos 1987, Maurines 1992). Esses estudos têm evidenciado a importância que aquelas concepções têm na compreensão por parte dos alunos, de conceitos-chave em Física.

Um dos tópicos a ser tratado no currículo da Física no ensino básico diz respeito a uma introdução à termodinâmica, mais precisamente, à calorimetria. Em

Portugal, este conteúdo tem sido introduzido no 9.º ano de escolaridade. No entanto, estudos realizados com estudantes de cursos universitários de ciências (Thomaz 1990, Latas 1993) mostraram que muitos destes alunos possuem ideias, relacionadas com os conceitos de calor e temperatura, semelhantes às existentes em crianças antes do ensino formal e em adultos, cuja formação científica formal terminou no 9.º ano de escolaridade.

Várias investigações sobre as ideias que os alunos possuem sobre calor e temperatura, realizadas concretamente no domínio da Termodinâmica (ex. Erickson and Tiberghien 1980, 1985, Clough e Driver 1985, Thomaz 1990, Latas 1993), permitiram identificar as seguintes concepções alternativas:

(i) muitos alunos entendem calor como uma espécie de substância existente nos corpos, que se move através deles e que pode passar de uns para os outros. Esta ideia é muitas vezes reforçada pelos livros de texto;

Estudo piloto

Descrição do modelo de ensino

Resultados e conclusões

(ii) muitos alunos discriminam insuficientemente calor de temperatura. Para eles temperatura é uma propriedade do material de que o corpo é feito e é uma medida do seu calor;

(iii) para a maioria dos alunos, diferentes sensações significa diferentes temperaturas e o conceito de equilíbrio térmico, considerado pelos professores e autores de livros de texto como um dado adquirido pelos alunos, na grande parte dos casos não é possuído por estes. Quando em contacto com um ambiente a uma certa temperatura, durante um intervalo de tempo suficientemente longo, a temperatura de um objecto é vista, por um grande número de alunos, como dependente primordialmente da substância de que os corpos são feitos;

(iv) também muitos alunos pensam que aquecer uma substância significa sempre aumentar a sua temperatura. A temperatura de mudança de fase não é considerada como uma característica de uma substância pura;

(v) por outro lado, a temperatura de transição de fase é vista, por um grande número de alunos como a temperatura máxima que uma substância pode alcançar quando aquecida.

Resultados de investigação têm evidenciado que muitas das ideias sobre calor e temperatura, previamente associadas com o pensamento das crianças, permanecem em alunos do ensino básico, secundário e mesmo universitário.

Clough e Driver (1985) fazem notar que “as concepções alternativas dos alunos não têm sido notadas devido à maneira como o ensino é conceptualizado e realizado”. No entanto, tal como salientado por Rowell et al (1990), embora exista uma vasta publicação sobre investigação relacionada com a identificação das ideias dos alunos acerca de conceitos científicos, relativamente pouco tem aparecido sobre a maneira como as concepções alternativas podem ser mudadas e sobre a razão porque se espera que estratégias propostas tenham sucesso.

Por outro lado, há também grande evidência de que o sucesso ou insucesso de qualquer implementação curricular depende, primeiro que tudo, da maneira como os professores a vêem. A implementação pode ser vista pelos professores como um processo que lhes é externamente imposto, e a probabilidade de falhar é muito grande, ou pode ser visto como um processo no qual estão genuinamente interessados, muito envolvidos no seu desenvolvimento e sobre o qual reflectiram e discutiram largamente. Nesta última situação, a implementação tem uma probabilidade de sucesso muito maior.

Um grupo de dois investigadores universitários e dois professores do ensino básico/secundário, partilhando as

ideias de D. Khun atrás referidas, realizaram um estudo que envolveu a elaboração e implementação de um modelo de ensino que permitisse ultrapassar concepções alternativas dos alunos sobre calor e temperatura e conceitos com estes relacionados. A implementação do modelo foi feita no contexto das aulas de Física das turmas normais dos dois professores que trabalhavam na mesma escola.

O Estudo

O estudo desenvolveu-se em três fases. Numa primeira fase, o grupo trabalhou durante várias sessões, nas quais os professores do ensino básico/secundário foram introduzidos na problemática das concepções alternativas. Foi feita uma revisão da literatura sobre o tópico, seguida de uma reflexão e discussão conjuntas, que ajudaram à consciencialização do problema sobre o qual nunca tinham, até então, reflectido.

Numa segunda fase, no ano lectivo de 1991/92 e antes do começo do ensino formal dos fenómenos relacionados com calor e temperatura, foi aplicado um questionário diagnóstico, um pré-teste, a 92 alunos, 79 das classes dos professores/investigadores e 13 da classe de um outro professor da mesma escola que não estava envolvido no estudo. Esta última classe funcionou como turma de controlo. A cada aluno foi pedido que respondesse a questões de escolha múltipla e que desse as razões da sua escolha. Este último aspecto foi considerado essencial pois a razão fornecida pelos alunos permitiria ter uma ideia da lógica usada e da existência de quaisquer possíveis concepções alternativas. A última questão era uma questão de resposta aberta em que se pedia aos alunos que dessem as suas ideias sobre os conceitos de calor e de temperatura.

Com base nos resultados da análise de conteúdo das respostas a este pré-teste, o grupo dispendeu várias sessões na elaboração do modelo de ensino, que foi depois implementado pelos professores nas suas classes. Elaborou-se, entretanto, um segundo questionário, com os mesmos objectivos do primeiro, mas com questões diferentes, que viria a ser aplicado no fim da implementação. Foram video-gravadas e analisadas pelo grupo 10 aulas de cada professor. As sessões de elaboração do modelo e as de discussão das aulas realizadas revelaram-se extremamente enriquecedoras para qualquer dos investigadores pois criaram oportunidades para discussões interessantes não só sobre os acontecimentos ocorridos durante as aulas (relacionados com aspectos científicos e pedagógicos) mas também de uma análise mais aprofundada dos aspectos científicos envolvidos.

Este primeiro estudo foi usado como estudo-piloto e também como um meio para promover um período de

treino para os professores do ensino secundário que actuavam como investigadores pela primeira vez na sua vida profissional.

Na terceira fase, no ano lectivo 1992/93, e com base nos resultados da implementação anterior, desenvolveu-se um segundo ciclo de actividades, cujos resultados são os que se apresentam neste artigo.

Nesta última fase, a classe de controlo foi escolhida numa outra escola, de modo a evitar possíveis interferências com a implementação. Foi decidido seguir apenas uma classe de cada professor. O pré-teste foi aplicado a 48 alunos das classes experimentais e a 31 alunos da classe de controlo.

Exemplos de itens de ambos os testes são apresentados no apêndice I.

Descrição do modelo para o ensino dos conceitos de calor e temperatura e seus relacionados

Um dos resultados mais impressionantes da análise de conteúdo das respostas ao primeiro teste foi a dificuldade revelada pelos alunos em aceitar que diferentes objectos estão à mesma temperatura quando em contacto com o mesmo ambiente durante um longo período. Isto significa que o conceito de equilíbrio térmico, que os professores e os autores de livros de texto consideram, à partida, adquirido pelos alunos, não o está na grande maioria deles (91,7%-96,9% nas classes experimentais e de controlo respectivamente).

O conceito de equilíbrio térmico é um conceito-chave para o estudo do calor e da temperatura porque é uma construção mental, cuja compreensão representa um pré-requisito básico para muitos outros conceitos em Termodinâmica. A nível introdutório a temperatura é defi-

nida como “uma grandeza macroscópica relacionada com a energia cinética média de cada uma das partículas que constituem um corpo e determina se dois ou mais corpos estão ou não em equilíbrio térmico quando em contacto uns com os outros”. O calor é também definido em termos de equilíbrio térmico: “calor é energia transferida de um corpo a temperatura mais elevada para outro a temperatura mais baixa até que seja alcançado o estado de equilíbrio térmico”.

Isto implica então que, para que o significado científico de calor e temperatura seja alcançado, os alunos devem compreender correctamente o conceito de equilíbrio térmico. É sabido que o conceito de temperatura, tal como o conceito de força teve a sua origem nas percepções sensoriais do homem. Mas a percepção de temperatura, tal como a percepção de força, tem uma validade muito limitada. A partir dos conceitos primitivos de aquecimento e arrefecimento relativos desenvolveu-se uma ciência mais objectiva de termometria, tal como a partir do conceito ingénuo de força como puxão ou empurrão, se desenvolveu um método mais objectivo de definição e medição de forças. Contudo, há forte evidência que mostra que, na mente dos alunos, a sensação de quente ou frio, que têm quando tocam em objectos de diferentes materiais em equilíbrio térmico com um mesmo ambiente, é sinónima de alta ou baixa temperatura. Uma análise de livros de texto, usados pelos professores, revela que este conceito de equilíbrio térmico é tratado ligeiramente, sendo até por vezes omitido.

Baseado no que atrás se disse, foi decidido considerar o conceito de equilíbrio térmico como conceito central em torno do qual todos os outros apareceriam como uma necessidade para o interpretar e compreender.

A Fig.1 representa um mapa de conceitos útil para o ensino do calor e da temperatura.

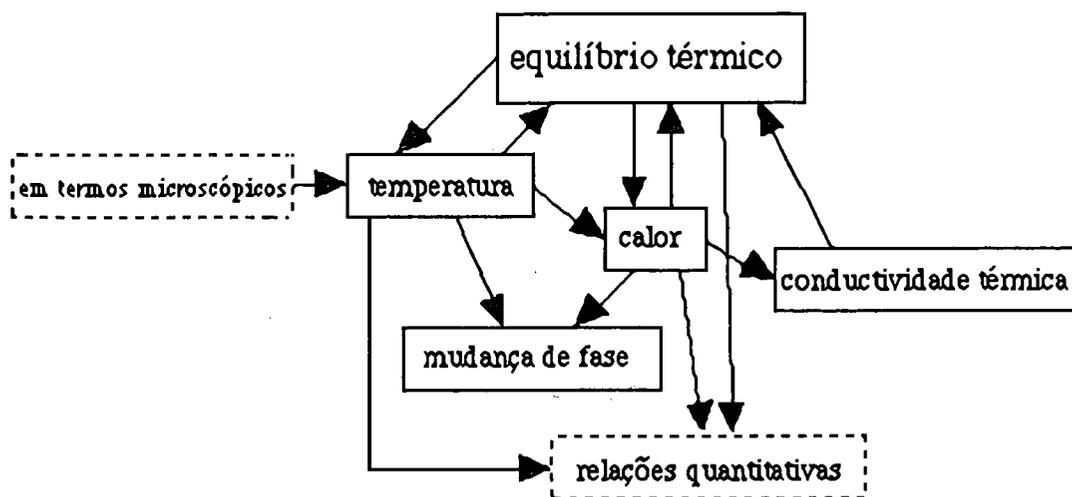


Fig. 1 — Mapa de conceitos útil para o estudo do calor e da temperatura.

A estratégia proposta para o ensino do calor e da temperatura é baseada num modelo construtivista de ensino/aprendizagem. Neste modelo os alunos são vistos como construtores activos do seu conhecimento. Não se parte do princípio que eles chegam à sala de aula sem ideias prévias sobre o tópico que vai ser tratado. Pelo contrário, entende-se que os alunos possuem ideias construídas a partir de experiências informais e do uso da linguagem do dia a dia e que as mesmas podem influenciar a sua receptividade a outras novas. Esta visão da aprendizagem é particularmente importante na abordagem ao ensino do calor e da temperatura.

Uma característica importante deste modelo é a ênfase no envolvimento activo do aprendiz na sua aprendizagem. A informação apresentada ao aluno não é transmitida pela informação em si mesma. Pelo contrário, o aluno tem que dar sentido à informação como resultado da interacção desta com o seu conhecimento prévio. Contudo o aluno pode não ser capaz de fazer a ligação entre o "velho" e o "novo" conhecimento sem a orientação do professor, e é aqui que as competências dos professores de ciência podem ser exploradas até à sua máxima potencialidade.

A estrutura, para o modelo de ensino concebido para promover mudança conceptual, foi baseada no modelo de Rogers para o desenvolvimento do processo de adopção, descrito em outro trabalho (Thomaz 1986). Contém cinco estádios identificados no processo mental de adopção de "novos" conceitos por um indivíduo: (1) - consciencialização, (2) - interesse, (3) - avaliação, (4) - experimentação e (5) - adopção.

A função primária do estádio de consciencialização é iniciar a sequência dos estádios que conduzem à eventual adopção, ou rejeição, dos conceitos "novos". Hassinger (1959) faz notar que a informação sobre uma ideia normalmente não gera consciencialização, mesmo que o indivíduo possa ser exposto a essa informação; a não ser que ele tenha um problema ou uma necessidade para a qual a nova ideia apresente uma solução possível. O indivíduo deve ser consciencializado das suas próprias ideias. Em face de situações, para as quais se lhe pede uma interpretação, deve existir insatisfação com as ideias existentes, pois só assim o indivíduo sentirá necessidade de as mudar. No segundo estádio, o indivíduo torna-se interessado na "nova" ideia e procura informação adicional sobre ela.

No estádio de avaliação ocorre uma espécie de "experimentação mental". Se o indivíduo sente que as vantagens pesam mais que as desvantagens, decidirá tentar a "nova" ideia.

No estádio de experimentação, o indivíduo usa o novo conceito de modo a determinar a sua utilidade, face a uma adopção completa do mesmo.

No modelo proposto, o papel do professor é criar oportunidades que possam promover o desenvolvimento destes diferentes estádios do processo mental de adopção de um novo conceito. É no estádio de adopção que a mudança conceptual terá lugar.

A tabela 1 mostra os cinco estádios do modelo concebido para provocar mudança conceptual relativa a conceitos relacionados com calor e temperatura e as actividades que devem ter lugar em cada estádio.

Tabela 1 — Os 5 estádios do esquema e as actividades a ter lugar em cada fase

Estádio de consciencialização	1. ^a fase — Auto-consciencialização das ideias sobre sensações e temperatura (experimental). 2. ^a fase — Exposição a situações de conflito — medições da temperatura de objectos diferentes em contacto com o mesmo ambiente (experimental).
Estádio de interesse	3. ^a fase — Interpretação da temperatura em termos microscópicos (experimental). 4. ^a fase — Interpretação do calor como energia transferida a nível microscópico
Estádio de avaliação	5. ^a fase — Interpretação de equilíbrio térmico
Estádio de experimentação	6. ^a fase — Utilização da conductividade térmica para explicar o facto de diferentes sensações não significarem diferentes temperaturas (experimental). 7. ^a fase — Reforço da distinção entre calor e temperatura mediante a interpretação de mudanças de fase (experimental).
Estádio de adopção	8. ^a fase — Relação entre calor e variação de temperatura (experimental). 9. ^a , 10. ^a , ... — Discussões, testes, problemas, etc, que possam promover a generalização de conceitos e a apreciação da sua gama de aplicação.

No estádio de consciencialização os alunos são expostos a situações em que são "forçados" a tomar consciência das suas próprias ideias e a usá-las na interpretação de fenómenos que lhes são apresentados. Para promover essa consciencialização devem ser apresentadas aos alunos situações em que eles possam:

- i) tomar consciência das suas próprias ideias e das ideias dos seus colegas relacionadas com sensações e temperatura;
- ii) verificar que diferentes sensações não significam temperaturas diferentes;
- iii) reconhecer que quer os objectos sejam do mesmo material ou não, quando postos em con-

tacto durante um intervalo de tempo suficiente, atinge-se um estado em que a leitura do termómetro em contacto com ambos é a mesma.

Primeiramente os alunos devem ter oportunidade para tomarem consciência de que diferentes sensações não significam diferentes temperaturas. Para isso o professor deve começar a aula, pedindo aos alunos que toquem em diferentes objectos existentes na sala e que discutam as suas sensações. Depois os alunos devem ser motivados a apresentar as suas ideias sobre a temperatura de cada um deles. Usam aqui os significados familiares de temperatura.

Depois desta primeira série de questões deve ser-lhes dada oportunidade de medir a temperatura de um conjunto de objectos adequadamente trazidos pelo professor. Esses objectos devem estar na sala desde o princípio da aula (por exemplo, um copo com água à temperatura ambiente, um pedaço de lã, um copo cheio com pequenas esferas de chumbo, um pedaço de madeira, etc. Deve ter-se cuidado em escolher objectos cuja temperatura seja fácil de medir com os termómetros simples existentes na escola). Esta actividade tem como objectivo promover situações de conflito.

Deve existir também uma situação em que dois objectos a diferentes temperaturas são postos em contacto; isto vai proporcionar aos alunos a oportunidade de fazerem leituras regulares no termómetro até que se atinja a situação de equilíbrio. Deverá seguir-se uma discussão que envolva todos os alunos, analisando-se situações não académicas de modo que as conclusões tiradas sejam relevantes para a vida do dia a dia.

Uma vez em conflito com as ideias existentes, os alunos devem ser motivados a procurar novas informações sobre temperatura e calor. No estágio de interesse, devem ser proporcionadas experiências que permitam aos alunos visualizar o efeito do aquecimento, sobre o volume e pressão, de ar contido num tubo de vidro. Usando um modelo dinâmico em que o aumento de volume e pressão possa ser observado em termos do aumento da energia cinética média de cada partícula, deve pedir-se aos alunos que interpretem a variação de temperatura entre dois corpos em termos de troca de energia.

Somente depois disto deve o conceito de calor ser introduzido como energia transferida entre objectos em contacto um com o outro ou através de um meio, até que seja atingido o estado de equilíbrio térmico.

Para promover o estágio de avaliação deve ser pedido aos alunos que usem este "novo" conceito na interpretação de equilíbrio térmico em situações do dia a dia.

A introdução do conceito de condutividade térmica aparece como uma necessidade para explicar porque é que sensações diferentes não significam temperaturas diferentes. Isto deve ser feito experimentalmente. Devem também realizar-se experiências envolvendo mudanças de fase de modo a promover o desenvolvimento do estágio de experimentação e ajudar a reforçar a distinção entre calor e temperatura.

A seguir devem proporcionar-se várias actividades não só como meio de promover o estágio de adopção, mas também para verificar se esta foi alcançada. Elas devem envolver experiências que permitam quantificar a relação entre calor e variação de temperatura, discussões sobre situações concretas do dia a dia, resolução de problemas, testes, etc.

Resultados

Os resultados deste estudo serão apresentados tendo em conta dois aspectos: i) as potencialidades do modelo para promover uma melhor compreensão de fenómenos envolvendo calor e temperatura, e ii) as implicações deste tipo de estudos no desenvolvimento profissional de professores trabalhando no ensino básico/secundário.

I) Potencialidades do modelo para promover uma melhor compreensão de fenómenos envolvendo calor e temperatura.

Relativamente a este primeiro aspecto, a análise envolveu uma examinação dos dados obtidos através da aplicação dos pré e pós-testes, de modo a evidenciar conjuntos de afirmações que pudessem revelar a existência de concepções alternativas nos alunos. A comparação dos dados nos dois tipos de classes (experimental e controlo) forneceu a base de avaliação da eficiência do modelo.

O pré-teste sobre calor e temperatura permitiu a identificação das concepções prévias dos alunos. As concepções encontradas foram semelhantes às citadas na literatura e indicaram que uma grande percentagem de alunos, em ambos os grupos, possuíam, antes do ensino formal, ideias acerca destes conceitos que não eram consistentes com as explicações aceites cientificamente. A prevalência dessas concepções nos pré e pós-testes, de ambos os grupos, são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 — Resultados da análise dos dados dos pré e pós-testes aplicados às duas classes experimentais e à classe de controlo

Concepções dos alunos sobre calor e temperatura

Concepções dos alunos	Percentagem de alunos nas:			
	Classes experimentais		Classe de controlo	
	pré-teste (n = 48)	pós-teste (n = 48)	pré-teste (n = 31)	pós-teste (n = 30)
• Calor ou frio como uma substância existente nos corpos	31,3	6,3	58,1	56,7
• Temperatura como uma propriedade da substância de que um corpo é feito	93,8	18,7	96,9	72,7
• Objectos em contacto durante muito tempo com o mesmo ambiente têm temperaturas diferentes se forem feitos de materiais diferentes	91,7	20,8	96,9	76,6
• Temperatura como qualquer coisa que pode ser transferida	14,6	6,3	19,4	30,0
• O estado “quente” ou “frio” depende do material de que o corpo é feito	67,7	6,3	66,7	53,3
• A temperatura é uma medida do calor de um corpo	39,6	8,3	29,0	36,6
• Calor é sensação	41,7	14,6	25,8	66,7
• A temperatura é uma função do calor	29,2	2,1	32,3	32,3

Como pode ser visto nesta tabela, antes do ensino formal a grande maioria dos alunos, em todas as classes, não possuía o conceito de equilíbrio térmico. Para eles, a temperatura era entendida como uma propriedade dos materiais de que os corpos são feitos; e objectos em contacto, durante um longo tempo, com o mesmo ambiente têm temperaturas diferentes se os seus materiais forem diferentes. Depois do ensino segundo o modelo proposto, a percentagem de alunos, apresentando essas ideias, diminuiu de 93,8 para 18,7 e de 91,7 para 20,8 respectivamente, enquanto que a percentagem dos alunos que foram ensinados pelo modelo tradicional somente diminuiu de 96,9 para 72,7 e 96,9 para 76,6 respectivamente.

A percentagem de alunos, possuindo a ideia de que o calor é uma espécie de substância residindo nos objectos, decresceu, após o ensino, passando de 31,3 para 6,3 nas classes experimentais, enquanto que a percentagem relativa aos alunos da classe de controlo ficou praticamente na mesma.

Uma situação interessante reside no facto de, na classe de controlo, algumas das ideias aparecerem reforçadas após o ensino formal, tal como as ideias de que: i) “a temperatura é qualquer coisa que pode ser transferida” (19,4% antes e 30,0% depois do ensino); ii) “a temperatura é uma medida do calor do corpo (29,0% antes e 36,6% depois do ensino); e iii) “calor é sensação” (25,8% antes e 66,7% depois). Neste último caso, a ideia de que o calor é uma sensação parece ser um estádio elementar do conceito de calor, anterior ao científico.

A última questão dos questionários era uma questão aberta em que se pedia aos alunos que dissessem como explicariam a outra pessoa qual o significado de calor e temperatura. Antes do ensino nenhum dos alunos, quer das turmas experimentais quer da de controlo, apresentou uma ideia aceitável cientificamente. Depois do ensino segundo o modelo elaborado, a percentagem de alunos que apresentou ideias correctas sobre calor subiu de 0,0% para 66,7%, enquanto que na classe de controlo nenhum dos alunos foi capaz de o fazer. No entanto, relativamente ao conceito de temperatura, embora não tenha sido evidenciada nenhuma melhoria nos alunos da classe de controlo, a melhoria demonstrada pelos alunos das classes experimentais foi menos evidente comparada com a do conceito de calor. Somente 37,5% dos estudantes apresentou uma ideia aceitável de temperatura. O conceito de temperatura em termos microscópicos parece ser de mais difícil assimilação que o de calor, parecendo precisar de maior evidência experimental e mais tempo para ser aprendido.

Embora ainda seja cedo para dizer quão eficaz é o modelo, a análise dos dados proporcionou alguns resultados promissores.

II) Implicações deste tipo de estudos no desenvolvimento profissional dos professores do ensino secundário.

Relativamente a este segundo aspecto, os dados para análise foram obtidos através de conversas tipo entrevista com os professores e de um relatório elaborado por eles com o resultado da sua reflexão sobre o trabalho desenvolvido durante o estudo.

Segundo eles este trabalho foi muito compensador e extremamente útil. Os aspectos principais que apontaram como sendo os que mais influenciaram estes sentimentos foram:

i) o desenvolvimento de trabalho e troca de experiências entre professores dos ensinos universitário e básico/secundário, em que estes últimos actuaram mais do que meros agentes de implementação;

ii) a leitura e discussão de estudos sobre as ideias de calor e temperatura possuídas pelos alunos, feitos por investigadores em vários países, que permitiu uma consciencialização das suas implicações no pensamento e aprendizagem dos alunos;

iii) a familiarização com técnicas para identificação das ideias dos alunos, que proporcionou o desenvolvimento de competências para a elaboração de instrumentos de diagnóstico e maneiras de analisar os dados recolhidos;

iv) a implementação de novas estratégias educacionais com o propósito de provocar mudança conceptual, que abriu novas perspectivas à sua actuação como professores;

v) a possibilidade de auto e hetero-observação das suas actuações como professores, que ajudou a colmatar falhas no seu ensino, até aí indetectáveis.

A maneira como o estudo foi conduzido permitiu a existência de uma auto-reflexão sobre o processo de ensino até então desenvolvido pelos professores, criando a oportunidade de, através da vivência de um modelo construtivista, eles próprios consciencializarem objectivos, métodos e estratégias usadas e suas falhas, promovendo um novo tipo de abordagem, que se revelou frutífero para a aprendizagem dos alunos e deles próprios, como professores.

Conclusões

O modelo de ensino descrito neste estudo parece ser eficaz na mudança de muitas ideias dos alunos sobre situações relacionadas com calor e temperatura. Em particular, as ideias de que a temperatura é uma propriedade da substância de que um corpo é feito e que diferentes sensações significam temperaturas diferentes, mudaram em direcção às explicações científicas na maioria dos alunos ensinados segundo o modelo, contrariamente ao que aconteceu com os alunos ensinados segundo o modelo tradicional. Esta mudança proporcionou uma compreensão do conceito de equilíbrio térmico, considerado como um conceito-chave para o estudo de fenómenos relacionados com calor e temperatura.

Os resultados revelaram uma melhoria relativamente à abordagem tradicional que, tal como evidenciado pelo estudo, pouco parece afectar as ideias intuitivas dos alunos.

Os professores sentiram que o uso da nova abordagem proporcionou melhores condições e melhores resultados de aprendizagem. Sentiram também que o modo como o estudo decorreu, envolvendo-os na própria investigação,

contribuiu fortemente para o seu desenvolvimento profissional. Ajudou-os e motivou-os para uma reflexão mais rigorosa das suas próprias práticas.

A maneira como o estudo foi conduzido fortaleceu claramente a ligação entre investigação, teoria e prática. Promoveu nos investigadores da universidade uma profunda compreensão dos problemas envolvidos na prática de sala de aula, não só através das discussões que tiveram lugar durante a elaboração do modelo de ensino e da planificação das estratégias usadas, mas também através da análise das aulas video-gravadas. Este tipo de investigação em acção provou ser uma actividade útil e eficaz na formação contínua dos professores, não somente dos do ensino básico/secundário mas também na dos universitários envolvidos na formação de professores.

REFERÊNCIAS

- CLOUGH, E. e DRIVER, R. — *Secondary students' conceptions of the conduction of heat: bringing together scientific and personal views*, *Physics Education*, **20**, 175-182 (1985).
- DRIVER, R. e EASLEY, J. — *Pupils and paradigms: A review of the literature related to concept development in adolescent science*, *Studies in Science Education*, **5**, 61-84 (1987).
- DRIVER, R. — *Alternative frameworks in science*, *European Journal of Science Education*, **3**, (1), 93-101 (1981).
- ERICKSON, G. e TIBERGHEN, A. — *Heat and temperature*, in R. Driver, E. Guesne e A. Tiberghien (eds.), *Children's ideas in Science* (Philadelphia, Open University press) (1985).
- GILBERT, J. e WATTS, M. — *Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions in Physics: changing perspectives in science education*, *Studies in Science Education*, **10**, 61-98 (1983).
- KESIDOU, S. e DUIT, Reinders — *Students' conceptions of the Secondary Law of Thermodynamics — An Interpretative Study*, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**, 85-106 (1993).
- KHUN, D. — *Education for thinking*, *Teachers College Record*, **87**, 495-512 (1986).
- LATAS, S. — Comunicação privada, University of Aveiro, Portugal, Physics Department (1992).
- MACDERMOTT, L. C. — *Research on conceptual understanding in mechanics*, *Physics Today*, **37**, 24-32.
- MAURINES, L. — *Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals*, *International Journal of Science Education*, **12**, (2), 167-175 (1992).
- THOMAZ, Marília — *Towards a constructivist model for science teacher education*. Unpublished PhD thesis, University of Surrey (1986).
- THOMAZ, Marília — *Ideias dos alunos sobre o calor e a temperatura*, Universidade de Aveiro, Departamento de Física, Aveiro, Portugal (1990).
- VASCONCELOS, N. — *Motion and forces: a view of students' ideas in relation to physics teaching*. Unpublished doctoral dissertation, Institute of Education, University of London (1987).
- ZUMWALT, K. K. — *Research on teaching: Policy implication for teacher education*, in A. Lieberman & M.W. McLaughlin (eds.), *Policy making in Education*. (Eighty-first year-book of the National Society for the Study of Education, Part I) (pp. 215-248), Chicago, University of Chicago Pr. (1982).

Apêndice I

Exemplos de itens dos pré e pós-testes

Questão

De cada lado da cama há usualmente tapetes de lã onde podes pôr os pés quando te levantas.

i) — Como explicas as diferentes sensações quando pões os pés num chão de pedra, por exemplo, e no tapete de lã?

ii) — Se medisses a temperatura do chão e do tapete verificavas que:

- a temperatura do chão de pedra era mais alta que a do tapete.
- a temperatura do chão de pedra era mais baixa que a do tapete.
- a temperatura do chão de pedra era praticamente igual à do tapete.

Explica a tua resposta.

Questão

Dois objectos feitos de materiais diferentes, um de ferro e outro de madeira, são postos num forno a 60° C. Depois de um grande intervalo de tempo, a Maria mediu a temperatura de ambos. Verificou que:

- a temperatura do objecto de madeira era mais alta do que a do objecto de ferro.
- a temperatura do objecto de madeira era mais baixa do que a do objecto de ferro.
- a temperatura dos dois objectos é a mesma.

Explica a tua resposta.

Questão

Mergulharam-se durante um longo período, duas colheres, uma de metal e outra de plástico num copo com água que se manteve sempre gelada.

i) Se tocares nos cabos das colheres sentirás:

- a de metal mais fria que a de plástico.
- a de metal mais quente que a de plástico.
- a mesma sensação.

Explica a tua resposta

ii) se medires a temperatura das duas colheres verificarás que:

- a temperatura da colher de metal é maior que a da colher de plástico.
- a temperatura da colher de metal é mais baixa que a da colher de plástico.
- as temperaturas das duas colheres são iguais.

XXV REUNION BIENAL

Real Sociedad Española de Física

5.º Encuentro Ibérico sobre la Enseñanza de la Física

Santiago de Compostela
18-23 Septiembre, 1995

La XXV Reunión Bienal de la R.S.E.F. junto con el 5.º Encuentro Ibérico sobre la Enseñanza de la Física tendrán lugar en Santiago de Compostela, del 18 al 23 de Septiembre de 1995, coincidiendo con la celebración del 5.º Centenario de la Fundación de la Universidad de Santiago de Compostela.

En fecha próxima remitiremos la 1.ª circular. En este momento deseamos informarle de estos eventos, por si desea reservar estas fechas para tomar parte en los mismos.

Organizadores:

Bienal:

M.ª Inmaculada Paz Andrade

Encuentro:

Angela Calvo Redondo

Para más información:

XXV Reunión Bienal de la R.S.E.F.

Facultad de Física

Campus Sur

15706, SANTIAGO DE COMPOSTELA

(España)

Fax: 981 52 06 76

Email: fpazand@usc.es

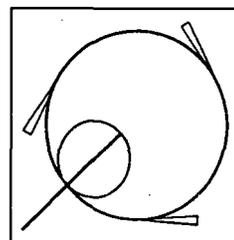
FLUXO DE CALOR EM CONTINENTES E OCEANOS

Gazeta de Física, n.º 2, pág. 7 (1994)

ERRATA

Pág. linha	onde se lê	deve ler-se
7 8	a potência é de $40 \times 10^{13} \text{W}$	da ordem de $4 \times 10^{13} \text{W}$
7 9	5 mil milhões de anos	$4,6 \times 10^9$ anos
7 25	1992
7 27	com valores de potência	apresentavam valores
7 44	sobre o	de
8 43	300° C	350° C
8 68	ideias	idades
10 1	característico	necessário
10 6	contribuem	devem contribuir
10 34	geométricas	geotérmicas
10 44	geométrica	geotérmica
11 4	taxa de energia	energia
8 legenda da fig. 1	As barras verticais representam valores obtidos com modelos teóricos	As barras verticais representam o desvio padrão. As curvas representam valores obtidos com modelos teóricos

Conferência Nacional de Física e Encontro Ibérico sobre Ensino



A 9.ª Conferência Nacional de Física - Física 94 e o 4.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física realizaram-se de 19 a 23 de Setembro de 1994, em simultâneo, nas instalações da Universidade da Beira-Interior (UBI), na Covilhã. Apresentamos aqui uma breve síntese destas reuniões.

A organização da Conferência esteve a cargo da Delegação Regional do Centro da Sociedade Portuguesa de Física, com o apoio de uma Comissão Local da Universidade da Beira-Interior. Registou-se a participação de cerca de 650 Professores (do Ensino Secundário e Superior) e Investigadores portugueses, espanhóis e da Guiné e Moçambique. Foram convidados a proferir conferências plenárias cientistas portugueses, espanhóis, franceses, ingleses, alemães e italianos. A sessão de abertura foi presidida pelo Reitor da UBI, em representação da Ministra da Educação, tendo a sessão de encerramento contado com a presença do Secretário de Estado da Ciência e Tecnologia. As Comissões Organizadora e Científica foram constituídas do seguinte modo:

Comissão Organizadora: Presidente — Maria Margarida Ramalho (FCTUC); Secretária — Lucília Pires de Brito (FCTUC) — Luís José Amoreira (UBI), José Alberto de Carvalho (UBI), Teresa Teixeira Dias (IST), Manuel Fiolhais (FCTUC), Francisco Fraga (FCTUC), Maria Isabel Gouveia (ESIDM - Coimbra), Sandra Soares Moreno (UBI), Avelino Passos Morgado (UBI), Mário Teixeira Pereira (UBI), Elisa Prata Pina (ESIDM - Coimbra), Eduardo Alberto Segre (UBI), António Rodrigues Tomé (UBI).

Comissão Científica: Maria José Almeida (FCTUC), Augusto Barroso (FCUL), Carlos Matos Ferreira (IST), Eduardo Lage (FCUP), Adriano Pedroso de Lima (FCTUC), Anabela Martins (FCUL), Avelino Passos Morgado (UBI), Augusto Moutinho (UNL), Helena Nazaré (UA), Mário Pimenta (LIP - Lisboa), Armando Policarpo (FCTUC), João da Providência (FCTUC), Maria Margarida Ramalho (FCTUC), João Corte Real (FCUP), José Salcedo (INESC), João Bessa Sousa (FCUP).

Do programa da Conferência fizeram parte 7 *Sessões Plenárias*, a primeira das quais, dedicada ao tema "Clima e alterações climáticas", foi coordenada pelo Prof. Pinto Peixoto. Decorreram ainda 8 *Palestras Convidadas*, 27 *Comunicações Orais* e 257 apresentações de trabalhos sob a forma de "Poster".

Sessões Plenárias

Clima e alterações climáticas — coordenador J. Pinto Peixoto

- The effect of global warming on extreme climatic events: the example of temperature, *J. P. Palutikof*
- Mediterranean desertification and land use in relation to climate change, *J. B. Thornes*
- Greenhouse effect: the status of the debate, *A. Zecca*

O stress e o risco em biologia e medicina - marcadores moleculares, *A. T. Quintanilha*

Physics with third generation synchrotron radiation sources: first experiments at ESRF, *M. Altarelli*

O modelo do Big Bang e o estudo do Universo primitivo, *A. Barbosa Henriques*

La enseñanza expositiva de la Física: por qué no lo sabeis si lo dije en clase?, *José Oterro*

Physics of granular media, *H. J. Herrmann*

Neural networks and biological problems, *G. Toulouse*

A Física das Telecomunicações, *J. C. Rodrigues*

Time, entropy and demons, *P. T. Landsberg*

Palestras Convidadas

Física das Partículas Elementares: situação presente e perspectivas futuras, *J. Crispim Romão*

Introducción histórica al electromagnetismo, mediante demostraciones en el aula, *J. Marquez Delgado*

Panorama da Física Nuclear no País, *A. S. Fonseca*

Panorama da Física Atómica e Molecular no País, *M. F. Laranjeira*

A Resistência dos Supercondutores, *G. Bonfait*

Participação portuguesa no programa europeu de fusão, *C. A. Varandas*

Simulação das propriedades electrónicas e estruturais do C60., *L. Luís Martins*

Óptica Binária, *L. Miguel Bernardo*

Astronomia de infravermelhos: o universo frio, *João Lin Yun*

Comunicações e outras Actividades

Os temas científicos tratados foram agrupados em áreas temáticas, seguindo a classificação internacionalmente usada (Physics Abstracts). Assim registaram-se 50 comunicações na área de temas gerais (Métodos Matemáticos da Física e Instrumentação específica e técnicas de uso geral em Física); 6 na área de Física das Partículas Elementares e Campos; 8 de Física Nuclear; 7 de Física Atómica e Molecular; 8 nas Áreas Clássicas de Fenomenologia (Óptica, Termodinâmica, Mecânica e Dinâmica de Fluidos); 25 na área de Fluidos, Plasmas e Descargas Eléctricas; 63 na de Física da Matéria Condensada; 47 em Áreas Interdisciplinares (Ciência dos Materiais, Ciências do Ambiente e Biofísica); e 34 na área de Geofísica, Astronomia e Astrofísica.

No âmbito do 4.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física realizaram-se duas *Sessões Plenárias*, 15 *Oficinas Pedagógicas* versando temas diversos, bem como 10 *Demonstrações Laboratoriais e de Software*. Foram apresentados ainda 48 "Posters" que estiveram expostos durante todo o período da Conferência. Este Encontro é noticiado com mais pormenor na secção seguinte.

O livro de Actas da Conferência e do Encontro, editado pela Didáctica Editora, foi distribuído aos participantes presentes.

Simultaneamente com o programa científico estiveram patentes exposições de material bibliográfico, científico e didáctico.

Do programa social fizeram parte variadas actividades, das quais se destacam um Duo de Violino e Cravo, a actuação de Coros e Tunas, o tradicional jantar da Conferência que reuniu um número significativo de participantes, bem como passeios diversificados que deram a conhecer aspectos bem característicos da região.

Várias entidades públicas e privadas apoiaram as diversas actividades da Conferência, exprimindo-se aqui o reconhecimento da Sociedade Portuguesa de Física pelos seguintes patrocínios: Universidade de Coimbra e Departamento de Física da FCUC, FCTUC, Universidade da Beira-Interior e Departamento de Física, Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, Fundação Calouste Gulbenkian, British Council, Secretaria de Estado do Ensino Superior e da Ciência e Tecnologia, Ministério dos Negócios Estrangeiros (Instituto de Cooperação Portuguesa), Didáctica Editora, Plátano Editora, Porto Editora, Caixa Geral de Depósitos, Abrantina.

4.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física

Realização conjunta SPF / Sociedade Espanhola de Física

Com a participação de cerca de 250 professores de diferentes graus de ensino realizou-se na Universidade da Beira Interior, Covilhã, de 19 a 23 de Setembro de 1994, o 4.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física. Este Encontro integrou-se na 9.ª Conferência Nacional de Física realizada na mesma data e no mesmo local.

A realização do Encontro esteve a cargo da sua Comissão Organizadora e da sua Comissão Científica, constituídas por membros da SPF e da Real Sociedad Española de Física. Estas comissões foram apoiadas pela Delegação Regional do Centro da Sociedade Portuguesa de Física, Comissão Organizadora Local da "Física 94", Comissão Organizadora da 9.ª Conferência Nacional de Física, às quais apresentamos os nossos agradecimentos.

Comissão Organizadora: António Amorim (Lisboa), José Casanova Colas (Valladolid), Manuel Fiolhais (Coimbra), Avelino Passos Morgado (Covilhã), Concesa Caballero Sahelices (Burgos), João Pires Ribeiro (Lisboa).

Comissão Científica: José Maria Pastor Benavides (Madrid), Maria Helena Caldeira (Coimbra), Rafael Marques Delgado (Sevilha), Maria Salete Leite (Coimbra), Emiliano Hernandez Martins (Madrid), Anabela Martins (Lisboa), António Bernalte Miralles (Madrid), Maria Mercês Sousa Ramos (Lisboa), João Pires Ribeiro (Lisboa).

Objectivos

Na sequência dos Encontros anteriores os objectivos principais a atingir foram os seguintes:

a) reunir os professores dos diferentes graus de Ensino para conversar, conhecer-se melhor, discutir conteúdos de programas e métodos de ensino, de modo a tornar a Física numa matéria atraente, formativa e levá-la ao lugar que deve ocupar nas sociedades científica e tecnologicamente desenvolvidas;

b) dar a conhecer aos professores, com a realização simultânea da Conferência Nacional de Física, os assuntos que estão a despertar actualmente, nos diferentes laboratórios, o interesse dos investigadores em Física.

c) realizar palestras, sessões laboratoriais, demonstrações do uso do computador no ensino, oficinas pedagógicas ou quaisquer outras iniciativas desenvolvidas ou a desenvolver pelos professores.

Em virtude de neste momento particular se estar implementando a Reforma do Ensino da Física no Ensino Secundário procurou-se que os objectivos a) e c) se enquadrassem nessa perspectiva. Simultaneamente realizou-se, durante uma tarde, um Painel sobre a Reforma do Ensino da Física onde se procurou ouvir as diferentes perspectivas e detectar as dificuldades sentidas pelos professores na sua aplicação.

Palestras convidadas

Durante o Encontro realizaram-se duas palestras pelos nossos colegas espanhóis com a duração de uma hora cada.

“Las demostraciones en el Aula como recurso didáctico”, Rafael Marques Delgado - Universidade de Sevilla.

“Enseñanza de la Termodinámica: El problema de la irreversibilidad”, M. Garcia Velarde - Universidade de Madrid.

Integrada no conjunto das palestras convidadas da Conferência Nacional de Física o Prof. J. Otero proferiu uma palestra subordinada ao título *“La enseñanza expositiva de la Física: porque no lo sabeis si lo dije en clase?”*

Oficinas pedagógicas

Os temas foram escolhidos de acordo com os novos programas de Física e pretendia-se que os professores discutissem entre si e com os orientadores os conteúdos científicos e os métodos a utilizar nas aulas com os alunos.

Durante três períodos de 1,5 horas e um período de 1 hora foram tratados os seguintes temas:

1 — *O novo programa do Ensino Básico*, Anabela Martins/Alda Pereira (Dep. Ens. Básico/Esc. Sec. Odivelas).

2 — *O novo programa do Ensino Secundário*, Alcina do Aído (Esc. Sec. Pedro Nunes).

3 — *Ensino integrado da Cinemática — Dinâmica no 11.º ano*, M. José Almeida (FCTUC).

4 — *Dificuldades conceptuais e abordagem da Termodinâmica no novo 10.º ano*, M. Helena Caldeira/A. Belo (FCTUC/E. Sec. Gil Vicente).

5 — *A Astronomia dentro do ensino da Física*, Rui Agostinho (FCUL).

6 — *A Astronomia no 3.º ciclo do Ensino Básico*, Máximo Ferreiro (MCUL).

7 — *Algumas reflexões acerca da componente acústica do ambiente*, P. Martins da Silva (FCUL).

8 — *Óptica, luz e visão*, Michael Belsley/J. A. Ferreira/Ricardo Ribeiro/Sandra Franco (Univ. Minho).

9 — *Novas estratégias para o Ensino e Aprendizagem da Física*, Jorge Valadares (Univ. Aberta).

10 — *Radiação e ambiente*, Ana Seruya/L. Peralta/J. Pires Ribeiro (FCUL).

11 — *Teoria da Relatividade*, M. Conceição Ruivo (FCTUC).

12 — *Electrónica no Ensino Secundário. Sim ou não?*, Manuel Barros (FCUP).

13 — *Holografia e lasers*, J. Lemos Pinto (Univ. Aveiro).

14 — *Atmosfera, tempo e clima*, J. Corte Real. C. Câmara (FCIJL).

Demonstrações experimentais e de “software”

Apesar das sessões de demonstração não terem atingido o número esperado e desejável, realizaram-se algumas de muito interesse. Durante três períodos de uma hora foram apresentados os seguintes temas:

1 — *Experiências históricas no Ensino da Física — contribuições de Faraday para o conhecimento da força magnética*, M. Isabel Pires/Isabel M. Malaquias (Univ. Aveiro).

2 — *Montagem e exploração de actividades experimentais — 10.º ano*, Carlos Duarte/Clara Santos/Esmeralda Costa/Fernanda Marques/Isilda Abrantes/Sandra Alves (Coimbra).

3 — *Observações astronómicas no Ensino da Física. Os instrumentos de observação e a medição de distâncias angulares*, Guilherme de Almeida (Esc. Sec. Marquês de Pombal).

A complementar esta sessão houve observações nocturnas de planetas e de estrelas.

4 — *Geleira Termoeléctrica*, Guilherme Sardinha, J. Marat Mendes (FCTUNL).

5 — *Electricidade, alguns conceitos básicos* — Manuel Barros (Univ. Porto).

Trata-se de um programa assistido por computador desenvolvido para formação profissional no INESC-FUNDETEC. Este programa encontra-se em desenvolvimento mas já contém três capítulos: *Introdução, Corrente Contínua e Corrente Alternada*.

6 — *Simulación de las figuras de difracción de aberturas periódicas en la región de Fresnel*, E. Tajahuerce, E. Bonet y G. Saavedra (Univ. Jaume I/Univ. Politécnica de Valencia/Univ. de Valencia).

Comunicações orais

Foi apresentada pelo Prof. F. Bragança Gil uma comunicação oral de grande interesse intitulada "A Física no Museu de Ciência da Universidade de Lisboa".

Painel sobre a Reforma do Ensino de Física

Tendo como moderador o Prof. Doutor Eduardo Ducla Soares da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, o Painel foi constituído pelos seguintes Professores:

- Luís Frazer Monteiro (FCTUNL).
- Anabela Martins — co-autora dos programas do 8.º/9.º anos.
- Alcina do Aído — co-autora dos programas do 10.º/11.º/12.º anos (Esc. Sec. Pedro Nunes).
- Maria de São Luís — experimentadora do Ensino Básico (Esc. Sec. Loures).
- José A. Costa Pereira — experimentador do Ensino Sec. (Esc. Sec. Monte da Caparica).

Este Painel, que durou três horas, teve numerosa assistência e os professores dos diferentes graus de Ensino participaram muito positivamente. Muitas intervenções orientaram-se para a crítica à própria Reforma ou para a enumeração das dificuldades sentidas pelos professores na aplicabilidade dos programas de Física nas diversas Escolas onde as condições laboratoriais, materiais e de trabalho em geral, não são as melhores. Outras intervenções levantaram o problema das baixas classificações obtidas pelos alunos nas provas específicas de Física e colocaram a possibilidade de isso ser devido, em parte, à não uniformidade de critérios usados nas classificações das provas de acesso ao Ensino Superior e nas provas realizadas no Ensino Secundário.

Conclusões

Relativamente aos objectivos propostos pensamos que só em parte foram conseguidos. De facto:

1) alguma sobreposição de horários não permitiu que muitos professores pudessem assistir a algumas comunicações orais de grande interesse actual e apresentadas por investigadores;

2) o reduzido número de horas (5,5 h) para as Oficinas Pedagógicas não possibilitou que os catorze temas oferecidos pudessem ser razoavelmente acompanhados por todos os professores;

3) o número reduzido de demonstrações laboratoriais apresentadas está longe de dar uma ideia das experiências que se estão desenvolvendo em diversas escolas por todo o País.

Palavras de encerramento da Conferência

O Prof. Doutor Manuel Fernandes Thomaz, Secretário de Estado de Ciência e Tecnologia, fez a seguinte intervenção no final da Conferência:

É com enorme prazer que aceito o convite para estar presente neste encerramento da Física 94. E isso por várias razões.

Primeiro porque se trata de um encontro de cientistas e técnicos de uma área científica muito importante — a Física — que sendo básica está ao serviço do progresso de todas as outras ciências e tecnologias. Aos físicos é alocada a tarefa de dar soluções a muitos dos problemas e questões que surgem no desenvolvimento da Biologia, da Medicina, das Geociências, de todas as Engenharias e mesmo das Ciências Sociais e das Artes. Uma comunidade de físicos dinâmica, activa, que se reúne para conviver, trocar ideias e aprender algo mais, é sinal de que os alicerces estão firmes e que não impedem que sobre eles se construam e desenvolvam as outras áreas científicas e técnicas.

Em segundo lugar é-me grato verificar que a Sociedade Portuguesa de Física promotora da Conferência, desta vez através da Delegação Regional do Centro, mantém o seu vigor de modo invejável, no panorama das nossas sociedades e associações científicas. Poucas sociedades poderão exhibir um palmarés como a Sociedade Portuguesa de Física que ao longo de quase 20 anos, realiza regularmente as Conferências Nacionais de Física, com um nível sempre acrescido de qualidade, edita e distribui a Gazeta de Física a todos os sócios e mantém com estes uma apreciável interacção. Julgo que a Sociedade Portuguesa de Física está de parabéns pela obra meritória que tem sabido e conseguido levar a cabo.

Finalmente, estou particularmente satisfeito por o Encontro se realizar na Universidade da Beira Interior. O princípio da rotatividade geográfica na realização das Conferências de Física tem prevalecido sobre a ideia comodista e, só na aparência, mais eficaz, de as realizar nas cidades de grande dimensão do litoral. É que assim estimulam-se os que sofrem de maior isolamento e toma-se contacto com uma realidade que não se conhecia, e até por vezes surpreende. São boas instalações e laboratórios bem apetrechados, projectos de investigação com interesse, jovens de valor e uma grande vontade de trabalhar que é a melhor garantia de um futuro com qualidade.

Faço votos para que a ocorrência da Física 94 na Covilhã contribua para uma melhor interligação do seu corpo docente e investigador com os das demais instituições do País.

Uma palavra ainda para o Encontro Ibérico do Ensino da Física. O quarto de uma série lançada em boa hora pelas duas Sociedades de Física, de Espanha e de Portugal, realizando-se alternadamente nos dois países ibéricos.

Se as questões, desenvolvimentos e programas de ID da área da Física e das áreas científicas afins não levantam, desde há muito, dificuldades quanto ao princípio do seu tratamento à escala internacional, já os temas do Ensino da Ciência em geral, e da Física em particular, não têm sido objecto de abordagem, de modo inequívoco, sistemático e assumido, em foros internacionais.

Com a progressiva construção da unidade europeia, as múltiplas questões que se põem a propósito das metodologias, currículos, equivalências, intercâmbio de estudantes, formação inicial e em serviço de professores, análise prospectiva e comparativa de sistemas, etc., põem desafios de natureza prática e também teórica que só poderão ser abordados em equipas multinacionais.

A Sociedade Europeia de Física está atenta a estas matérias, segundo julgo saber, e a própria Comissão Europeia, na sua proposta do 4.º Programa Quadro de IDT para o período de 1994 a 1998, fez incluir um novo programa específico denominado "Investigação Sócio-Económica", onde poderão ser apoiados projectos no domínio da Investigação Educacional e designadamente nas seguintes quatro áreas:

- 1 - Novas tecnologias no ensino e na formação e metodologias de aprendizagem;
- 2 - A divulgação da inovação pedagógica;
- 3 - A qualidade nos sistemas de ensino e de formação;
- 4 - O professor e o formador.

Este programa específico será, em princípio, aprovado numa próxima reunião do Conselho de Ministros da Investigação, pelo que o anúncio do concurso para a apresentação de candidaturas deverá ser publicado nos princípios de 1995.

Este é pois o momento de começar a preparar projectos, necessariamente multinacionais, para submeter quando surgir o anúncio referido.

Os Encontros Ibéricos sobre o Ensino da Física são ocasiões importantes para iniciar e formalizar as intenções de colaboração que desembocarão nas propostas de projectos a apresentar ao concurso.

Isto sem prejuízo do estabelecimento de parcerias entre equipas dos 2 países num âmbito puramente bilateral.

Julgo que a proximidade cultural entre os dois países ibéricos favorece as colaborações num domínio como a Educação e portanto deve estimular-se a constituição de projectos bilaterais, mesmo antes de se passar a uma fase de mais aberta internacionalização.

Felicito pois a Sociedade Portuguesa de Física na pessoa do seu Presidente e do seu Secretário-Geral, a Comissão Organizadora da Conferência e a Delegação do Centro da Sociedade Portuguesa de Física nas pessoas dos respectivos presidentes e a Universidade da Beira Interior através do seu Reitor, pelo trabalho que tiveram na concretização deste encontro que espero tenha correspondido às expectativas de todos os participantes.

Muito obrigado e até à FÍSICA 96.

ENCONTRO DE PROFESSORES DE TÉCNICAS LABORATORIAIS DE FÍSICA

A Delegação Regional do Norte da SPF promoveu um Encontro de Professores de Técnicas Laboratoriais de Física nos dias 15 e 16 de Setembro deste ano, o qual decorreu na Escola Secundária Fontes Pereira de Melo, no Porto. Foram dinamizadores o Doutor Manuel Joaquim Marques e os licenciados Maria Lucinda Oliveira e Adriano Sampaio e Sousa. Estiveram presentes cerca de 30 professores de vários pontos do país.

O encontro constou de três partes: Metodologia e Didáctica da Disciplina, Trabalhos Experimentais e Avaliação.

Metodologia e Didáctica

Foi destacada a importância da criação de uma sala específica para a disciplina, o que permite a planificação e montagem de trabalhos que os alunos executarão rotativamente. O conjunto de trabalhos para cada unidade está dependente do material existente em cada escola, aspecto em que foram constatadas grandes falhas.

Os pré-requisitos exigidos para cada unidade deverão ser verificados, e colmatadas as lacunas detectadas, fornecendo material de apoio ou incentivando o aluno a realizar pesquisa adequada.

Para a realização dos trabalhos considerou-se que os alunos deveriam organizar-se em grupos de cerca de 3 elementos.

Trabalhos Experimentais

Estiveram expostos para demonstração 12 trabalhos de Óptica, 6 de Calor e 2 de Acústica, acompanhados pelos respectivos protocolos experimentais, os quais foram fornecidos aos participantes. Foram ainda sugeridas experiências alternativas pelo Doutor Manuel Joaquim Marques.

Concluiu-se que a Acústica é a área onde se torna mais difícil realizar experiências com êxito.

Avaliação da Disciplina

Foi concensual a impossibilidade de avaliar em regime de prova global escrita uma disciplina deste tipo; por outro lado existe a dificuldade de efectuar uma prova prática que abranja simultaneamente todos os alunos, por evidente falta de recursos materiais. Assim, pensa-se que seria de abolir a prova global nesta disciplina.

Deverá ser privilegiada a avaliação contínua, com a aplicação de grelhas de observação adequadas, e análise de relatórios e trabalhos de pesquisa.

Coordenação com a formação específica

Foi levantado o problema de uma possível repetição de conteúdos de TLF com a disciplina de Física de formação específica. Recomenda-se uma articulação cuidadosa entre os professores que leccionam ambas as componentes:

- a nível de 8.º e 9.º anos a experimentação deve ser essencialmente qualitativa, tendo como principal objectivo a ilustração dos fenómenos;
- a nível do secundário (formação específica) a experimentação deve incidir especialmente na verificação da validade de leis;
- em TLF a experimentação deve ter um carácter mais investigativo.

Avaliação do Encontro

No final do encontro os professores presentes efectuaram a avaliação do mesmo, tendo considerado a sua realização oportuna e os materiais de apoio distribuídos úteis; o ambiente foi considerado muito agradável. Foram feitas sugestões para repetição deste tipo de encontros, com um largamente do tempo disponível para o trabalho experimental e avaliação.

O que há de novo?

Nesta secção são apresentadas notícias e curtos resumos sobre recentes descobertas em Física e áreas afins, ideias novas que surgem, progressos experimentais com impacto na sociedade, etc.

Procurar-se-á também efectuar uma cobertura selectiva do noticiário que vai aparecendo numa série de revistas de actualidade.

Rumo à investigação universitária sobre o processo de Ensino/Aprendizagem

The trend toward research on the teaching/learning process — asking the right questions.

W. Leonard, *Journal of College Science Teaching*, 23, n.º 2, Nov. 1993.

O crescente interesse de professores universitários ligados à investigação nas áreas científicas sobre o processo de ensino/aprendizagem constitui uma das tendências actuais na educação em ciências. Possíveis razões poderão ser a alteração verificada nos sistemas de incentivos aos docentes universitários, uma maior preocupação em relação à forma como as disciplinas científicas são leccionadas, e uma verdadeira motivação por questões de desenvolvimento curricular e métodos de ensino. Muitos desses professores universitários procuram sugestões que os ajudem a iniciar as suas actividades de investigação em educação.

Numa tentativa de oferecer algumas ideias para promover a investigação educacional, e dando particular ênfase à identificação de perguntas de investigação apropriadas, o autor do artigo aqui sintetizado (W. Leonard) enuncia cinco critérios que considera deverem nortear a formulação dessas perguntas.

Aprender a formular as perguntas apropriadas

Critérios para a sua formulação

(i) Carácter investigável (ou não) de uma pergunta

Será possível planear um estudo e colher dados com vista a obter resposta à pergunta formulada? Referindo os exemplos “Como é que os alunos aprendem?” e “Porque é que a ciência é tão difícil de aprender?”, o autor afirma que estas perguntas são provavelmente demasiado latas para serem respondíveis com um simples estudo (ou

mesmo um pequeno número de estudos), além de que não visam uma relação específica de causa-efeito. Perguntas de tal amplitude precisam ser subdivididas em várias outras mais simples, correspondendo cada uma destas a uma hipótese testável, do tipo *causa-efeito*. Como exemplo de pergunta apropriada, e aliás muito investigada em relação com o ensino universitário, o autor refere uma: “Qual das duas estratégias, ensino expositivo ou ensino laboratorial, origina aprendizagem mais eficaz?”. Comenta em seguida que, embora não exista ainda uma resposta definitiva a esta pergunta, já dispomos de bastantes dados de investigação que suportam a importância fundamental do ensino laboratorial, particularmente o que é de cariz investigativo (“inquiry oriented”).

(ii) Importância, relevância e significado de uma pergunta

Um segundo critério para a formulação de adequadas questões de investigação é, segundo W. Leonard, o que diz respeito à importância, relevância e significado da pergunta. Será que as respostas que se irão encontrar tenderão a contribuir para a melhoria do ensino? Uma pergunta como “É o método expositivo um método bom?”, para além de ser demasiado lata e dificilmente investigável, pode ter uma relevância discutível, uma vez que a exposição continuará a ser, provavelmente, o modo dominante de ensino universitário nos próximos tempos. O que é relevante não é se a exposição é um bom método, mas para que tipos de situação de ensino é a exposição mais apropriada.

Um exemplo de pergunta importante e razoavelmente específica, sobretudo para um estudo limitado a conceitos pontuais dentro da disciplina, é “Qual a relação mais apropriada entre o uso da exposição e de laboratório no ensino de Física introdutória (*)”. Outra pergunta potencialmente relevante: “Demonstrarão os alunos maior compreensão dos conceitos de mecânica (*), se o ensino for consistente com os seus estilos de aprendizagem preferidos?”.

(*) O artigo original formula a pergunta para o ensino da Química.

(iii) *Enquadramento da pergunta numa base teórica identificável.*

Um terceiro critério para a elaboração de uma boa pergunta de investigação, é o seu enquadramento numa base teórica identificável. Será a pergunta sugerida pela literatura? Será que as respostas à pergunta, obtidas através da aquisição e análise de dados, irão ajudar a construir o corpo de conhecimentos na área educacional respectiva?

Eis alguns exemplos de perguntas cujo valor teórico é duvidoso: “Constitui a aprendizagem cooperativa uma estratégia produtiva para o ensino de uma ciência universitária?”, “Deveremos preferir o ensino por videodiscos ao ensino por laboratório?”. Estas perguntas, embora importantes, precisam ser interligadas com contextos de aprendizagem mais concretos e definidos. Uma vez que a literatura tem mostrado os efeitos positivos da aprendizagem cooperativa, perguntas mais úteis serão aquelas que se refiram a conteúdos e objectivos de aprendizagem específicos, como por exemplo, “Será que a aprendizagem cooperativa melhora a capacidade de uso dos processos científicos?”. Em relação à questão genérica sobre ensino por videodiscos, podia perguntar-se “Será o uso de videodiscos interactivos mais eficaz, em termos de tempo de aprendizagem, que o uso de laboratório?”. Quer o ensino por laboratório, quer o ensino por videodiscos, têm sido objecto de atenção na literatura, aceitando-se já o seu valor. O que tem de ser agora estudado é qual das duas estratégias é melhor no que respeita à satisfação de necessidades educacionais específicas.

(iv) *Formulação da pergunta como hipótese de investigação*

O quarto critério indicado é o da possibilidade de a pergunta ser apresentada na forma de hipótese de investigação. Na maioria dos casos, uma asserção do tipo “Se...então...”, constitui uma formulação razoável para uma dada hipótese. Tal asserção estabelece uma relação probabilística entre a variável (independente) causa ou tratamento, e a variável (dependente) efeito.

(v) *Relevância e impacto científico da investigação sugerida*

Finalmente, um quinto critério apresentado é o de indagar se a investigação é susceptível de ser publicada. Este critério constitui um indicador sobre se a pergunta de investigação é considerada pela comunidade de pares como uma questão importante.

O autor lista seguidamente alguns tópicos de investigação (ver caixa) que, pela sua incidência nos artigos

submetidos para publicação no “Journal of College Science Teaching”, parecem merecer presentemente a atenção e o interesse dos profissionais de educação científica universitária:

Temas actuais em investigação sobre Ensino

- Aprendizagem cooperativa
- Uso de mapas de conceitos
- Ensino por pesquisa laboratorial
- Alternativas ao ensino expositivo
- Estilos de aprendizagem
- Teoria construtivista ou conectivista da aprendizagem
- Leitura de textos científicos
- Escrita como meio para aprender ciências
- Ensino assistido por computador
- Reestrutura curricular com redução de extensão de conteúdos
- Integração em ciências
- Desenvolvimento de capacidades de raciocínio
- Ensino de ciências a grupos específicos
- Aplicação do ensino à vida real

O artigo termina com a reafirmação da necessidade de se estabelecer a investigação educacional em ciência universitária como um campo legítimo da investigação científica, e de através de publicação dos respectivos resultados, se oferecerem incentivos para um melhor ensino universitário das várias ciências.

O artigo que aqui se resume, embora possa pontualmente pecar por alguma imprecisão, ou possa suscitar o desacordo de alguns profissionais de educação (o autor assume uma posição reducionista quantitativa que é, hoje, de certo modo, controversa), e apesar de não nos revelar um quadro conceptual original (quer Tuckman, no seu livro “Conducting Educational Research”, quer Isaac e Michael, em “Handbook in Research and Evaluation”, exploram extensivamente o tema), constitui uma reafirmação desse quadro conceptual e um alargamento do mesmo ao ensino das ciências a nível universitário. Os destinatários da investigação educacional têm sido, tradicionalmente, agentes intervenientes no processo de ensino-aprendizagem pré-universitário. O artigo representa um alerta para um aspecto fundamental e geralmente ausente do ensino na Universidade — *o do estudo desse mesmo ensino*.

The trend toward research on the teaching/learning process — asking the right questions.
W. Leonard, *Journal of College Science Teaching*,
23, n.º 2, Nov. 1993.

Jesuina Brito de Fonseca

Unidade de Ciências Exactas e Humanas
da Universidade do Algarve

ETAPA REGIONAL 1994 (*)

Delegação Regional do Centro

PROVA PARA O ESCALÃO A — 10.º ANO

Prova teórica

Duração da prova: 60 minutos

1 — A fig. 1 representa o corpo A, suspenso por um fio inextensível e de massa desprezável, dentro de um foguetão. O corpo A pesa, à superfície da Terra, 100 N.

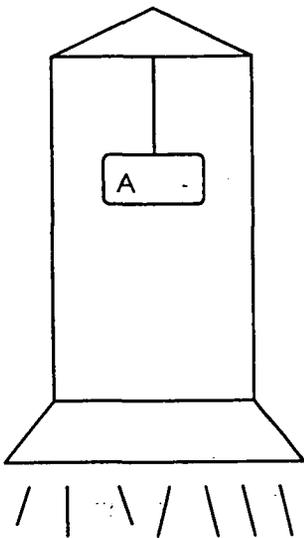


Fig. 1

1.1 — Supondo o foguetão parado, representem as duas forças exercidas sobre o corpo A, que está em repouso.

1.2 — Caracterizem devidamente as duas forças representadas na resposta a 1.1.

1.3 — Identifiquem e caracterizem devidamente os pares acção-reacção correspondentes às duas forças representadas em 1.1.

1.4 — O foguetão coloca-se em movimento, afastando-se do centro da Terra. O que acontecerá à intensidade da força “peso do corpo A” à medida que o foguetão atinge pontos de maior altitude?

1.5 — De que outros factores depende a intensidade da força “peso do corpo A”?

1.6 — O insólito aconteceu; durante o espectacular arranque do foguetão, para cima, o fio partiu. Querem tentar interpretar este fenómeno?

2 — Sabendo que as forças que constituem um par acção-reacção têm igual intensidade e direcção mas sentidos opostos, comentem a frase seguinte: “Se todas as forças se exercem aos pares, a resultante de forças que actua num corpo é sempre nula”.

3 — O gráfico da fig. 2 representa o alongamento sofrido por 4 corpos em função da força exercida sobre eles.

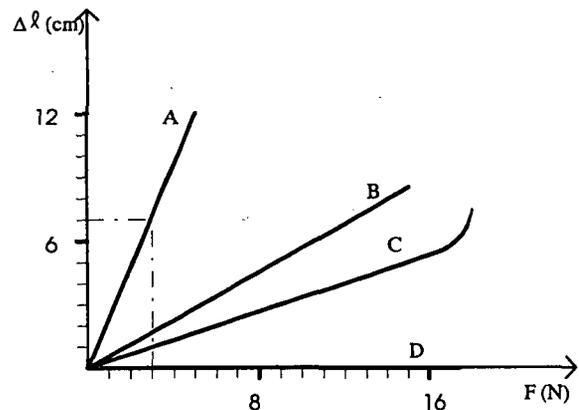


Fig. 2

3.1 — Qual a constante elástica do corpo A?

3.2 — O que acontece ao corpo C a partir do momento em que sobre ele se aplicam forças superiores a 16 N?

3.3 — Indiquem um corpo (da nossa vida quotidiana) que possa corresponder ao corpo D. *Justificar a escolha.*

3.4 — Coloquem os 4 corpos por ordem crescente da sua constante de elasticidade.

(*) Com este artigo completa-se a divulgação dos textos das provas regionais realizadas no ano de 1994 (Delegações Norte, Sul e Ilhas: ver Gaz. Física n.º 2, p. 18, 1994).

PROVA PARA ESCALÃO B — 11.º ANO

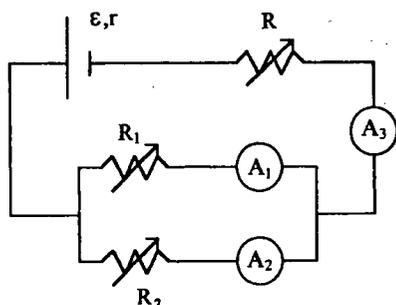
1 — A existência do efeito a que chamamos de forças de atrito condiciona muitos dos movimentos que observamos no nosso dia a dia. Foi o seu desconhecimento que levou alguns Físicos célebres a tentar explicar os fenómenos através de conceitos que hoje já não são aceites (como exemplo, Aristóteles acreditava que para haver movimento dum corpo era necessário haver uma força a actuar sobre ele de modo que se essa força deixasse de existir, o corpo cessaria imediatamente o seu movimento).

À luz dos conceitos de mecânica aceites depois de Newton, comentar as seguintes frases, eventualmente interligando-as:

- A força de atrito opõe-se ao movimento.
- É a existência de atrito que nos permite andar.
- É necessário que haja atrito entre as rodas de um automóvel e o chão:
 - * para que ele páre, se se bloquearem as rodas por efeito dos travões;
 - * para que ele arranque quando as rodas rodam devido ao efeito do motor.

Em todos os casos, desenhar num esquema a força de atrito em questão.

2 — Para tentar verificar experimentalmente uma das leis físicas dos circuitos eléctricos, um conjunto de alunos montou o esquema da figura:



- a) Fazer a legenda da figura.
- b) Durante a realização experimental, os alunos variavam R_2 , mantinham a leitura em A_3 constante e liam os valores indicados em A_1 e A_2 . Com estes pressupostos, justificar a utilização de R na montagem indicada.
- c) A tabela que se segue indica o resultado de medições obtidas para $R_1 = 470 \Omega$ e para um valor medido em A_3 de 50 mA.

$R_2 (\Omega)$	Leitura em A_1 (mA)	Leitura em A_2 (mA)
0	0.10	49.8
200	14.8	35.2
400	23.1	26.9
470	25.1	24.9
600	28.1	21.8
1000	34.2	15.9
1500	38.2	11.8
2000	40.7	9.41
5000	45.9	4.23
10000	47.9	2.19
15000	48.6	1.48
20000	48.9	1.12
25000	49.3	0.90

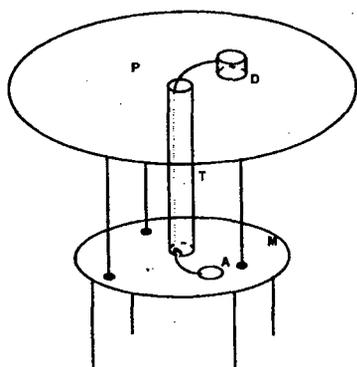
- i) Fazer um gráfico dos valores medidos em A_1 em função de R_2 ;
 - ii) Fazer um gráfico dos valores medidos em A_2 em função de R_2 ;
- Comentar os resultados obtidos. Indicar, enunciando-a, a lei física que os alunos pretendiam verificar.
- d) Desenhar o circuito equivalente ao circuito experimental, em que se considera a associação de R_1 e R_2 .
 - e) Comentar o valor para que tende a resistência equivalente quando R_2 tende para infinito.
 - f) i) Fazer um gráfico dos valores da potência dissipada em R_1 em função de R_2 .
 - ii) Fazer um gráfico dos valores da potência dissipada em R_2 em função de R_2 .
- Comentar os resultados ilustrados nos dois gráficos obtidos em i) e ii).

PROVA PARA ESCALÃO C — 12.º ANO

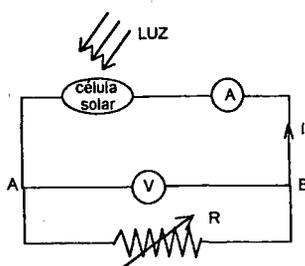
1 — Considere-se a seguinte montagem experimental: um pequeno disco D encontra-se sobre uma placa polida P, colocada de modo estável e em posição horizontal sobre uma mesa M. Entre a mesa e a placa existe um tubo T, por cujo interior passa um fio que liga uma argola de madeira, A, ao disco D.

- a) Com um taco de bilhar bate-se no disco D, fazendo com que ele adquira um movimento circular uniforme. Indicar o que acontece à argola de madeira A, justificando a resposta de modo mais completo possível, utilizando as leis físicas que conhece.
- b) Durante o movimento do disco D, puxa-se pela argola A aproximando-a do bordo da mesa.

Indicar qual a alteração do movimento do disco D, justificando a resposta.



2 — A máquina de calcular do João, que funcionava a “energia solar”, avariou-se. O João, que é um rapaz cheio de curiosidade, resolveu desmontar a máquina e investigar o funcionamento da célula solar. Para o efeito, montou o seguinte circuito eléctrico:



Fazendo variar a resistência variável R, o João obteve o seguinte conjunto de medidas no amperímetro e voltímetro do circuito:

I (mA)	V_{AB} (V)
7.9	0.0
7.6	2.0
6.7	3.6
5.5	5.7
4.6	7.1
3.1	8.6
1.5	10.4
0.0	11.3

a) Faça um gráfico da corrente I lida no amperímetro em função da diferença de potencial V_{AB} .

b) Compare a forma do gráfico que obteve com o resultado que seria de esperar se a célula solar se comportasse como um gerador de tensão, de força electromotriz e resistência interna r_i .

c) Haverá algum valor da resistência R para o qual é máxima a potência dissipada no reóstato? Como se relacionaria com o valor de r_i indicado na alínea anterior?

d) O João pretende reutilizar a célula solar da máquina de calcular para alimentar o seu rádio portátil que funciona a uma tensão de 9V e cuja potência é de 30 mW. Poderá ele utilizar a célula solar no seu rádio? Justifique.



CENTRO DE MATERIAIS DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Técnicas de caracterização morfológica, microestrutural e microanalítica de materiais, com elevada resolução espacial: SEM, EPMA, XPS, AES

O Centro de Materiais da Universidade do Porto acaba de renovar o seu Laboratório de Microscopia Electrónica de Varrimento com a instalação de um novo Microscópio Electrónico de Varrimento de alta resolução — FESEM, com canhão electrónico de efeito de campo, JEOL JSM 6301F — equipado para efectuar microanálise por raios X (EDS).

Este novo equipamento, em conjunto com a unidade de microscopia electrónica de varrimento e microanálise por raios X e a unidade de análise de superfícies, já em operação, confere aos laboratórios do CEMUP características de elevada qualidade, resolução e operacionalidade neste domínio em Portugal.

Aproveitando esta oportunidade, o CEMUP leva a efeito no dia 8 de Novembro de 1994 um seminário em que serão abordados de forma sumária os fundamentos e aplicações das seguintes técnicas experimentais:

- microscopia electrónica de varrimento (SEM/FESEM)
- microanálise por raios X (EPMA/EDS)
- espectroscopia de fotoelectrões de raios X (XPS)
- espectroscopia de electrões Auger (AES)

Serão também apresentados os equipamentos e facilidades experimentais existentes nos laboratórios do CEMUP, com interesse no estudo e caracterização de materiais muito diversos — metais, cerâmicas, polímeros, biomateriais, filmes, revestimentos, semicondutores, biológicos, geológicos.

Informações:

Centro de Materiais da Univ. do Porto

Rua do Campo Alegre, 823

4100 Porto

Tel. 02-6001672 • Fax 02-6003654

Assembleia-Geral da SPF

De acordo com a convocatória, realizou-se no dia 20 de Setembro de 1994, a Assembleia-Geral da SPF, com a seguinte ordem de trabalhos:

- *Informações.*
- *Relatório do Secretariado-Geral e Actividades das Divisões Técnicas.*
- *Revistas da Sociedade. Futuro da Gazeta de Física e da Portugaliae Physica.*
- *Análise das implicações da reestruturação da European Physical Society nos Estatutos e na gestão da Sociedade Portuguesa de Física. Aprovação das alterações aos Estatutos eventualmente necessárias.*
- *Actualização das quotas anuais dos sócios.*
- *Outros assuntos levantados pela Assembleia.*

1. Relatório do Secretariado Geral

Apresentou um balanço geral das actividades da SPF nos últimos anos, nas seguintes áreas: Olimpíadas de Física, Conferências científicas organizadas, actividades das Divisões Técnicas, Revistas da Sociedade, Ligações Internacionais da SPF. Referimos aqui, de um modo muito resumido e esquemático, os assuntos e comentários avançados no relatório.

Olimpíadas de Física

As Olimpíadas Nacionais de Física constituem, actualmente, uma

das actividades de maior visibilidade e impacto da SPF, junto das camadas jovens, com um crescente empenhamento e interesse de professores e alunos das Escolas do Ensino Básico e Secundário. A SPF tem uma comissão permanente para esta área, existindo um novo regulamento destas Olimpíadas. Informações mais pormenorizadas estão publicadas no n.º 1 da Gazeta de Física de 1994.

Sobre as Olimpíadas Internacionais de Física, Portugal participou pela 1.ª vez nestas provas internacionais no ano de 1994, com a coordenação e realização de todas as fases (provas nacionais, selecção, preparação final e acompanhamento da equipa) a cargo da SPF. Sobre esta participação (Olimpíadas de Pequim, Julho 94; vide n.º 1 da Gazeta de Física de 1994, pág. 9), foram colhidos muitos ensinamentos com vista à preparação futura das equipas portuguesas. Em particular, a necessidade de promover um acompanhamento prévio mais prolongado e um adequado plano de formação científica complementar dos estudantes seleccionados, tendo em vista a grande exigência e selectividade que vigora a nível internacional.

Para assegurar a participação regular de Portugal nas Olimpíadas Internacionais de Física, a Sociedade Portuguesa de Física celebrou, em 29 de Março de 1994, um protocolo com a Secretaria de Estado da Educação e do Desporto e a Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, para permitir o financiamento desta participação (vide n.º 1 da Gazeta de Física 1994, pág. 32).

Conferências e Encontros organizados (co-organizados ou co-patrocinados) pela SPF

- 10th EPS General Conference on Condensed Matter Physics (Lisboa, 1990)
- EPS/E-MRS Symposium on the Physics of Materials for Future Electronics (Lisboa, 1990)
- IUPAP Annual Meeting (Lisboa, 1991)
- 1.º Encontro Ibérico de Física Atómica e Molecular (Lisboa, 1993)
- EPS Controlled Fusion and Plasma Physics Conference (Lisboa, 1993)
- International Conference on Physics Education — GIREP'93, on Light and Information (Braga, 1993).
- 10th General EPS Conference on Trends in Physics (Sevilha 1996; a ser realizada conjuntamente com a Real Sociedad Española de Física).
- 7.ª Conferência Nacional de Física (Lisboa, 1990)
- 8.ª Conferência Nacional de Física (Vila Real, 1992)
- 9.ª Conferência Nacional de Física (Covilhã, 1994)
- 1.º Encontro Ibérico do Ensino da Física (Valladolid, 1991)
- 2º Encontro Ibérico do Ensino da Física (Vila Real, 1992)
- 3.º Encontro Ibérico do Ensino da Física (Jaca, 1993)
- 4.º Encontro Ibérico do Ensino da Física (Covilhã, 1994)

Os outros três pontos do relatório foram tratados simultaneamente com os pontos da ordem de trabalhos.

2. Actividades das Divisões Técnicas

Física Nuclear e Partículas: Realizou-se um Curso e Jornadas para professores (1993).

Física da Matéria Condensada: Encontra-se em preparação o processo de eleição de um novo coordenador.

Física Atómica e Molecular: Realizou-se um Encontro Ibérico em 1993.

Física dos Plasmas: Realizou-se um Curso para professores e uma Conferência EPS em 1993.

Óptica: Não tem coordenador há algum tempo mas deveria tentar dinamizar-se a sua actividade.

Meteorologia, Geofísica e Astrofísica: Não tem coordenador e talvez não faça neste momento sentido juntar as três áreas numa Divisão Técnica.

Educação: Realizou várias acções de formação e actualização para professores.

3. Revistas

Gazeta de Física

Passou por um processo de grande renovação, encontrando-se actualmente com um design actualizado e um conteúdo que se espera continue interessante e atractivo para os sócios, para o que é necessária a colaboração de todos.

Portugaliae Physica

Sairam os números 1/2 e 3/4 em 1992 e nada em 1993, 1994. Dada a natureza dos artigos que tem publicado e a não regularidade da sua publicação, colocou-se ao Conselho Directivo o problema da sua utilidade com o carácter presente.

Nas actuais circunstâncias, o Conselho Directivo da SPF propõe que, depois de publicados os artigos

em carteira, seja a sua publicação suspensa e realizado um estudo sobre a possibilidade de a Portugaliae Physica continuar a existir (ou não) no futuro; no caso afirmativo, em que moldes e com que objectivos. *Esta proposta foi aprovada pela Assembleia Geral.*

4. Ligações Internacionais

Real Sociedad Española de Física — RSEF

Protocolo assinado em 1992, para um estreitamento de relações entre as duas Sociedades, nomeadamente na realização conjunta de:

- Encontros Ibéricos do Ensino da Física
- Encontros Ibéricos das Divisões Técnicas

IUPAP (*International Union of Pure and Applied Physics*)

Portugal paga uma quota anual (1 share). É necessário designar um representante português para a Assembleia Geral da IUPAP.

IUCR (*International Union of Crystallography*)

Portugal paga uma quota anual. Haverá que formalizar um "Liasson Committee".

EPS

A EPS encontra-se em reestruturação, tendo sido decidido em Março deste ano que, a partir do próximo ano, todos os sócios das Sociedades membras terão alguns dos direitos de um IOM (Individual Ordinary Member), nomeadamente:

- Participar numa Divisão Técnica especializada da EPS com todos os direitos e regalias.

- Receber regularmente a Europhysics News (10 números por ano).

Esta modificação obriga a SPF a primeiro declarar exactamente o número de sócios à EPS, para a fixação da nova quota anual a pagar à EPS. Para além do custo desta quota, que é substancial e se espera seja a JNICT a continuar a financiar, como o indicam alguns contactos realizados, haverá um acréscimo das despesas devido ao envio dos 10 números do Europhysics News aos sócios da SPF.

5. Nova Quota Anual dos Sócios da SPF (em vigor a partir de 1 Janeiro 1995)

O Secretário Geral da SPF apresentou um relatório detalhado das despesas anuais da Sociedade, com uma análise das despesas mínimas inevitáveis e inadiáveis para o funcionamento da SPF. Em face dos elementos objectivos existentes e de uma análise realista sobre os mesmos, conclui-se que a Sociedade não pode sobreviver financeiramente com uma quota anual por sócio inferior a 6.000\$00/ano. Com base neste estudo prévio e documentado, o Conselho Directivo da SPF apresentou uma proposta de aumento de quota em 1995 para 6.000\$00.

Depois de um amplo debate pela Assembleia, foi aprovada uma proposta que fixa a quota dos sócios da SPF em 5000\$00 no ano de 1995 e em 6000\$00 no ano de 1996.

Delegação Regional do Centro

Acções de Divulgação realizadas (1994)

Realizaram-se durante o ano lectivo 1993/94 as seguintes acções de divulgação destinadas a alunos e professores do ensino secundário:

- “**A água, o ar e o levantar dos aviões**”, pela Prof.^a Doutora Maria José Almeida, na Escola Secundária Jaime Magalhães Lima da Esgueira — Aveiro em 09/02/94; na Escola C+S Carlos de Oliveira em Febres em 17/03/94; na Escola Secundária Domingos Sequeira de Leiria em 22/03/94; na Escola Secundária Afonso Lopes Vieira em Leiria em 22/03/94; na Escola C+S do Souto da Carpalhosa — Monte Real em 13/04/94; na Escola Secundária Torres da Figueira da Foz em 20/04/94; e na Escola Secundária de Anadia em 22/04/94.
- “**A cor na natureza**”, pela Prof.^a Doutora Maria Salete Leite, na Escola Secundária Alves de Viseu em 10/03/94; e na Escola Secundária da Quinta das Flores em Coimbra em 15/03/94.
- “**A radiação solar — alguns efeitos biológicos**”, pela Prof.^a Doutora Maria Salete Leite, na Escola Secundária Dr. Bernardino Machado na Figueira da Foz em 17/11/93; na Escola Secundária Domingos Sequeira de Leiria em 11/05/94; e na Escola C+S da Tocha em 17/05/94.
- “**A radioactividade e seus efeitos biológicos**”, pelo Prof. Doutor Paulo Mendes, na Escola Secundária de Viriato em Viseu em 24/03/94; e na Escola Secundária da Quinta das Flores em Coimbra em 25/03/94.
- “**Bases experimentais da Física Moderna**”, pelo Prof. Doutor Adriano Pedroso de Lima, na Escola Secundária da Quinta das Flores em Coimbra em 24/03/94.
- “**Física da cor**”, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na Escola Secundária da Batalha em 21/03/94.
- “**Lasers e holografia**”, pelo Prof. Doutor João Lemos Pinto, na Escola Secundária Dr. J. C. Celestino Gomes em Ílhavo em 09/03/94; na Escola Secundária de Vagos em 23/03/94; e na Escola Secundária Eng. A. Calazans Duarte na Marinha Grande em 18/05/94.
- “**O mar, as ondas, o som e a luz**”, pela Prof.^a Doutora Maria José Almeida, na Escola Secundária Nuno Álvares de Castelo Branco em 31/01/94; na Escola Secundária Avelar Brotero em Coimbra em 02/04/94; na Escola Secundária de Anadia em 22/04/94; no Colégio João de Barros nas Meirinhas — Pombal em 02/05/94; no Colégio de Nossa S.^a da Apresentação em Calvão — Vagos em 09/05/94; e na Escola Secundária José Estêvão de Aveiro em 24/05/94.
- “**Origem e evolução do Universo**”, pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais, na Escola Secundária da Sé na Guarda em 25/11/93; e na Escola Secundária de Estarreja em 12/04/94.
- “**Peso, massa e gravitação na vida quotidiana**”, pelo Prof. Doutor João da Providência, na Escola Secundária de Mira em 01/02/94; na Escola Secundária Jaime Magalhães Lima da Esgueira — Aveiro em 02/02/94; e na Escola Secundária de S. Pedro do Sul em 10/04/94.

- “**Radioactividade e reacções nucleares**”, pela Prof.^a Doutora Maria Estela Pereira, na Escola Secundária de Mangualde em 03/02/94.
- “**Relatividade restrita**”, pela Prof.^a Doutora Maria Estela Pereira, na Escola Secundária Afonso de Albuquerque na Guarda em 22/04/94.

Cursos de Formação de Professores da SPF

A Delegação Regional do Centro da SPF organizou, ainda durante o ano lectivo 1993/94, um Curso de Formação para professores do ensino secundário:

- “**Evolução das Ideias em Física**”, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga, na Escola Secundária de Avelar Brotero em Coimbra nos dias 07 e 08/04/94.

Acções de Divulgação propostas (1994/95)

A Delegação Regional do Centro continua a promover a realização nas Escolas do Ensino Secundário de pequenas palestras destinadas a alunos e professores, tendo como objectivo a divulgação ou o melhor esclarecimento de temas de Física.

Nesta actividade, tem vindo a contar com a colaboração de muitos professores dos Departamentos de Física das Universidades de Coimbra e de Aveiro a quem apresenta os melhores agradecimentos.

Para o ano lectivo em curso, é a seguinte a lista de Acções:

- “**A água, o ar e o levantar dos aviões**”, pela Prof.^a Doutora Maria José B. Almeida.

- “A detecção de radiações nucleares”, pelo Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.
- “A Física das partículas”, pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais.
- “A Física Quântica numa perspectiva histórica”, pelo Prof. Doutor João da Providência.
- “A fusão nuclear do frio”, pelo Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.
- “A radioactividade e seus efeitos biológicos”, pelo Prof. Doutor Paulo Mendes.
- “Bases experimentais da Física Quântica”, pelo Prof. Doutor Adriano Pedrosa de Lima.
- “Campo electromagnético: origem e efeitos”, pela Prof.^a Doutora Lucília Brito.
- “Como nascem, evoluem e se extinguem as estrelas”, pelo Prof. Doutor João da Providência.
- “Estabilidade, decaimento e reacções nucleares”, pelo Prof. Doutor Adriano Pedrosa de Lima.
- “Evolução dos conceitos de calor e entropia numa perspectiva histórica”, pelo Prof. Doutor João da Providência.
- “Física da cor”, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga.
- “Insucessos da Física Clássica e advento da Física Moderna” *, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga.
- “Interpretação estatística da termodinâmica”, pela Prof.^a Doutora Maria Estela Pereira.
- “Lasers e holografia”, pelo Prof. Doutor João Lemos Pinto.
- “Microscópios com resolução atômica” *, pelo Prof. Doutor Carlos Alberto Nabais Conde.
- “Nós e o Universo” (8.º ano), pelo Prof. Doutor Carlos Fiolhais.
- “O mar, as ondas, o som e a luz”, pela Prof.^a Doutora Maria José Almeida.
- “Os quarks na estrutura da matéria”, pelo Prof. Doutor João da Providência.

- “Peso, massa e gravitação na vida quotidiana”, pelo Prof. Doutor João da Providência.
- “Potências de 10 — o tamanho das coisas no Universo”, pelo Prof. Doutor Paulo Mendes.
- “Princípios da conservação” *, pelo Prof. Doutor Luiz Alte da Veiga.
- “Radioactividade e reacções nucleares”, pela Prof.^a Doutora Maria Estela Pereira.
- “Relatividade restrita”, pela Prof.^a Doutora Maria Estela Pereira.
- “Simetrias, princípios de conservação e leis da natureza”, pelo Prof. Doutor João da Providência.
- “Termodinâmica: princípios e fins”, pelo Prof. Doutor Manuel Fiolhais.

* A partir de Fevereiro de 1995.

Protocolo Gradiva-SPF

Ao abrigo do protocolo em vigor, podem os sócios da Sociedade Portuguesa de Física adquirir em condições especiais (20% de desconto e portes pagos) os seguintes livros:

• COLECCÃO CIÊNCIA ABERTA

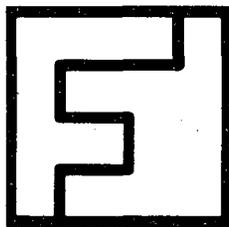
- | | | |
|------|--|----------|
| 2001 | O JOGO DOS POSSÍVEIS
<i>François Jacob</i> | 1150\$00 |
| 2002 | UM POUCO MAIS DE AZUL
— A Evolução Cósmica
<i>H. Reeves</i> | 1680\$00 |
| 2003 | O NASCIMENTO DO HOMEM
<i>Robert Clarke</i> | 1680\$00 |
| 2004 | A PRODIGIOSA AVENTURA DAS PLANTAS
<i>Jean-Pierre Cuny e Jean-Marie Pelt</i> | 1680\$00 |
| 2005 | COSMOS
<i>Carl Sagan</i> | Esgotado |

- | | | |
|------|--|----------|
| 2006 | A MEDUSA E O CARACOL
<i>Lewis Thomas</i> | Esgotado |
| 2007 | O MACACO, A ÁFRICA E O HOMEM
<i>Yves Coppens</i> | 1150\$00 |
| 2008 | OS DRAGÕES DO ÉDEN
<i>Carl Sagan</i> | 1680\$00 |
| 2009 | UM MUNDO IMAGINADO — Uma História de Descoberta Científica
<i>June Goodfield</i> | 1680\$00 |
| 2010 | O CÓDIGO CÓSMICO
<i>Heinz R. Pagels</i> | Esgotado |
| 2011 | CIÊNCIA, CURIOSIDADE E MALDIÇÃO
<i>Jorge Dias de Deus</i> | 1260\$00 |
| 2012 | O POLEGAR DO PANDA
<i>Stephen Jay Gould</i> | 1995\$00 |
| 2013 | A HORA DO DESLUMBRAMENTO — Terá o Universo Um Sentido?
<i>H. Reeves</i> | 1890\$00 |
| 2014 | A NOVA ALIANÇA
<i>Ilya Progogine e Isabelle Stengers</i> | Esgotado |
| 2015 | PONTES PARA O INFINITO — O Lado Humano das Matemáticas
<i>Michael Guillen</i> | 1470\$00 |
| 2016 | O FOGO DE PROMETEU
<i>Charles Lumsden e Edward O. Wilson</i> | Esgotado |
| 2017 | O CÉREBRO DE BROCA
<i>Carl Sagan</i> | 1750\$00 |
| 2018 | ORIGENS
<i>Robert Shapiro</i> | Esgotado |
| 2019 | A DUPLA HÉLICE
<i>James D. Watson</i> | Esgotado |
| 2020 | OS TRÊS PRIMEIROS MINUTOS DO UNIVERSO
<i>Steven Weinberg</i> | 1470\$00 |
| 2021 | «ESTÁ A BRINCAR, SR. FEYNMAN!» — Retrato de Um Físico enquanto Homem
<i>Richard P. Feynman</i> | 1890\$00 |
| 2022 | NOS BASTIDORES DA CIÊNCIA — Resistência dos Cientistas à Inovação Científica
<i>Sebastião J. Formosinho</i> | 1260\$00 |
| 2023 | VIDA — O Mistério da Sua Origem e Natureza
<i>Francis Crick</i> | Esgotado |
| 2024 | SUPERFORÇA — Em Busca de Uma Teoria Unificada da Natureza
<i>Paul Davies</i> | Esgotado |

2025	QED — A Estranha Teoria da Luz e da Matéria <i>Richard P. Feynman</i>	1470\$00	2042	VIAGEM ÀS ESTRELAS <i>Robert Jastrow</i>	1575\$00	2061	FEYNMAN — A Natureza do Gênio <i>James Gleick</i>	3360\$00
2026	A ESPUMA DA TERRA <i>Claude Allègre</i>	Esgotado	2043	MALICORNE — Reflexões de Um Observador da Natureza <i>H. Reeves</i>	1680\$00	2062	COMIDA INTELIGENTE — A Dietética do Cérebro <i>Jean-Marie Bourre</i>	2520\$00
2027	BREVE HISTÓRIA DO TEMPO — Do Big Bang aos Buracos Negros <i>Stephen W. Hawking</i>	1680\$00	2044	INFINITO EM TODAS AS DIRECÇÕES <i>Freeman Dyson</i>	2100\$00	2063	O FIM DA FÍSICA <i>Stephen Hawking</i>	1100\$00
2028	O JOGO — As Leis Naturais Que Regulam o Acaso <i>Manfred Eigen e Ruthild Winkler</i>	Esgotado	2045	O ÁTOMO ASSOMBRADO — Uma Discussão dos Mistérios da Física Quântica <i>Paul Davies e J. R. Brown</i>	1680\$00	2064	UNIVERSO, COMPUTADORES E TUDO O RESTO <i>Carlos Fiolhais</i>	1260\$00
2029	EINSTEIN TINHA RAZÃO? <i>Clifford M. Will</i>	1850\$00	2046	MATÉRIA PENSAnte <i>Jean-Pierre Changeux e Alain Connes</i>	1890\$00	2065	OS HOMENS — Passado, Presente, Condicional <i>André Langaney</i>	2625\$00
2030	PARA UMA NOVA CIÊNCIA <i>Steven Rose e Lisa Appignanesi</i>	1470\$00	2047	A NATUREZA REENCONTRADA <i>Jean-Marie Pelt</i>	2100\$00	2066	OS PROBLEMAS DA BIOLOGIA <i>John Maynard-Smith</i>	1800\$00
2031	A MÃO ESQUERDA DA CRIAÇÃO <i>John D. Barrow e Joseph Silk</i>	1575\$00	2048	O CAMINHO QUE NENHUM HOMEM TRILHOU <i>Carl Sagan e Richard Turco</i>	3150\$00	<i>No prelo:</i>		
2032	O GENE EGOÍSTA <i>Richard Dawkins</i>	1800\$00	2049	O SORRISO DO FLAMINGO <i>Stephen Jay Gould</i>	2600\$00	A CRIAÇÃO DO UNIVERSO <i>Fang Li Zhi e Li Shu Xian</i>		
2033	HISTÓRIA CONCISA DAS MATEMÁTICAS <i>Dirk J. Struik</i>	1900\$00	2050	EM BUSCA DA UNIFICAÇÃO <i>Abdus Salam, Paul Dirac e Werner Heisenberg</i>	1260\$00	A MÁQUINA MÁGICA — Um Manual de Magia Computacional <i>A. K. Dewdney</i>		
2034	CIÊNCIA, ORDEM E CRIATIVIDADE <i>David Bohm e F. David Peat</i>	Esgotado	2051	OBJECTOS FRACTAIS <i>Benoit Mandelbrot</i>	2500\$00	• COLEÇÃO APRENDER A FAZER CIÊNCIA		
2035	O QUE É UMA LEI FÍSICA? <i>Richard P. Feynman</i>	1575\$00	2052	A QUARTA DIMENSÃO <i>Rudy Rucker</i>	2500\$00	17 001	O GRANDE CIRCO DA FÍSICA <i>Jearl Walker</i>	1890\$00
2036	QUANDO AS GALINHAS TIVEREM DENTES <i>Stephen Jay Gould</i>	2730\$00	2053	DEUS JOGA AOS DADOS? <i>Ian Stewart</i>	2800\$00	17 002	AS AVENTURAS DO SR. TOMPINS <i>George Gamow</i>	Esgotado
2037	«NEM SEMPRE A BRINCAR SR. FEYNMAN!» — Novos Elementos para o Retrato de Um Físico enquanto Homem <i>Richard P. Feynman</i>	1890\$00	2054	OS PRÓXIMOS CEM ANOS <i>Jonathan Weiner</i>	2800\$00	17 003	FÍSICA DIVERTIDA <i>Carlos Fiolhais</i>	1700\$00
2038	CAOS — A Construção de Uma Nova Ciência <i>James Gleick</i>	2940\$00	2055	IDEIAS E INFORMAÇÃO <i>Arno Penzias</i>	1890\$00	17 004	A MECÂNICA EM PERGUNTAS <i>Jean-Marc Lévy-Leblond</i>	1575\$00
2039	SIMETRIA PERFEITA <i>Heinz R. Pagels</i>	2730\$00	2056	UMA NOVA CONCEPÇÃO DA TERRA <i>Seiya Uyeda</i>	1995\$00	17 005	A ELECTRICIDADE E O MAGNETISMO EM PERGUNTAS <i>Jean-Marc Lévy-Leblond</i>	1750\$00
2040	ENTRE O TEMPO E A ETERNIDADE <i>Ilya Prigogine e Isabelle Stengers</i>	1890\$00	2057	HOMENS E ROBOTS <i>Hans Moravec</i>	2250\$00	17 006	VIRAR O MUNDO DO AVESSO <i>Robert Ehrlich</i>	1890\$00
2041	OS SONHOS DA RAZÃO <i>Heinz R. Pagels</i>	2800\$00	2058	A MATEMÁTICA E O IMPREVISTO <i>Ivar Ekeland</i>	1500\$00	17 007	A FÍSICA DO QUOTIDIANO <i>Istvan Berkés</i>	2310\$00
			2059	SUBTIL É O SENHOR — Vida e Pensamento de Albert Einstein <i>Abraham Pais</i>	3360\$00	17 008	A INFORMÁTICA DO QUOTIDIANO <i>Thomas Lachand-Robert</i>	1750\$00
			2060	FLATLAND — O País Plano <i>Edwin A. Abbott</i>	1400\$00	17 009	PENSE NUM NÚMERO <i>Malcom Lines</i>	1850\$00
						<i>No prelo:</i>		
						GUIA PRÁTICO DE ASTRONOMIA <i>Denis Berthier e Jean Lacroux</i>		

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

DIVISÃO TÉCNICA DE
EDUCAÇÃO



DELEGAÇÃO REGIONAL DO
SUL E ILHAS

Acções de formação para professores do ensino secundário

- 1) FUNDAMENTOS DE MECÂNICA
J. Marat Mendes (FCTUNL) (2 dias)
- 2) MECÂNICA DOS FLUIDOS E LÍQUIDOS ELÁSTICOS
A. Correia Diogo (IST) (2 dias)
- 3) MOVIMENTOS OSCILATÓRIOS
J. Pires Ribeiro (FCUL) (2 dias)
- 4) O SOM NA SOCIEDADE
P. Martins da Silva (FCUL)
I. Carneiro (ESEL) (2 dias)
- 5) TERMODINÂMICA E SUAS LEIS. UMA VISÃO EVOLUTIVA.
Amélia Beato (FCTUNL) (2 dias)
- 6) INTERPRETAÇÃO ESTATÍSTICA DA TERMODINÂMICA
M. Estela Pereira (FCTUC) (1 dia)
- 7) ÓPTICA NO DIA À DIA
ASPÉCTOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS
J. Rebordão (INETI/FCUL) (2 dias)
- 8) LASERS E HOLOGRAFIA
J. Lemos Pinto (FCTUC) (2 dias)
- 9) ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: PRODUÇÃO, PROPAGAÇÃO E DETECÇÃO
L. Frazer Monteiro (FCTUNL) (2 dias)
- 10) ENERGIAS RENOVÁVEIS
Colares Pereira (INETI) (1 dia)
- 12) TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS. TRANSFORMAÇÃO E TRANSPORTE DA ENERGIA NO MUNDO CONTEMPORÂNEO
F. Carvalho (INETI) (1 dia)
- 13) ELECTRÓNICA NO ENSINO SECUNDÁRIO
M. Barros (FCUP) (2 dias)
- 14) ELECTRÓNICA E EQUIPAMENTO ELECTRÓNICO
J. Sousa Lopes (FCUL)
V. Oliveira (FCUL) (3 dias)
- 15) ATMOSFERA E MUDANÇAS DE TEMPO
C. Câmara (FCUL)
J. Corte Real (FCUL) (2 dias)
- 16) ATMOSFERA E CLIMA
J. Corte Real (FCUL)
C. Câmara (FCUL) (2 dias)
- 17) FÍSICA DO OCEANO
Isabel Âmbar (FCUL)
A. Fiúza (FCUL) (2 dias)
- 18) SISMOLOGIA
Paula Costa (FCUL)
L. Matias (FCUL) (2 dias)
- 19) PROSPECÇÃO GEOFÍSICA
A. Andrade Afonso (FCUL)
F. Acácio (FCUL) (2 dias)
- 20) RELATIVIDADE RESTRITA
Barbosa Henriques (IST) (1 dia)
- 21) ASTRONOMIA A "OLHO NU"
R. Agostinho (FCUL)
J. Lin Yun (FCUL) (2 dias)
- 22) ASTRONOMIA NO ENSINO BÁSICO E SECUNDÁRIO
Máximo Ferreira (MCUL) (1 dia)
- 23) SISTEMA SOLAR E A NOSSA GALÁXIA
J. Lin Yun (FCUL)
R. Agostinho (FCUL) (2 dias)
- 24) FUNDAMENTOS DA MECÂNICA QUÁNTICA
A. Sá Fonseca (UL) (2 dias)
- 25) TÓPICOS DE FÍSICA ATÓMICA
Salette Leite (FCTUC) (1 dia)
- 26) INTERACÇÕES ATÓMICAS E MOLECULARES
A. Moutinho (FCTUNL) (2 dias)
- 27) O NÚCLEO ATÓMICO: ESTABILIDADE E DESINTEGRAÇÃO
A. Pedroso de Lima (FCTUC) (2 dias)
- 28) TÓPICOS DA FÍSICA NUCLEAR
A. P. Jesus (FCTUNL) (2 dias)
- 29) DA CONSTANTE DE PLANCK À ESTRUTURA NUCLEAR
Ana M. Eiró (FCUL) (2 dias)
- 30) DE QUE SÃO FEITAS AS COISAS
A. Amorim (FCUL) (2 dias)
- 31) INTERACÇÕES E CAMPOS
P. Crawford (FCUL) (2 dias)
- 32) SIMETRIA E LEIS DE CONSERVAÇÃO
A. Barroso (FCUL) (2 dias)
- 33) SIMETRIAS, PRINCÍPIOS DE CONSERVAÇÃO E LEIS DA NATUREZA
J. da Providência (FCTUC) (1 dia)
- 34) PARTÍCULAS ELEMENTARES
Amélia Maio (FCUL) (2 dias)
- 35) INTRODUÇÃO À BIOFÍSICA E FÍSICA MÉDICA
E. Ducla Soares (FCUL)
P. Miranda (FCUL) (2 dias)
- 36) NÓS E AS RADIAÇÕES
Délia E. Gazo (FMUL/DGS) (2 dias)
- 37) OS ISÓTOPOS NO DIA À DIA
J. Salgado (ICEN/INETI)
E. Martinho (ICEN/INETI) (3 dias)
- 38) PLASMAS FRIOS. LASERS E NOVOS MATERIAIS
Matos Ferreira (IST)
J. Loureiro (IST) (1 dia)
- 39) CORRENTE ELÉCTRICA: CIRCUITOS ELÉCTRICOS E MAGNÉTICOS. UMA ABORDAGEM DO ENSINO ASSISTIDO POR COMPUTADOR.
A. Moreira Gonçalves (FCUL)
A. Melo (FCUL) (2 dias)
- 40) MOVIMENTO, FORÇAS E ENERGIA. DAS SITUAÇÕES DO QUOTIDIANO AO LABORATÓRIO. UMA ABORDAGEM DO ENSINO ASSISTIDO POR COMPUTADOR
A. Moreira Gonçalves (FCUL)
A. Melo (FCUL) (2 dias)
- 41) HISTÓRIA DAS IDEIAS EM FÍSICA
J. Andrade e Silva (FCUL)
Ana Isabel (FCUL) (2 dias)
- 42) EPISTEMOLOGIA E ENSINO DAS CIÊNCIAS
Olga Pombo (FCUL) (2 dias)
- 43) O ENSINO E APRENDIZAGEM DE CONCEITOS EM FÍSICA COM BASE NAS CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS DOS ALUNOS
Marília Thomaz (U. Aveiro) (2 dias)
- 44) ENSINO, ESTRUTURADO POR CONTEÚDOS VERSUS POR TEMÁTICAS
Adelaide Belo (Esc. Sec. Gil Vicente)
M. Mercês (ESE L) (2 dias)
- 45) A DIMENSÃO C.T.S. NO ENSINO DA FÍSICA
Ana M. Freire (FCUL) (2 dias)
- 46) TRABALHO EXPERIMENTAL NO ENSINO DA FÍSICA
Visitação Barbosa (FCUL) (2 dias)

NO PRÓXIMO NÚMERO

G A Z E T A D E
FÍSICA

ABLAÇÃO LASER

CENTENÁRIO DOS RAIOS X