

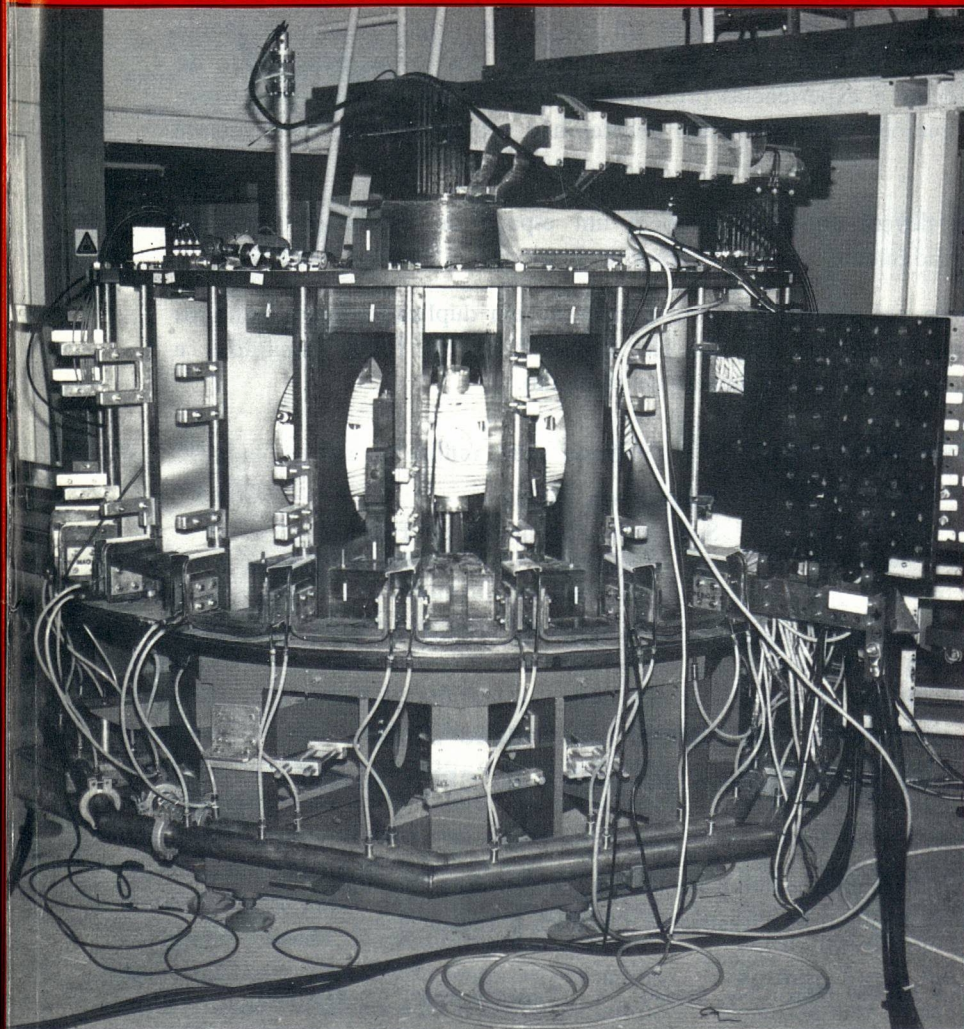
GAZETA DE FISICA

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA

VOL. 14, FASC. 3

Publicação Trimestral

Julho a Setembro 1991



**INSTALAÇÃO EM PORTUGAL DA PRIMEIRA
EXPERIÊNCIA DE FUSÃO NUCLEAR**

**O TOKAMAK
IST-TOK**
Em instalação no
Instituto Superior
Técnico

GAZETA DE FÍSICA

Fundada em 1946 por A. Gibert

Propriedade e Edição: Sociedade Portuguesa de Física

Directores: Filipe Duarte Santos
João Bessa Sousa

Comissão de Redacção e Administração: Manuel F. Thomaz, Carlos Matos Ferreira, Armando J. P. L. Policarpo, Ana Maria Eiró, Margarida C. Martins da Cruz, Maria Fernanda Cristóvão da Silva, Adriano Pedroso de Lima, José Manuel Monteiro Moreira.

Endereço: Sociedade Portuguesa de Física, Av. da República, 37-4.º — 1000 Lisboa

A **Gazeta de Física** publica artigos, com índole de divulgação, considerados de interesse para estudantes, professores e investigadores em Física. 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 S.P.F.

A **Gazeta de Física** deverá constituir também um espaço de informação para as actividades da S.P.F., nomeadamente as suas Delegações Regionais e Divisões Técnicas.

Os manuscritos deverão ser submetidos para publicação em duplicado, dactilografados a dois espaços. Figuras ou fotografias deverão ser apresentadas em folhas separadas e prontas para reprodução, com eventual redução de tamanho.

Toda a correspondência deverá ser enviada para

Gazeta de Física
Sociedade Portuguesa de Física
Av. República, 37-4.º — 1000 LISBOA

A **Gazeta de Física** é enviada gratuitamente a todos os Sócios da S.P.F. no pleno uso dos seus direitos.

Preço de assinatura : país 1500\$00 ; estrangeiro US\$25.

Preço do fascículo avulso (sede e delegações da SPF) : 400\$00.

Publicação subsidiada pelo Instituto Nacional de Investigação Científica
e pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica

Publicação periódica n.º 107 280 (Min. Com. Social) • Depósito Legal n.º 51 419/91

Tiragem: 2400 exemplares

Composição, Impressão e Acabamento — *Imprensa Portuguesa* — Porto

Localização ou a luz envergonhada

VÍTOR S. AMARAL

Centro de Física da Universidade do Porto - INIC — 4000 Porto

Apesar da natureza ondulatória da luz ser conhecida há alguns séculos ainda nos reserva muitas surpresas. Tal aconteceu recentemente em estudos de propagação e difusão da luz em meios desordenados: um subtil efeito de interferência de pares de ondas que sofrem as mesmas interacções com partículas difusoras mas em sequência temporal invertida provoca um aumento substancial da intensidade luminosa difundida por esses meios no sentido oposto ao da luz incidente, podendo mesmo conduzir, em condições extremas, ao confinamento da luz numa região restrita do espaço, isto é, à sua localização.

*Qualquer caminho leva a toda a parte
Qualquer caminho
Em qualquer ponto seu em dois se parte*

...

Fernando Pessoa

1. Difusão da luz ou bilhar num copo de leite

No vazio, a propagação da luz é um fenómeno ondulatório relativamente simples, descrito pelas equações de Maxwell. Quando a luz se propaga num gás pouco denso, como a alta atmosfera, a presença de moléculas e pequenas gotículas vai perturbar a propagação da luz, difundindo-a. Neste contexto, o termo difusão significa que uma onda luminosa, ao atingir uma partícula, se «divide» em ondas esféricas, espalhando-se como se fosse emitida em todas as direcções a partir dessa partícula difusora. No século passado, Rayleigh mostrou que nestas condições a intensidade luminosa difundida varia consideravelmente com o comprimento de onda da radiação, λ , sendo proporcional ao inverso da quarta potência de λ [1]. Esta difusão selectiva explica, por exemplo, porque

é que o céu é azul de dia: as componentes da luz solar de comprimento de onda curto, como a azul ($\lambda \approx 4500 \text{ \AA}$) são muito mais difundidas pelas pequenas partículas existentes na atmosfera do que o amarelo ou o vermelho ($\lambda \approx 6500 \text{ \AA}$). Esta teoria não é extensível, no entanto, à propagação da luz numa atmosfera nebulosa ou no leite, isto é, num meio muito mais concentrado, em que já são possíveis difusões múltiplas da luz, desprezadas na análise teórica em meios diluídos.

O poder difusor dum meio é caracterizado pelo correspondente livre percurso médio, l , que é a distância média percorrida pela luz entre duas difusões sucessivas. Se as dimensões do meio forem muito superiores a l cada onda emitida por cada centro difusor (partícula) é por sua vez difundida novamente e assim por diante. A propagação da luz nestas condições é classificada como difusiva, constituindo um

problema complexo, pois a onda transmitida numa determinada direcção resulta da sobreposição de ondas resultantes de um grande número de seqüências de difusão múltipla. Dessa sobreposição poderão resultar [vide caixa] interferências quer construtivas (ondas em fase) em que a intensidade luminosa aumenta, quer destrutivas (oposição de fase) em que a intensidade é reduzida. Na figura 1 representa-se esquematicamente uma seqüência de difusões múltiplas.

Num modelo introduzido por Schuster em 1905, a propagação da luz nestas condições poderá então ser analisada tendo em conta a analogia com um caminhar aleatório (random walk) entre centros difusores distribuídos ao acaso no meio. Devido à desordem (agitação térmica das partículas) as interferências construtivas e destrutivas são igualmente prováveis e o seu efeito compensa-se. Assim, a intensidade luminosa difundida pelo meio será bastante uniforme, não dependendo muito da

Interferência de duas ondas

Consideremos duas ondas $\psi_1(t)$ e $\psi_2(t)$ de frequência angular ω ($\omega = 2\pi/\text{período}$) e propagando-se com vector de onda \mathbf{k} ($|\mathbf{k}| = 2\pi/\lambda$) representadas no ponto de coordenadas \mathbf{r} e no instante t por $\psi_1(t) = A_1 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_1)$ e $\psi_2(t) = A_2 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_2)$. A_1 e A_2 são as respectivas amplitudes e ϕ_1 e ϕ_2 são as fases na origem em $t=0$. A onda resultante da sobreposição das duas ondas é dada pela respectiva soma: $\psi(t) = \psi_1(t) + \psi_2(t)$. Portanto a intensidade de $\psi(t)$ é

$$\begin{aligned} I(t) &= \psi(t)^2 \\ &= A_1^2 \cos^2(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_1) + A_2^2 \cos^2(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_2) + 2A_1 A_2 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_1) \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_2) \\ &= A_1^2 \cos^2(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_1) + A_2^2 \cos^2(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_2) + \\ &+ A_1 A_2 [\cos(2\omega t - 2\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \phi_1 + \phi_2) + \cos(\phi_2 - \phi_1)] \end{aligned}$$

A quantidade que efectivamente é medida por um instrumento detector (já que por exemplo no caso da luz visível o período é extremamente curto, da ordem de 10^{-15} s) é o valor médio temporal dessa intensidade, que pode ser calculado num período:

$$I_{\text{média}} = \frac{1}{T} \int_0^T \psi(t)^2 dt = \frac{1}{2} \left(A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos(\phi_2 - \phi_1) \right)$$

Assim, quando as duas ondas estão em oposição de fase ($\phi_2 - \phi_1 = \pi$) a intensidade resultante é menor do que a soma das intensidades das duas ondas enquanto que quando as ondas estão em fase ($\phi_2 - \phi_1 = 0$) é maior. Se as fases das duas ondas ϕ_2 e ϕ_1 forem aleatórias, a terceira parcela é, em média, nula e a intensidade resultante é dada pela soma das intensidades. No caso particular de ondas com amplitudes iguais ($A_1 = A_2$) a intensidade resultante em fase é dupla da que resulta de fases ϕ_2 e ϕ_1 aleatórias.

direcção de observação. Isto é o que se verifica com a difusão da luz por nuvens ou nevoeiro, constituídos por gotículas de água de diâmetro da ordem de $1 \mu\text{m}$ ou ainda pelo leite.

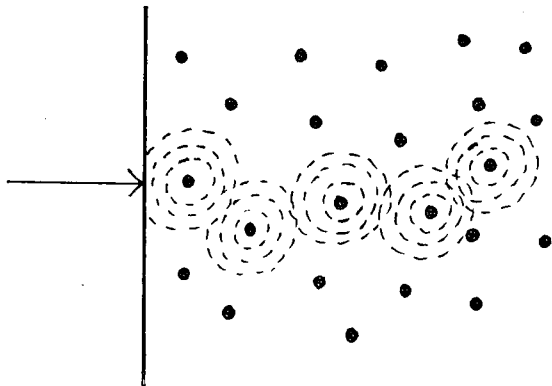


Fig. 1 — Representação esquemática duma seqüência de difusões múltiplas. A difusão da luz por cada centro difusor (partícula ou agregado) origina uma onda esférica que vai por sua vez ser difundida nos outros centros difusores. O processo global resultará da sobreposição dum grande número de seqüências de difusão, cada uma representável como um caminho aleatório.

2. Quando a luz volta para trás

A análise clássica atrás esboçada foi posta em causa recentemente pelos resultados de experiências de propagação de um feixe laser monocromático em suspensões aquosas concentradas de pequenas esferas dieléctricas (p. ex. poliestireno) de diâmetro da ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação incidente [2]. A montagem utilizada está esquematizada na figura 2. O resultado surpreendente foi a observação de um reforço considerável da intensidade luminosa difundida no sentido inverso ao do feixe incidente (retrodifusão), como representado na figura 3, sendo a intensidade quase uniforme fora da região central. Foi constatado igualmente que essa retrodifusão depende da concentração de microesferas, n . Na figura 4 apresentam-se os resultados para várias concentrações, verificando-se que a largura angular do cone de retrodifusão aumenta com n , revelando um estudo quantitativo que essa dependência é linear.

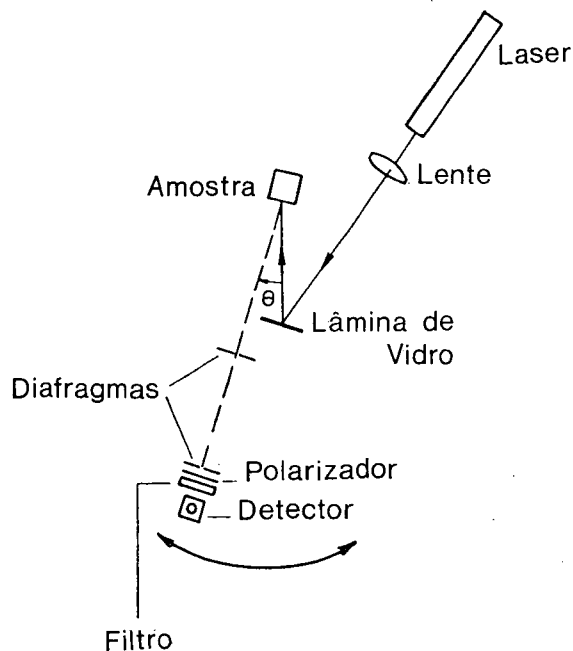


Fig. 2 — Montagem para observação da luz retrodifundida por soluções contidas numa célula de quartzo. O comprimento de onda da radiação utilizada é, na água, de $0.387 \mu\text{m}$.

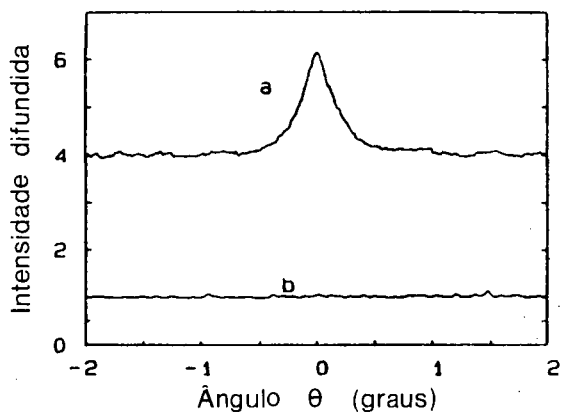


Fig. 3 — Dependência angular da intensidade da luz retrodifundida. *a)* difusão por uma suspensão aquosa (a 10%) de microesferas de poliestireno de diâmetro $0.46 \mu\text{m}$. *b)* o mesmo quando a célula contém água pura. É de notar que o reforço da retrodifusão conduz, no pico, quase à duplicação da intensidade. Para ângulos de observação maiores que alguns décimos de grau a intensidade observada é uniforme de acordo com a teoria clássica. O livre percurso médio da luz nesta suspensão é de $2.8 \mu\text{m}$.

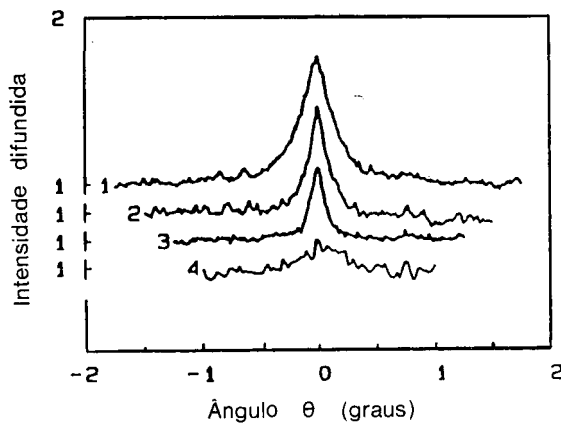


Fig. 4 - Retrodifusão coerente para várias concentrações de microesferas (diâmetro $0.46 \mu\text{m}$). curva 1, $n=0.11$; curva 2, $n=0.06$; curva 3, $n=0.026$; curva 4, $n=0.004$. Observa-se que a largura do cone aumenta com n , ou seja é tanto maior quanto menor for o livre percurso médio.

Vejamos agora como podemos compreender este efeito. Contrariamente ao pressuposto pela teoria clássica, nem todas as seqüências de difusão múltipla podem ser consideradas independentes. Com efeito, cada seqüência de difusão (S) está correlacionada com a sua seqüência dita conjugada, isto é, invertida no tempo, (-S), em que a onda luminosa é difundida pelos mesmos centros difusores mas exatamente na ordem inversa, como se representa na figura 5. As ondas difundidas pelas duas

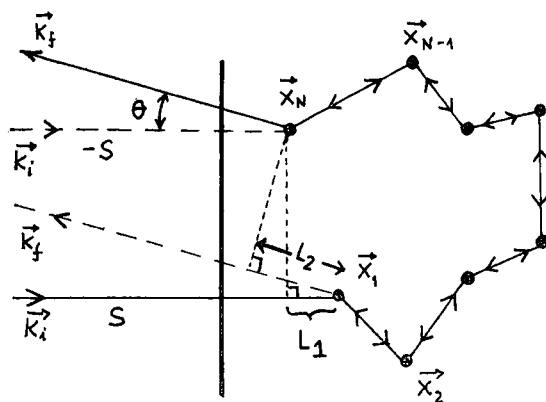


Fig. 5 - Um caminho (S) com a seqüência de difusões pelas partículas em x_1, x_2, \dots, x_N e o seu conjugado (-S) com a seqüência inversa no tempo. As duas ondas correspondentes interferem coerentemente para θ pequenos. A diferença de fase entre S e -S resulta da diferença de distâncias de propagação $L_2 - L_1$.

seqüências de centros difusores e emergindo na direção do feixe incidente com amplitudes A_s e A_{-s} estão rigorosamente em fase, interferindo construtivamente. Como as difusões sofridas nos dois caminhos são as mesmas, as ondas correspondentes têm amplitudes e fases iguais e assim a intensidade resultante é $1/2 (A_s + A_{-s})^2$, dupla da prevista classicamente, $1/2 (A_s)^2 + 1/2 (A_{-s})^2$, correspondente à soma das intensidades de cada caminho. Em qualquer outra direção de observação, com um ângulo θ entre a direção das ondas incidente e difundida, surge um desfasamento entre as duas seqüências, devido às diferentes distâncias percorridas, dado por $(\mathbf{k}_j + \mathbf{k}_l) \cdot (\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_1) = \phi_2 - \phi_1$ (ver figura 5). Assim como θ é o ângulo entre $-\mathbf{k}_j$ e \mathbf{k}_l , a condição de (quase) coerência para pequenos ângulos é $(2\pi/\lambda) \times |\mathbf{x}_N - \mathbf{x}_1| \theta \leq 1$.

Resulta daqui que em torno da direção de incidência a interferência entre os pares de seqüências conjugadas é construtiva no interior de um cone de abertura angular da ordem de λ/l , o quociente entre o comprimento de onda da radiação e o livre percurso médio no meio difusor. Fora deste cone o comportamento observado é o clássico: difusão de intensidade uniforme. A dependência linear da largura do cone em relação à concentração de esferas, n , pode ser igualmente explicada pois o livre percurso médio é inversamente proporcional a n , na condição das esferas poderem ser consideradas independentes.

É interessante notar que este efeito de difusão múltipla, apesar de ter sido previsto teoricamente em 1969 [3] só foi observado cerca de 15 anos mais tarde, nas experiências atrás referidas. A reduzida precisão das experiências realizadas durante a década de 70, com a utilização de feixes de radar dirigidos para nuvens na atmosfera não permitiu a sua observação conclusiva. Igualmente, a sensibilidade da retrodifusão coerente em relação a l explica porque este fenômeno, apesar de ser geral, não se observar correntemente, sendo necessário dispor de meios suficientemente difusores, isto é, com l suficientemente pequeno. Até ao momento, só foi possível observá-lo em sus-

pensões de micropartículas e certos microagregados sólidos, por exemplo óxido de titânio ou sulfato de bário.

3. Pode-se prender a luz?

Poderemos agora perguntar o que acontecerá num meio ainda mais difusor, em que o livre percurso médio da luz seja inferior ao comprimento de onda. Nesta situação, uma análise clássica não será de modo nenhum aplicável, pois os efeitos de interferência coerente de pares de ondas que sofrem as mesmas interações (difusão), mas em ordem temporal oposta vão dominar a propagação da luz, fazendo mesmo com que ela não se possa propagar! Realmente, as consequências deste subtil efeito de interferência são espectaculares: Num meio em que $l < \lambda$ a luz já não é mais transmitida pelo meio, verificando-se um rápido decaimento exponencial da intensidade luminosa que penetra no meio. Por outro lado, se tivermos uma fonte luminosa no interior do meio, o reforço da retrodifusão é tal que a luz não sai para o exterior, como se estivesse presa ou localizada na vizinhança da fonte. Este surpreendente efeito de localização devida à desordem é o exemplo para a luz do fenómeno mais geral chamado localização de Anderson, descoberto teoricamente em 1958, no contexto das propriedades electrónicas de condutores desordenados, prevendo a possibilidade de, com o aumento da desordem, transformar um metal (condutor, com electrões que se podem propagar) num isolador (com electrões localizados, devido a fenómenos de interferência). O fenómeno de localização pode ser observado com qualquer tipo de manifestação ondulatória em meios desordenados, quer de natureza clássica [4] como a luz e o som (vibrações mecânicas), quer de natureza quântica,

como os electrões, neutrões, ondas de spin, etc.

Por afinidade, o fenómeno do reforço da retrodifusão como nas experiências descritas (com $l < \lambda$) é chamado de localização fraca ou incipiente, em que ainda se verifica a propagação da luz. O estudo deste efeito tem-se revelado um auxiliar precioso no estudo hidrodinâmico de fluidos complexos, em especial na obtenção de características dinâmicas e interações entre partículas constituintes.

Actualmente, diversos grupos de investigadores tentam encontrar um meio conveniente para observar a localização da luz, mais difusor do que o leite ou as suspensões de microesferas, mas até agora sem sucesso. Outra via que tem sido sugerida é a utilização de meios que possam interagir com a luz por um fenómeno de ressonância interna, aumentando por ordens de grandeza o poder difusor e reduzindo drasticamente o livre percurso médio.

O fenómeno da localização de electrões para o qual é imprescindível uma análise no contexto da Mecânica Quântica será objecto dum próximo trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] CRAWFORD, F. S., WAVES, JR. — *Berkeley Physics Course*, vol. 3, Macgraw-Hill, 1968.
- [2] KUGA, Y., ISHIMARU, A. — *J. Opt. Soc. Am.*, A1 (1984) 831.
- VAN ALBADA, M. P., LAGENDIJK, A. — *Phys. Rev. Lett.*, 24, 2692 (1985).
- WOLF, P. E., MARET, G. — *Phys. Rev. Lett.*, 24, 2696 (1985).
- [3] ISHIMARU, A. — *Wave Propagation and Scattering in Random Media*, vol. 2, *Academic Press*, 1978.
- [4] Ping Sheng (editor) — *Scattering and Localization of Classical Waves in Random Media*, *World Scientific*, 1990.

A instalação em Portugal da primeira experiência de fusão nuclear: O Tokamak IST-TOK ⁽¹⁾

C. A. F. VARANDAS, J. T. MENDONÇA, J. A. C. CABRAL, M. P. ALONSO,
P. AMORIM, B. B. CARVALHO, M. L. CARVALHO, H. FERNANDES, A. MALAQUIAS,
M. E. MANSO, J. P. MATIAS, A. MOREIRA, J. L. PINTO, A. PRAXEDES, F. SERRA,
A. SILVA, P. VARELA, S. VERGAMOTA, R. VIGÁRIO, C. J. FREITAS, A. MATEUS,
V. PREGO e A. SOARES

Associação EURATOM/IST, Centro de Fusão Nuclear
Instituto Superior Técnico, 1096 Lisboa Codex, Portugal

1. Introdução

O IST-TOK é um pequeno «tokamak» [1], caracterizado pelos seguintes parâmetros:

Raio maior	$R = 4.60 \text{ cm}$
Raio menor	$a \approx 8.0 \text{ cm}$
Raio da coluna de plasma	$a_p = 8.5 \text{ cm}$
Valor máximo do campo magnético toroidal	$(B_T)_{\text{max}} \approx 3.0 \text{ T}$

presentemente em fase de instalação no Instituto Superior Técnico (IST) (Fig. 1), no âmbito do «Projecto IST-TOK» [2]. Este projecto está integrado no Programa Europeu de Fusão ⁽²⁾ e serviu de base ao estabelecimento de um Contrato de Associação entre a Comunidade Europeia da Energia Atómica (EURATOM) e o IST.

O IST-TOK foi projectado a partir da estrutura (câmara de vácuo, carapaça de cobre, transformador, bobines do campo magnético toroidal e bancos de condensadores) da antiga experiência «tokamak» TORTUR, da Associação EURATOM-FOM (Rijnhuizen), de Nieuwegein na Holanda, descontinuada em Outubro de 1988. Uma equipa de físicos, engenheiros e técnicos do Centro de Fusão Nuclear fez a desmontagem do TORTUR e está actualmente a proceder à montagem do equipamento transportado para Lisboa e ao projecto, instalação e teste dos restantes com-

ponentes do IST-TOK [3]: sistemas de vácuo, de limpeza da câmara e de injeção de gás, fonte de corrente contínua para criar o campo magnético toroidal (8000 A, 1 MW), fonte de rádio-frequência para a pré-ionização do gás (1.7 MHz, 200 W), unidade de controle de operação e sistema de aquisição de dados [4], sondas magnéticas, interferómetro de micro-ondas [5], reflectómetro de frequência fixa [5], sistema de difusão Thomson [6], diagnósticos de raios-X e analisador de deflexão iónica [7].

Convém salientar que, apesar de uma parte do equipamento do TORTUR ser utilizado no IST-TOK, se trata de uma experiência independente e conceptualmente diferente.

2. Objectivos do Projecto IST-TOK

Os objectivos principais do «Projecto IST-TOK» são:

(i) A criação de um pólo de atracção de estudantes e de jovens licenciados para a Física dos Plasmas e, em particular, para a Fusão Nuclear Controlada. Alguns aspectos tecnológicos e científicos do projecto servirão

⁽¹⁾ Comunicação apresentada na «7.ª Conferência Nacional de Física - FÍSICA 90».

⁽²⁾ No Programa Europeu de Fusão participam todos os países da Comunidade Económica Europeia e ainda a Suíça e a Suécia.

de temas para a elaboração de dissertações de mestrado (nomeadamente, no mestrado em Física e Engenharia dos Plasmas) e de doutoramento.

(ii) A formação experimental de pessoal técnico e investigador nas áreas tecnológicas associadas à fusão nuclear (tecnologia de vácuo, electrónica de potência, micro-ondas, electrónica rápida, óptica aplicada, espectroscopia, materiais, controle, aquisição de dados e processamento de sinais) e nas técnicas utilizadas no diagnóstico do plasma.

(iii) O desenvolvimento de novas técnicas de diagnóstico. A título de exemplo podemos referir a construção de um analisador da deflexão de um feixe iónico, duplamente ionizado, obtido a partir das colisões dos electrões do plasma com um feixe de iões metálicos (sódio⁺, potássio⁺ ou cézio⁺) que incide no plasma [7]. Este diagnóstico permite determinar a densidade do plasma (a partir do número de iões recolhidos), o campo magnético poloidal (a partir do desvio toroidal do feixe) e o potencial do plasma (através da

variação da energia do feixe). Estas medidas podem ser resolvidas no tempo e no espaço (variando o ângulo de incidência e a energia do feixe iónico).

(iv) A execução de um programa científico, autónomo, com interesse para o Programa Europeu de Fusão e adaptado às características do IST-TOK e às limitações no valor do campo magnético toroidal ($0.3 \leq B_T \leq 0.6$ T) resultantes da energia que a EDP-Electricidade de Portugal pode, neste momento, disponibilizar para o projecto.

3. Programa Científico

A execução do programa científico pode ser dividida em duas fases correspondentes à operação do IST-TOK em regime óhmico puro (1.^a fase) ou em regime não indutivo com geração de corrente por ondas electrociclónicas (2.^a fase). Na primeira fase procederemos à montagem do «tokamak», à reprodução dos resultados experimentais obtidos por investigadores portugueses na Holanda, ope-

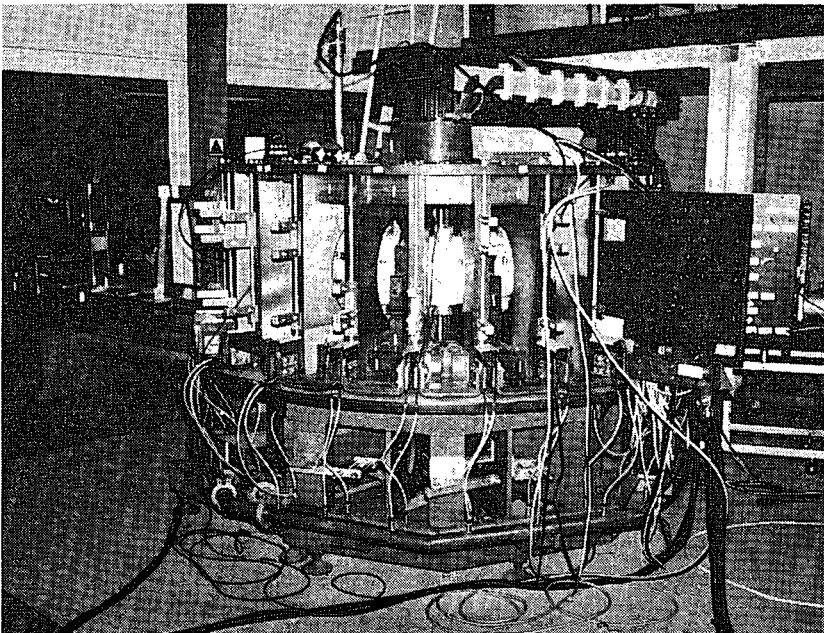


Fig. 1 — Vista parcial do tokamak IST-TOK.

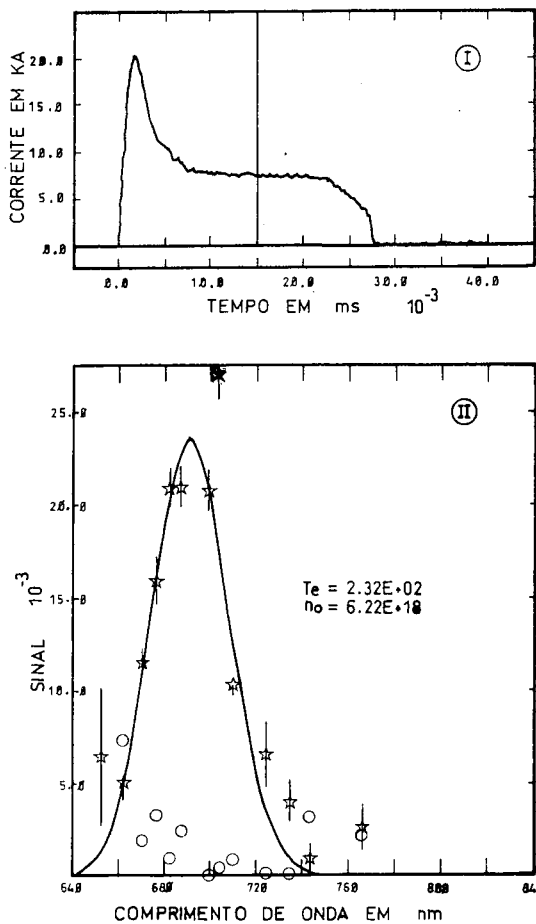


Fig. 2 — Variação no tempo da corrente do plasma (I) e espectros dos sinais obtidos com o diagnóstico de Thomson scattering (II) para determinação, em $r = 15$ mm e $t = 15$ ms, da densidade do plasma e da temperatura electrónica.

rando o TORTUR em condições semelhantes às do IST-TOK ($B_T \approx 0.45$ T) (Fig. 2),

Densidade do plasma	$n_0 \approx 6 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$
Temperatura electrónica	$T_e \approx 230 \text{ eV}$
Duração da descarga	$\tau \approx 20 \text{ ms}$

à optimização dos parâmetros da descarga (variando, nomeadamente, o campo magnético vertical e as condições de injeção do gás durante a descarga), ao estudo da resposta do plasma a perturbações magnéticas do tipo $m = 2, n = 1$, geradas por uma bobine exterior percorrida por uma corrente da ordem

de 10 % da corrente do plasma [8], e ao desenvolvimento do diagnóstico de deflexão iónica descrito anteriormente. Na segunda fase procederemos à geração de corrente por ondas electrociclótónicas [9], com frequência (28 GHz) aproximadamente igual ao dobro da frequência electrociclótónica ($B_T \approx 0.6$ T), injectadas do lado exterior da câmara de vácuo. Experiências feitas em «tokamaks» com parâmetros semelhantes aos do IST-TOK permitem prever uma eficiência da ordem de 10^{-3} , o que significa que obteremos uma corrente do plasma de cerca de 3 KA com uma potência injectada de 100 KW. Os valores da potência a injectar e da duração da descarga estão limitados pelas condições de dissipação de energia pelas paredes da câmara de vácuo. Um estudo calorimétrico simples permitiu concluir que a temperatura das paredes aumenta 0.5°C por segundo e por cada KW de potência injectada. Considerando que a temperatura máxima admissível pelas paredes da câmara é da ordem de 150 a 200°C concluimos que injectando 100 KW não podemos, nas condições actuais, obter descargas com durações superiores a 3 a 4 s. Nesta fase do projecto estudaremos ainda os efeitos sinérgicos entre a geração de corrente não indutiva e a estabilização da actividade magneto-hidrodinâmica em $m = 2, n = 1$, as condições para o aumento da duração da descarga (através, nomeadamente, da instalação de um circuito de arrefecimento a água na carapaça de cobre ou do projecto de uma nova câmara de vácuo), a influência do perfil de corrente no valor do β_{limite} [10] e os mecanismos de transporte iónico em plasmas de fusão, usando técnicas de espectroscopia e de fluorescência induzida por laser.

4. Execução do Projecto

A equipa responsável pela execução do «Projecto IST-TOK» integra vinte e um doutorados, dezoito estudantes de doutoramento, nove estudantes, dois engenheiros, quatro técnicos e três funcionárias administrativas, pertencentes ao Instituto Superior Técnico,

ao Centro de Electrodinâmica, à Universidade de Aveiro, à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

A duração de cada fase do projecto é de três anos, com início em 1 de Janeiro de 1990. A obtenção dos primeiros resultados experimentais está prevista para Outubro de 1991.

O «Projecto IST-TOK» é financiado pelo Instituto Superior Técnico, pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica e pela EURATOM.

REFERÊNCIAS

- [1] WESSON, J. (1987) — «Tokamaks», Clarendon Press, Oxford.
- [2] VARANDAS, C. A. F., *et al.* (1989) — «The IST-TOK Project», Relatório interno do Centro de Fusão Nuclear.
- [3] VARANDAS, C. A. F., *et al.* (1990) — «Aspectos operacionais do funcionamento do tokamak IST-TOK», «7.^a Conferência Nacional de Física - Física 90», pág. 505.
- [4] FERNANDES, H., *et al.* (1990) — «Controle de operação e aquisição de dados do tokamak IST-TOK», «7.^a Conferência Nacional de Física - Física 90», pág. 135.
- [5] SILVA, A., *et al.* (1990) — «Diagnóstico de micro-ondas para o tokamak IST-TOK», «7.^a Conferência Nacional de Física - Física 90», pág. 133.
- [6] VIGÁRIO, R. A., *et al.* (1990) — «Thomson scattering no tokamak IST-TOK», «7.^a Conferência Nacional de Física - Física 90», pág. 137.
- [7] MENDANHA DIAS, J. A., *et al.* (1990) — «Colisões feixe-plasma/Diagnóstico IST-TOK», «7.^a Conferência Nacional de Física - Física 90», pág. 141.
- [8] VANNUCI, A., NASCIMENTO, I. C. e CALDAS, I. L. (1988) — «Disruptive instabilities in the discharges of the TBR-1 small tokamaks», IFUSP/P-736, São Paulo, Brasil.
- [9] N. J. FISCH, N. J. e BOOZER, A. M. (1980) — Phys. Rev. Letters 5,4 720.
- [10] TROYON, F., *et al.* (1984) — Plasma Physics and Controlled Fusion 26, 209.

FÍSICA 92 — 8.^a Conferência Nacional de Física

2.^o Encontro Ibérico para o Ensino de Física

A Delegação Regional Norte da Sociedade Portuguesa de Física vai organizar a 8.^a Conferência Nacional de Física - Física 92, a realizar de 15 a 18 de Setembro de 1992, na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. A Física-92 terá como Conferência Satélite o 2.^o Encontro Ibérico para o Ensino de Física, numa organização conjunta da Real Sociedad Española de Física (R.S.E.F.) e da Sociedade Portuguesa de Física (S.P.F.).

Brevemente será enviada para as diferentes instituições de Ensino do nosso país, e para todos os sócios da S.P.F., a 1.^a circular de Física 92, juntamente com um boletim de pré-inscrição para a referida Conferência.

Até 31 de Março 1992:

Recepção de resumos das comunicações para a Física 92 (máximo 2 páginas A4)

Enviar para:

Comissão Executiva - Física 92
Laboratório de Física - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, P-4000 Porto

Informações:

Sociedade Portuguesa de Física
Delegação Regional do Norte
Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, P-4000 Porto
Tel. 02 - 310290 ext. 232, Fax. (02) 319267

A mãe de (quase) todas as distribuições

J. MIGUEL NUNES DA SILVA

Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Começando por apresentar uma elegante derivação da distribuição de Boltzmann, devida a N. C. Barford [1] é mostrado como, mantendo o mesmo baixo nível de sofisticação, dela resulta toda uma série de outras distribuições de uso corrente nos primeiros anos dos cursos de Física.

1. Motivação

É sempre um desafio a necessidade de apresentar os conceitos da Física de forma simplificada que não simplista. Acresce que uma apresentação heurística é, a um nível elementar, preferível a outra que requeira um gasto de tempo, por vezes desproporcionado, na apresentação de conceitos e técnicas de Matemática. É claro que há sempre a possibilidade de essa apresentação se ficar pelo enunciado das mesmas o que não raro dá resultados pouco gratificantes...

Na apresentação formal da teoria cinética dos gases alguns «papões» se perfilam perante o aluno dos primeiros anos da Faculdade: as noções de probabilidade e de densidade de probabilidade e a técnica dos multiplicadores de Lagrange. Aqui veremos como exorcizar esses espectros com base na elegante derivação da distribuição de Boltzmann devida a N. C. Barford [1] e com o auxílio de pouco mais do que duas alfaias: o integral gaussiano

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\beta(x-x_0)^2} dx = \left(\frac{\pi}{\beta}\right)^{1/2} \quad (1)$$

conhecido de qualquer curso de Análise, ou de simples tabela de integrais, e a noção de média ponderada com que, actualmente, qual-

quer aluno escolhe o curso superior que melhor se ajuste as exigências do sistema de *numerus clausus* (a notação a seguir é óbvia):

$$\langle x \rangle_N = \frac{1}{N} \sum_i n_i x_i, \quad \sum_i n_i = N \quad (2)$$

A distribuição de Boltzmann é, depois, sucessivamente aplicada às distribuições dos erros de medida, de percursos livres das moléculas de um gás e das suas velocidades (distribuição de Maxwell-Boltzmann), pelo que o «(quase)» empregue no título deste artigo se afigura suficientemente justificado.

2. Distribuição de Boltzmann

Considere-se um conjunto de caixas $i = 1, 2, 3, \dots$, onde pretendemos colocar N bolas iguais: n_i delas na caixa i , tal que

$$\sum_i n_i = N \quad (3)$$

Essas caixas, se bem que iguais, requerem que se gastem, de um total disponível E , a quantidade ϵ_i ao colocar uma bola na caixa i :

$$\sum_i n_i \epsilon_i = E \quad (4)$$

É claro que diversas são as maneiras de distribuir essas N bolas mesmo quando se impõe que fiquem n_1 na primeira caixa, n_2 na segunda, ... De facto, ao alinharmos as N bolas podemos fazê-lo de N! maneiras. Assim metemos as n_1 primeiras na caixa 1, as n_2 segundas na caixa 2, etc. Mas se tivessemos trocado a ordem das n_1 primeiras bolas entre si em nada teríamos alterado o resultado final pelo que só temos $N!/n_1!$ maneiras de distribuição até ao momento em que apenas entraram as n_1 bolas. Bom..., no final o número total de maneiras é

$$\Omega = \frac{N!}{n_1! n_2! \dots n_j! \dots n_k! \dots} \quad (5)$$

O significado deste Ω não é apenas contabilístico pois quanto maior for tanto mais vezes podemos encontrar a referida distribuição (n_i) (n_i bolas na caixa $i = 1, 2, \dots$) durante diversas tentativas de colocação das bolas nas caixas. É neste sentido que a distribuição (n_i), que maximiza Ω , é a mais representativa do sistema bolas/caixas.

Outra distribuição terá uma ocorrência menor: $\Omega' < \Omega$. Por exemplo, se

$$\varepsilon_i + \varepsilon_j = \varepsilon_1 + \varepsilon_k \quad (6)$$

podemos deslocar das caixas i e j uma bola para 1 e k , sem que (4) seja violada, ao que corresponde

$$\Omega' = \frac{N!}{(n_1+1)! \dots (n_i-1)! \dots (n_j-1)! \dots (n_k+1)! \dots} \quad (7)$$

Logo

$$\frac{\Omega}{\Omega'} = P \left(1 + \frac{1}{n_1} \right) \left(1 + \frac{1}{n_k} \right) \quad (8)$$

com

$$P = \frac{n_1}{n_i} \frac{n_k}{n_j} \quad (9)$$

Ainda no caso de ocorrer (6) é válido deslocarmos as bolas em sentido inverso (de 1 e k tira-se uma bola para as caixas i e j) corres-

pondendo à nova distribuição um número de maneiras Ω'' de ser obtida tal que

$$\frac{\Omega}{\Omega''} = \frac{1}{P} \left(1 + \frac{1}{n_i} \right) \left(1 + \frac{1}{n_j} \right) \quad (10)$$

Mas, se Ω' e Ω'' são menores que Ω , tira-se de (8) e (10) que

$$\frac{1}{1 + \frac{1}{n_1}} \frac{1}{1 + \frac{1}{n_k}} < P < \left(1 + \frac{1}{n_j} \right) \left(1 + \frac{1}{n_i} \right) \quad (11)$$

Se $N \gg 1$ e $n_i \gg 1$ (o que ocorre com frequência na Natureza onde $N \sim 10^{24}$, ie, da ordem do número de Avogadro, e o número de caixas ou estados é $\sim N^{1/3}$) resulta de (11):

$$P = 1$$

ou

$$\text{Ln } n_i + \text{Ln } n_j = \text{Ln } n_1 + \text{Ln } n_k \quad (12)$$

com

$$\varepsilon_i + \varepsilon_j = \varepsilon_1 + \varepsilon_k \quad (6)$$

Por fim, constata-se de (12) e (6) que a solução mais geral é

$$\text{Ln } n_i = -\beta \varepsilon_i + \text{Ln } A \quad (13)$$

ou

$$n_i = A e^{-\beta \varepsilon_i} \quad (14)$$

a conhecida distribuição de Boltzmann. As constantes A e β terão que satisfazer as duas condições iniciais (3) e (4)

$$A \sum_i e^{-\beta \varepsilon_i} = N \quad ; \quad (3')$$

ou seja, a fracção das bolas depositadas na caixa i é

$$\frac{n_i}{N} = \frac{e^{-\beta \varepsilon_i}}{\sum_j e^{-\beta \varepsilon_j}} \quad (14')$$

e

$$A \sum_i \varepsilon_i e^{-\beta \varepsilon_i} = E \quad , \quad (4')$$

ou

$$\frac{\sum_i \epsilon_i e^{-\beta \epsilon_i}}{\sum_i e^{-\beta \epsilon_i}} = \frac{E}{N} \quad (15)$$

de onde se calcula β .

3. Distribuição dos erros de medida

As medições de uma grandeza de valor 1_0 vêm sempre afectadas de um erro para mais ou para menos. Este é caracterizado pelo desvio padrão σ obtido para um número N muito grande de leituras 1_i

$$\sum_i \Delta n_i (1_i - 1_0)^2 = N \sigma^2 \quad (16)$$

Aqui agrupamos as Δn_i leituras na «caixa» $[1_i, 1_i + \Delta 1]$ sendo imediata a identificação de (16) e (4), com $\epsilon_i = (1_i - 1_0)^2$, pelo que a distribuição dessas leituras é ainda do tipo da de Boltzmann, eq. (14):

$$\frac{\Delta n_i}{N} = B e^{-\beta (1_i - 1_0)^2} \Delta 1 \quad (17)$$

Isto porque quanto maiores forem as caixas mais bolas (leituras) levam, restando calcular B e β :

$$i) \sum \frac{\Delta n_i}{N} = 1 \quad (\text{o equivalente de (3)})$$

ou seja

$$B \sum e^{-\beta (1_i - 1_0)^2}$$

$$\Delta 1 = B \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\beta (1 - 1_0)^2} d1 = B \sqrt{\pi/\beta}$$

que, em resultado de (1), dá $B = \sqrt{\beta/\pi}$.

ii) de (16) temos

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \sum_i \frac{\Delta n_i}{N} (1_i - 1_0)^2 \\ &= \sqrt{\beta/\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\beta (1 - 1_0)^2} (1 - 1_0)^2 d1 \\ &= \sqrt{\beta/\pi} \left(-\frac{\partial}{\partial \beta} \right) \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\beta (1 - 1_0)^2} d1 \\ &= 1/2\beta \end{aligned}$$

Em síntese, temos a bem conhecida distribuição de Gauss

$$\frac{\Delta n_i}{N} = (2\pi\sigma^2)^{-1/2} e^{-\frac{(1_i - 1_0)^2}{2\sigma^2}} \Delta 1 \quad (18)$$

4. Distribuição de percursos livres

Sigamos uma molécula de um gás no seu movimento errático descrevendo, choque após choque, uma linha poligonal com segmentos de comprimento variável x_i (antes do i -ésimo choque) e a que chamaremos percurso livre [2]. Após presenciarmos um número elevado N de choques agrupemos as observações em «caixas» $[x_i, x_i + \Delta x]$.

Mais um vez o número Δn_i de percursos livres que se situarão nessa caixa obedecerá a uma distribuição derivada da de Boltzmann

$$\frac{\Delta n_i}{N} = A e^{-\beta \epsilon_i} \Delta x \quad (19)$$

para o que bastará notar a existência de um livre percurso médio λ [2] dado por

$$\sum_i \Delta n_i x_i = N \lambda \quad (20)$$

De facto esta última condição (20) é na circunstância o equivalente de (4) com $\epsilon_i = x_i$ e $E = N\lambda$. Resta, pois, determinar B e β :

$$\begin{aligned} i) 1 &= \sum_i \frac{\Delta n_i}{N} = A \sum_i e^{-\beta x_i} \Delta x = \\ &= A \int_0^{\infty} e^{-\beta x} dx \end{aligned}$$

ou seja $A = \beta$;

$$\begin{aligned} ii) \lambda &= \frac{1}{N} \sum_i \Delta n_i x_i = \\ &= \beta \int_0^{\infty} e^{-\beta x} x dx = \beta \left(-\frac{\partial}{\partial \beta} \right) \int_0^{\infty} e^{-\beta x} dx \\ \text{ou seja } \lambda &= \beta^{-1}. \end{aligned}$$

Juntando tudo temos a bem conhecida distribuição de percursos livres

$$\frac{\Delta n}{N} = \frac{\Delta x}{\lambda} \exp\left(-\frac{x_i}{\lambda}\right) \quad (21)$$

que nos dá a fracção dos choques que ocorrem

após um percurso (livre destes) com comprimento entre x_i e $x_i + \Delta x$.

5. Distribuição de Maxwell-Boltzmann

É bem conhecida [2] a expressão de Bernoulli para a pressão P num gás ideal em termos da sua densidade ρ e do valor médio do quadrado da velocidade $\langle v^2 \rangle$:

$$P = \frac{1}{3} \rho \langle v^2 \rangle \quad (22)$$

Por outro lado esse gás tem por equação de estado para as suas N moléculas de massa m e ocupando o volume V à temperatura T

$$P V = N K_B T \quad (23)$$

(K_B é a constante de Boltzmann), sendo toda a sua energia cinética de translação e valendo

$$\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{E}{N} \quad (24)$$

por molécula. Ou, tendo em vista (22) e (23), vale ainda

$$\frac{E}{N} - \frac{3}{2} K_B T = \frac{1}{N} \sum_i \Delta n_i \frac{1}{2} m v_i^2 \quad (25)$$

que é precisamente o equivalente da condição (4) com $\epsilon_i = \frac{1}{2} m v_i^2$, sendo Δn_i o número de partículas na «caixa» formada pelo paralelepípedo de lados Δx , Δy e Δz no tradicional «espaço das velocidades». Resulta que a fracção das partículas com velocidades na caixa de volume $\Delta \vec{v} = \Delta v_x \Delta v_y \Delta v_z$ é

$$\frac{\Delta n_{\vec{v}}}{N} = A^3 e^{-\beta \frac{1}{2} m v^2} \Delta v = \left(A e^{-\beta \frac{1}{2} m v_x^2} \Delta v_x \right) \times$$

$$\times \left(A e^{-\beta \frac{1}{2} m v_y^2} \Delta v_y \right) \times \left(A e^{-\beta \frac{1}{2} m v_z^2} \Delta v_z \right) \quad (26)$$

Assim, basta atentar na forma das eqs. (17) e (18) para, comparando (16) com (25) termos

$$A = \left(\frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{1/2}, \quad e \quad \beta^{-1} = K_B T.$$

Por fim, para obtermos a distribuição de Maxwell-Boltzmann, que nos dá o número de partículas $\Delta n_{\vec{v}}$ que em média estão com o módulo da velocidade em $[v, v + \Delta v]$, basta somar sobre todas as caixas situadas à distância v da origem do espaço das velocidades:

$$\Delta n_{\vec{v}} = \sum_{|\vec{v}|=v} \Delta n_{\vec{v}} = N \left(\frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{3/2} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{m v^2}{K_B T} \right] \sum_{|\vec{v}|=v} \Delta \vec{v}.$$

Ora este último somatório é apenas o volume de uma casca esférica de espessura Δv $\left(\Delta \left[\frac{1}{3} \pi v^3 \right] = 4\pi v^2 \Delta v \right)$ pelo que a distribuição de Maxwell-Boltzmann se lê:

$$\frac{\Delta n_{\vec{v}}}{N} = \left(\frac{m}{2\pi K_B T} \right)^{3/2} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{m v^2}{K_B T} \right] 4\pi v^2 \Delta v.$$

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos ao Prof. José Duarte pela leitura do manuscrito bem como ao Prof. Eduardo Lage por sugestões sobre a forma final do mesmo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BARFORD, N. C. — *Am. J. Phys.*, 44, 940 (1976).
 [2] p. ex.: *Physics* — BLUM, R. e ROLLER, D. E.; Holden-Day, San Francisco, 1982 (caps. 22 e 24).

Circuitos Elementares de Corrente Contínua: Dificuldades de Aprendizagem e Formas de as Superar (*)

ANTÓNIO J. NETO (1)

Departamento de Pedagogia e Educação, Universidade de Évora

MARIANA VALENTE (1)

Departamento de Física, Universidade de Évora

MARIA ODETE VALENTE (1)

Departamento de Educação, Faculdade de Ciências de Lisboa

1. Introdução

A generalidade dos alunos considera a electricidade um assunto difícil; tem dela uma imagem negativa que, na maior parte dos casos, persiste para além da idade escolar.

A elevada exigência conceptual que caracteriza esta área de conteúdos não consegue, só por si, justificar o rótulo de *matéria complicada* que os alunos lhe atribuem. Como explicar, então, essa imagem particularmente negativa que, no âmbito da Física, talvez seja apenas suplantado pela Mecânica?

Este trabalho pretende encontrar respostas para a questão anterior e, simultaneamente, derivar alguns contributos metodológicos susceptíveis de ajudarem o aluno a superar, com êxito, os obstáculos de aprendizagem que uma tal imagem negativa necessariamente implica.

A estrutura do trabalho é a seguinte:

— Apresenta-se um *Referencial Científico* considerado fundamental para a explicação formal dos circuitos eléctricos elementares de corrente contínua em regime estacionário.

— Identificam-se possíveis *Factores de Insucesso* no estudo desses circuitos, a partir da análise e discussão de situações problemáticas extraídas da literatura e apresentadas em *Anexo*.

— Esboça-se, por fim, um *Referencial Didáctico* que, tendo em conta os factores que condicionam a aprendizagem da electricidade,

seja capaz de ajudar o aluno a caminhar para a adopção progressiva do referencial científico formal.

2. Referencial científico básico para o estudo dos circuitos elementares de corrente contínua

2.1. O circuito eléctrico como sistema físico

Um circuito eléctrico é um sistema físico que permite trocas de energia com o exterior mas não permite trocas de matéria. Dentro do próprio sistema, verifica-se quer transporte de energia (*energia eléctrica*) quer transporte de matéria (*corrente eléctrica*).

O sistema é constituído por duas partes essenciais que desempenham funções profundamente distintas: o *gerador*, que funciona como *fonte* de energia eléctrica, e a parte exterior ao gerador, que funciona como *receptor*.

A corrente (fluxo estatisticamente orientado de *portadores de carga eléctrica*) é o «veículo» que conduz a energia eléctrica desde o gerador, onde é «produzida», para a parte exterior ao gerador, onde vai ser «consumida». Trata-se,

(*) Este trabalho foi parcialmente apresentado num *workshop* dinamizado pelos autores no 2.º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino, realizado em Aveiro de 6 a 8 de Fevereiro de 1991.

(1) Bolseiros do INIC.

porém, de um «veículo especial»: o «transportado» (energia eléctrica) circula muito mais depressa do que o próprio «transportador» (corrente eléctrica). Na verdade, e deixando agora a imagem metafórica, sabe-se que o valor da *velocidade de corrente* (velocidade estatística média de arrastamento dos portadores de carga) é *muito inferior* ao valor da *velocidade de condução da energia eléctrica* (velocidade de propagação das ondas electromagnéticas nos meios materiais que constituem o circuito; este valor, apesar de ser bastante inferior ao da velocidade da luz no vácuo, é, ainda assim, suficientemente elevado para que se fique com a ideia de uma propagação praticamente instantânea).

2.2. O circuito eléctrico de corrente contínua em regime estacionário

Os circuitos eléctricos que iremos considerar são os que cumprem, cumulativamente, as seguintes condições:

- a *intensidade da corrente é invariável* no decurso do tempo (corrente estacionária) e é *igual em todos os pontos do circuito* que estejam ligados em série;
- o *sentido do movimento estatístico global dos portadores de carga é sempre o mesmo*.

É necessário clarificar esta última condição lembrando que, nos *condutores sólidos*, os portadores de carga (*electrões livres*) se movem, estatisticamente, num único sentido: de pontos e potenciais menos elevados para pontos a potenciais mais elevados. Nos *condutores líquidos* existem, na realidade, dois sentidos para o movimento global dos portadores de carga (*iões*): os iões negativos, à semelhança dos electrões livres, movem-se no sentido dos potenciais decrescentes.

2.3. A lei de Ohm generalizada como referencial quantitativo fundamental

Aquela forma da lei de Ohm constitui um referencial quantitativo apropriado ao estudo

dos circuitos elementares de corrente contínua. Ela pode ser representada através da seguinte expressão analítica:

$$V_{AB} = I \Sigma R - \Sigma e$$

em que,

$V_{AB} = V_A - V_B$: diferença de potencial entre os extremos de uma secção AB do circuito.

I: intensidade da corrente que percorre essa secção AB.

ΣR : soma dos valores de todas as resistências existentes entre os pontos A e B (inclui-se as resistências internas dos geradores e dos receptores lá inseridos).

Σe : soma algébrica dos valores das forças electromotrizes inseridas na secção AB.

CONVENÇÕES:

- 1—É útil fazer coincidir o sentido A-B com o sentido de corrente (sentido convencional).
- 2—Nessas condições, a *força electromotriz* é:
 - *positiva*, quando a corrente entra pelo pólo negativo e sai pelo positivo (*caso dos geradores*);
 - *negativa*, quando a corrente entra pelo pólo positivo e sai pelo negativo (*caso dos receptores*).

2.4. O papel do gerador no circuito

Um gerador de corrente contínua em regime estacionário é um dispositivo que, em boas condições de funcionamento, consegue manter, nos seus terminais, uma diferença de potencial constante, desde que a parte do circuito a que se encontra ligado não varie.

Se, para além disso, a sua resistência interna (R_i) for desprezável (*gerador ideal*), aquela diferença de potencial será invariável quaisquer que sejam os restantes componentes do circuito e qualquer que seja a intensidade da corrente debitada. É o que facilmente se conclui se aplicarmos a lei de Ohm generalizada à secção de circuito constituído apenas pelo próprio gerador. Nesse caso, obter-se-á uma expressão

do tipo: $V_{AB} = I R_i - e$, a qual, para $R_i = 0$, assume a forma $V_{AB} = -e = \text{constante}$.

O acumulador é o gerador de corrente contínua que mais se aproxima das condições de gerador ideal, em virtude de ter uma resistência interna relativamente reduzida. Por essa razão, muitas das experiências com circuitos elementares de corrente contínua devem ser realizadas com acumuladores ou com associações de acumuladores (baterias). É por isso que, daqui por diante, iremos, quase sempre, utilizar o termo «bateria» como um *exemplo* de «gerador ideal».

Qualquer alteração (*estímulo*) verificada numa dada região do circuito tem, como efeito, a alteração (*resposta*) do valor da intensidade da corrente fornecida pelo gerador. O *circuito reage como um todo* a modificações operadas em qualquer das suas partes constituintes. Se, por exemplo, variarmos o valor da resistência de uma dessas partes, alteramos, imediatamente, a intensidade da corrente em todo o circuito. Isto porque toda a transformação pontual que se efective vai desencadear o aparecimento de ondas electromagnéticas que «levam rapidamente a informação do ocorrido» a todo o restante circuito. Como consequência, este passa de um estado de equilíbrio, caracterizado por valores bem determinados das diferenças de potencial e das intensidades de corrente, a um novo estado de equilíbrio que corresponde à rápida estabilização daquelas grandezas em novos valores.

2.5. A diferença de potencial como causa da corrente

Cada elemento de circuito só será percorrido por corrente se existir, entre os seus extremos, uma diferença de potencial e, obviamente, se a corrente o puder atravessar. A corrente surge, assim, como um efeito cuja causa é a diferença de potencial.

Contudo, a verificação da causa não é, só por si, condição suficiente para que o efeito se produza: *pode existir diferença de potencial sem existir corrente*. É o que acontece, por exemplo, quando se tem um gerador em circuito aberto: existe diferença de potencial nos seus

extremos (cumpre-se a causa) mas o gerador não é atravessado por qualquer corrente macroscópica (não se verifica o efeito).

3. Factores de insucesso no estudo dos circuitos eléctricos elementares de corrente contínua

Qualquer tentativa de inventariação das causas responsáveis pela atribuição à electricidade do rótulo de *matéria complicada* passa, necessariamente, pelos seguintes pontos:

- Ser a electricidade uma área onde proliferam conceitos abstractos cuja compreensão ultrapassa as reais capacidades da maioria dos alunos.
- Existirem modelos conceptuais alternativos, construídos a partir da interacção dos alunos com o seu meio sócio-cultural.
- Ter o ensino de electricidade provocado a assimilação de noções incorrectas, devido à utilização de estratégias incapazes de auxiliar o aluno a estabelecer a ponte entre o seu referencial intuitivo e o referencial formal.
- Ser a electricidade um fenómeno natural que, apesar do papel insubstituível que desempenha no mundo de hoje, aparece, com frequência, associado a «mitos», «medos» e «fantasmas», tantas vezes infundados (OLDHAM *et al.*, 1986).

Muitos autores insistem no efeito decisivo que os modelos intuitivos provocam na aprendizagem das concepções científicas. Não admira, desse modo, que essa seja, hoje em dia, uma das áreas de maior pujança no campo da investigação em didáctica das ciências. À diversidade de trabalhos divulgados corresponde diversidade idêntica de designações utilizadas para referenciar as ideias próprias que os alunos constroem sobre o mundo que os rodeia, antes, durante ou após o ensino formal. De facto, e segundo GUIDONI (1985), essas ideias têm sido designadas por expressões tão diversas como: *referenciais alternativos, representações mentais, concepções alternativas, ciência dos alunos, conhecimento de senso-comum, esquemas de pensamento, etc.*

Por constituírem paradigma para muitos dos estudos desenvolvidos, cabe aqui referência especial aos trabalhos de DRIVER (1978, 1983)

alicerçados, epistemologicamente, numa perspectiva construtivista da aprendizagem. Esta perspectiva concebe a aprendizagem como um processo em que o indivíduo participa activamente na construção do seu próprio conhecimento, estabelecendo relações significativas entre a informação que recebe e o seu referencial idiossincrático prévio. A assimilação de novos conhecimentos é, assim, fortemente condicionada pelos conhecimentos previamente adquiridos e pelas experiências previamente vividas.

Alguns dos modelos alternativos parecem não resistir por muito tempo à acção de um ensino formal *adequado*. É o que sucede, por exemplo, com a ideia sustentada por muitos alunos de que basta um único fio de ligação para fazer acender uma lâmpada por acção de uma bateria. Ao contrário, modelos há que resistem, com vigor, à sua substituição total ou parcial pelas concepções científicas correspondentes (VIENNOT, 1979).

Os modelos alternativos dependem, como é óbvio, do contexto sócio-educativo em que emergem e se consolidam. No entanto, estudos levados a cabo em países tão diversos como a Nova Zelândia, Inglaterra, França e Portugal, permitiram concluir que existe alguma uniformidade, sobretudo no que se refere aos aspectos que tipicamente mais se opõem à acção da escola.

3.1. A multiplicidade das representações que os alunos constroem de um circuito eléctrico

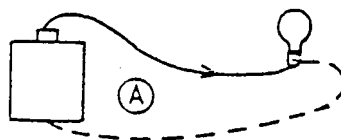
O referencial científico básico para este tipo de circuitos admite, como princípio fundamental, a ideia de *circuito eléctrico* encarado como um *sistema físico* cujas partes constituintes estão *em permanente interacção global*. A assimilação desse princípio é absolutamente essencial para a compreensão efectiva dos fenómenos que ocorrem nesse sistema.

Contudo, em vez dessa imagem interactiva global, muitos alunos têm do circuito uma *imagem sequenciada*, a qual traz implícita a ideia de que um dado dispositivo influencia apenas os dispositivos que se lhe seguem,

numa ordem que está relacionada com o sentido que atribuem à corrente (CLOSSET, 1983).

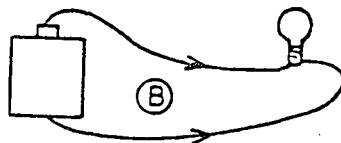
Porém, essa representação, para além de não ser única tem, ela própria, algumas variantes. Assim, de acordo com TASKER e OSBORNE (1987), os modelos de circuito eléctrico elementar mais vulgarizados nos alunos são os que a seguir se apresentam (reproduzem-se as designações e diagramas utilizados por aqueles autores).

Modelo A — Conforme o diagrama da figura deixa perceber, este modelo pressupõe que basta um único fio condutor para *levar a corrente à lâmpada*.



O segundo fio (a tracejado) é considerado dispensável; desempenha, na perspectiva dos alunos que perfilham o modelo, um papel de simples acessório ou de segurança.

Modelo B — Uma parte significativa dos alunos que começam por adoptar o modelo A evolui, após algum tempo de escolarização formal, para este outro modelo.

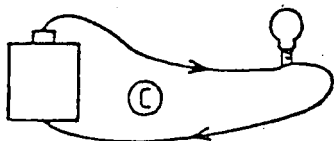


Neste caso, já se julga imprescindível a existência de dois fios de ligação; as correntes que os atravessam são, no entanto, encaradas como autónomas e circulam, ambas, da bateria para a lâmpada. Tudo se passa como se as duas correntes fossem colidir na lâmpada e produzissem nela «*uma faísca da qual resulta a luz*».

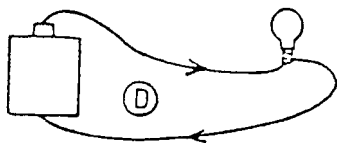
Modelo C — Este modelo tem de comum com o anterior o facto de considerar necessária a existência dos dois fios condutores. Diverge

dele ao admitir que a corrente flui, em ambos os fios, num só sentido.

Para além disso, o modelo pressupõe que a corrente se vai enfraquecendo à medida que progride no circuito.



Modelo D — Esta representação corresponde ao *modelo científico formal*: a corrente eléctrica circula num só sentido e tem a mesma intensidade em todos os pontos do circuito.



O modelo científico só muito raramente é sugerido pelos alunos antes da aprendizagem formal de electricidade. Numa investigação conduzida por OSBORNE (1983) e que envolveu crianças dos 8 aos 12 anos, concluiu-se que quase todas elas, ao serem entrevistadas, não só o não referiam como o rejeitavam quando o investigador o propunha. Reproduzimos, por a considerarmos particularmente sugestiva, parte da argumentação utilizada por uma dessas crianças:

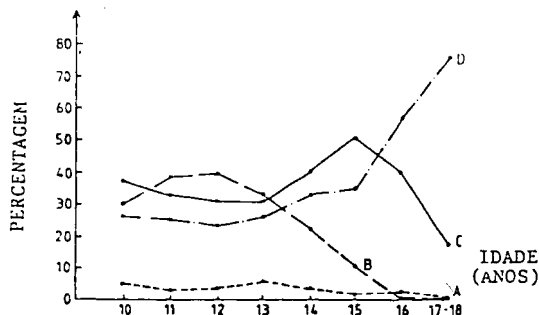
«Para mim, essa explicação não tem sentido... alguma electricidade terá de ser gasta... Se não a lâmpada não dava luz!»

Conclui-se, assim, que o modelo científico, por ser menos intuitivo que os modelos alternativos, cria dificuldades de aprendizagem, por vezes inesperadas. A afirmação que a seguir transcrevemos, proferida por um aluno universitário, é disso um bom exemplo:

«... Não, não aceito esse modelo. Não é possível obter algo (luz) a partir do nada. ... Terá de haver, forçosamente, algum enfraquecimento da corrente que entrou na lâmpada...» (TASKER e OSBORNE, 1987).

3.2. A popularidade dos modelos mais significativos

Num estudo efectuado na Nova Zelândia por OSBORNE (1983) procurou o autor recolher informações sobre o grau de adesão suscitado pelos quatro modelos anteriormente referidos, numa faixa que se estendia dos 10-11 anos de idade (correspondente ao 2.º ciclo português) até aos 17-18 anos (correspondente, em Portugal, ao final do ensino secundário). Os resultados obtidos por OSBORNE, confirmados posteriormente por SHIPSTONE, em Inglaterra, encontram-se sintetizados no gráfico seguinte, extraído de TASKER e OSBORNE (1987):



Por análise do gráfico é possível extrair, entre outras, as seguintes conclusões:

- Nos escalões etários mais jovens, relacionados com níveis de ensino em que este assunto não é abordado formalmente, é possível encontrar os diversos modelos; compreensivelmente, o modelo científico é dos que menos se manifestam nessas idades.
- A adesão dos alunos ao modelo A mantém-se sempre a um nível reduzido.
- É notório o efeito da escola sobre as concepções de circuito tipificadas pelo modelo B. A partir da altura em que os alunos são iniciados no estudo escolar da electricidade (12-13 anos), o modelo B vai sendo progressivamente abandonado até que a sua influência deixa praticamente de se fazer sentir.
- Com o modelo C passa-se algo de singular: ao contrário do que acontecia com o modelo anterior, cresce a adesão a este modelo a partir da altura em que os alunos começam a estudar formalmente electricidade. Verifica-se um máximo por volta dos 15 anos e, a partir daí, a sua influência começa nitidamente a decrescer.
- Cerca de 30% dos alunos de 17 anos argumentam, ainda, na base de modelos que não têm subjacente o princípio de conservação da corrente eléctrica.

—Como seria de esperar, os resultados obtidos apontam para uma preponderância das concepções formais nos últimos anos da faixa etária analisada.

3.3. A confusão entre corrente eléctrica e energia eléctrica

A distinção efectiva entre os conceitos de corrente eléctrica e de energia eléctrica não é tarefa fácil. Na verdade, muitos alunos utilizam indistintamente as expressões «corrente eléctrica» e «energia eléctrica», e também o termo «electricidade», com significados equivalentes: aparecem associados a «uma qualquer entidade física» susceptível de ser «transportada», «consumida» e «armazenada» (PSILLOS e KOUMARAS, 1988). É evidente que essa entidade tem muito mais a ver com o conceito científico de energia eléctrica do que com o de corrente eléctrica.

3.4. O gerador como «reservatório de corrente»

A corrente que um gerador fornece no circuito em que está inserido depende, decisi- vamente, da resistência total desse circuito. O gerador não pode, por isso, ser caracterizado em função da corrente que debita.

No entanto, um dos modelos alternativos mais difundidos nos alunos é aquele que admite que o débito de corrente que um dado gerador permite é invariável, quaisquer que sejam os dispositivos a que esteja ligado: é como se o gerador fosse um *reservatório de corrente*.

A solidez deste modelo pode ser bem evidenciada através dos resultados de uma investigação realizada em França por DUPIN (1987). A amostra utilizada por esse autor envolveu alunos não-universitários e alunos universitários (cursos de ciências físico-naturais). Verificou-se que cerca de 45% dos alunos não-universitários raciocinavam na base daquele modelo alternativo; verificou-se, ainda, que o mesmo modelo se manifestava, vivamente, em cerca de 30% dos alunos universitários (1.º e 2.º ano).

3.5. A troca do efeito pela causa: «A diferença de potencial como consequência da corrente»

A diferença de potencial é reconhecida como uma das grandezas eléctricas conceptualmente mais exigentes. Por outro lado, à designação «diferença de potencial» atribuem os alunos significados que, por vezes, são profundamente distintos.

Os primeiros contactos com esse conceito estabelecem-se quando a criança começa a utilizar dispositivos a que se associa a palavra «volt» (ou, em linguagem corrente, «os volts»). Concebidos, inicialmente, como simples rótulo, *os volts* adquirem, posteriormente, algum significado: forma de exprimir a quantidade de «algo» que existe nas pilhas e que é consumido nas lâmpadas das lanternas de bolso, nos rádios ou nos mecanismos dos brinquedos eléctricos.

À diversidade de significados conferidos à noção de diferença de potencial corresponde diversidade idêntica de confusões, muitas delas provocadas ou alimentadas pelas estratégias escolares. Essas confusões não são um exclusivo dos alunos mais novos (COHEN, 1983); aparecem, também, em alunos que foram submetidos a vários anos de ensino formal de electricidade.

Alguns deles não percebem bem onde reside a necessidade de utilizar dois conceitos diferentes (diferença de potencial e corrente eléctrica) para interpretar os fenómenos eléctricos. Daí serem levados a conceber a diferença de potencial como uma propriedade da corrente, relacionada com a «força» ou a «potência» desta; noutros casos, pura e simplesmente as não diferenciam.

Quando essas duas grandezas são encaradas como distintas, raramente os alunos adoptam, para caracterizar a relação entre elas, os pressupostos do referencial científico formal: diferença de potencial a causa que tem a corrente como efeito. Em vez disso, consideram a primeira uma consequência da segunda.

Por outro lado, frequentemente se atribui à diferença de potencial um carácter pontual: associa-se essa grandeza a um ponto singular do circuito em vez de a associar às proprie-

dades eléctricas de um par ordenado de pontos desse mesmo circuito.

3.6. Alguns bloqueamentos sócio-afectivos

A electricidade desempenha, no mundo de hoje, um papel insubstituível. É por isso que, desde muito cedo, a criança é levada a incorporar aquele termo ou outros afins no seu código de linguagem. Mas, desde logo, também ela começa a ser alertada para os perigos da electricidade e é reprimida no que diz respeito à manipulação dos dispositivos eléctricos que tem em casa. Este comportamento do meio sócio-familiar acaba por induzir na criança «medos» e «fantasmas» associados a este fenómeno físico. Ela habitua-se, nomeadamente, a identificar electricidade com «choques» e a considerá-la algo de misterioso.

Esta situação tem, muitas vezes, reflexos na idade adulta. Na verdade, muitos adultos, mesmo os que estudaram electricidade na escola, relacionam, com frequência, electricidade com choque, independentemente da situação em causa, ou seja, independentemente da diferença de potencial envolvida.

As consequências pedagógicas do «medo» assim criado são imediatas: o medo afecta a aprendizagem na medida em que bloqueia, totalmente ou em parte, os mecanismos da motivação para aprender. Não é, talvez, por acaso que as raparigas revelam, em geral, menor entusiasmo para o estudo da electricidade, relativamente ao que se passa com os rapazes. Entre outras razões, há que pensar que, lá em casa, é o pai e não a mãe quem, com mais frequência, resolve os *problemas eléctricos* domésticos.

O meio familiar, como o comprovam os estudos de OLDHAM (1986) em Inglaterra, procede por forma a que os rapazes comecem mais cedo do que as raparigas a afastar os «fantasmas» que, de algum modo, lhes foram inculcados.

Em geral, esses «medos» e «fantasmas» decrescem com a idade como consequência do desenvolvimento do aluno, da acção da escola e da descompressão sócio-afectiva que se vai

verificando à medida que o mesmo aluno vai tendo permissão progressiva de manipular os aparelhos eléctricos existentes em casa ou na escola.

4. Referencial didáctico básico para o estudo dos circuitos elementares de corrente contínua

A eficácia do ensino formal de electricidade será muito reduzida *se não se tiverem em conta os modelos conceptuais alternativos previamente assimilados pelos alunos* (HARTEL, 1982). O não cumprimento desta condição pode levar os alunos a adoptarem duas concepções distintas: uma aplicável à vida quotidiana e outra aplicável à sala de aula.

Para reduzir a probabilidade de uma tal situação ocorrer, o professor deverá:

- Ter ideias claras e seguras relativamente não só à ciência que pretende ensinar («ciência dos cientistas») mas também à «ciência dos alunos».
- Ter consciência de que não é tarefa fácil levar os alunos a abdicarem da «sua ciência» em favor da «ciência dos cientistas».
- Desenvolver estratégias que os incentivem a exteriorizar as suas próprias ideias acerca dos fenómenos em estudo.
- Discutir com eles essas concepções, levando-os a formular previsões com base nelas.
- Incutir-lhes a necessidade de testar experimentalmente essas previsões.
- Explorar devidamente os conflitos cognitivos resultantes do confronto dos modelos dos alunos com a prova experimental, fazendo sentir a necessidade de adoptar um modelo explicativo que seja mais eficaz.
- «Gastar» algum tempo na consolidação dos conceitos básicos, criando, assim, condições para que a desejada mudança conceptual se possa realmente processar.

4.1. Superação do modelo sequenciado de circuito eléctrico

A estratégia mais vulgarizada para a abordagem dos circuitos eléctricos elementares é a que vai apresentando os conceitos um a um

(estratégia linear) para culminar, por fim, no estudo de circuitos completos. Esta estratégia tem, entre outros, o inconveniente de poder contribuir para reforçar nos alunos perspectivas favoráveis ao desenvolvimento do *modelo sequenciado*.

Julga-se, assim, que qualquer estudo elementar de electricidade deve contemplar, logo de início, a análise de circuitos completos. Essa análise terá de ser desenvolvida por forma a que esteja sempre presente a ideia de que o circuito eléctrico é um sistema físico constituído por sub-sistemas que, apesar de desempenharem funções diferenciadas, se interinfluenciam constantemente.

4.2. Diferenciação entre energia eléctrica e corrente eléctrica

É provável que, ao iniciar o estudo da electricidade, o aluno já conheça as designações «corrente eléctrica» e «energia eléctrica». É menos provável, contudo, que lhes atribua significados completamente distintos. Desse modo, é legítimo colocar a seguinte questão, cuja pertinência nos parece inquestionável: *Qual desses dois conceitos deve ser desenvolvido em primeiro lugar?*

Se se adoptar a «regra de ouro» que consiste em partir do ponto em que o aluno se encontra para o conduzir à meta que para ele se definiu, ter-se-á necessariamente de concluir que a resposta à questão anterior aponta no sentido de ser dada prioridade ao conceito de energia eléctrica. Na verdade, como já se frisou, os alunos partem de uma ideia (ainda que vaga e difusa) de algo que se «consome» e que, por se «consumir», faz acender lâmpadas, mover motores, etc. É óbvio que essa ideia tem muito mais a ver com a noção de energia eléctrica do que com a de corrente.

Identificado o ponto de partida, cabe agora ao professor pôr em prática estratégias que ajudem o aluno a atingir a meta, ou seja, que o auxiliem a estabelecer a ponte entre a «ideia vaga e difusa» que possui e a concepção científica formal de energia eléctrica.

Aquelas estratégias deverão ser implementadas com base na montagem de circuitos eléctricos apropriados, nos quais os alunos facilmente possam identificar as fontes e os «consumidores» de energia existentes, as transformações e as transferências de energia ocorridas.

Convém levantar questões relacionadas com a produção e o transporte de energia eléctrica, inculcando nos alunos a ideia de que é possível haver transporte e «consumo» de energia sem, todavia, haver «consumo» de matéria.

É possível, nesta altura, começar a desenvolver a noção formal de corrente eléctrica, tendo o cuidado de reforçar o papel que ela desempenha no transporte da energia ao longo do circuito. Para relevar a enorme diferença que existe entre os valores das velocidades de propagação da energia e da corrente, sugere-se a seguinte analogia: numa colisão de automóveis em cadeia, a propagação dos choques sucessivos faz-se muito mais rapidamente do que se «movem» os automóveis envolvidos.

É necessário estar preparado para fornecer argumentos convincentes a objecções que os alunos possam levantar do tipo das que a seguir se exemplificam (SHIPSTONE, 1985):

«Não percebo como é que a lâmpada poderia brilhar se não consumisse nada!»

«Mas se é assim, se diz que a corrente se conserva, como é que explica, então, que a bateria se gaste ao fim de certo tempo?!»

4.3. Clarificação do papel do gerador no circuito

A função do gerador suscita, por vezes, dúvidas como as seguintes (SHIPSTONE, 1985):

«Como é que o gerador sabe que se ligou ou desligou o interruptor?»

«Como é que a bateria decide qual a intensidade de corrente que deve lançar no circuito?»

A pertinência destas questões é inegável. Elas servem para alertar o professor para os cuidados que deve ter na explicação do papel desempenhado pelo gerador. Como se infere, esse papel não é facilmente compreendido.

Para além disso, há que ter sempre em conta que o gerador é encarado por muitos alunos como um *reservatório de corrente*. Neste sentido, o professor terá de conceber situações de conflito que levem, por um lado, o aluno a manifestar qual o modelo de gerador que perfilha e, por outro, o ajudem a alterar (se for esse o caso) esse modelo.

4.4. Distinção entre a causa e o efeito: a corrente como possível consequência da diferença de potencial

Pode afirmar-se que está por encontrar a melhor estratégia para introduzir e desenvolver a noção de diferença de potencial, concebendo-a como um conceito primário. A estratégia ideal seria aquela que conseguisse levar o aluno a:

- diferenciar claramente os conceitos de diferença de potencial e corrente, por um lado, e diferença de potencial e energia eléctrica, por outro;
- perceber que a diferença de potencial é a causa que tem a corrente como possível efeito;
- compreender que a diferença de potencial não é uma grandeza pontual mas bipontual;
- perceber que, ao contrário do que acontece com a corrente, a diferença de potencial não flui pelo circuito.

Ao aplicar essa estratégia, o professor deverá utilizar uma linguagem que deixe bem vincada a ideia de que a diferença de potencial é a causa da corrente e não o seu efeito. Infelizmente, as fontes onde o professor vai colher a informação de que necessita nem sempre o ajudam a cumprir, com sucesso, aquela tarefa. Na verdade, uma grande parte dessas fontes (programas, documentos de apoio oficiais e manuais didácticos) utiliza expressões que, por considerarem a diferença de potencial uma variável dependente (um efeito), acabam por confundir o professor e, por arrastamento, os alunos.

Ao longo do trabalho, tem-se utilizado sempre a designação «diferença de potencial» em vez de outras designações que habitualmente se associam a esta grandeza, como é o caso do termo «tensão». Esta opção tem, a nosso ver,

a vantagem de destacar melhor o facto de que a diferença de potencial é uma grandeza bipontual, isto é, uma grandeza que está relacionada com as propriedades eléctricas de um par ordenado de pontos do circuito e não com as de um único ponto isolado.

4.5. A abordagem didáctica do conceito de resistência eléctrica

O conceito de resistência eléctrica tem uma dimensão intuitiva que os alunos apreendem com facilidade. Ele deve, por isso, começar a ser desenvolvido logo de início, utilizando um percurso didáctico que atinja o formal e abstracto a partir do intuitivo e concreto.

Procedendo assim, tem-se a garantia de que, ao invés do que vulgarmente sucede, a resistência não aparece aos olhos dos alunos como uma variável puramente matemática.

É necessário ter alguns cuidados no que diz respeito à introdução da definição matemática de resistência eléctrica. A experiência nos diz que muitos alunos não diferenciam a equação matemática que configura essa definição daquela que traduz quantitativamente a lei de Ohm aplicada a resistores puros.

A confusão assenta no facto de se considerarem equivalentes duas equações que apresentam domínios de validade profundamente distintos: a expressão geral de definição de resistência eléctrica, $R = V_{AB}/I$, é válida para todo e qualquer ponto de funcionamento, tratando-se, por isso, de uma *condição universal*; a expressão $V_{AB}/I = \text{constante}$ é válida apenas para condutores homogêneos, lineares e isotropos e a temperatura constante (constitui, dessa forma, uma *condição particular*). Ora, como é sabido, não existe equivalência lógica entre uma condição universal e uma condição particular.

4.6. Uma estratégia para o estabelecimento da lei de Ohm aplicada a resistores metálicos

A fim de se poder tirar partido do potencial formativo que a introdução da lei de Ohm pode constituir, sugere-se a seguinte *estratégia geral*:

A — *Percurso intuitivo/qualitativo*

Utilizando sempre circuitos completos e tendo em conta a perspectiva interactiva global de circuito, conduzir os alunos sucessivamente às seguintes ideias, abordadas a um nível qualitativo (ou semi-quantitativo):

A1 — A variação da diferença de potencial (d.d.p.) aplicada a um dado resistor metálico tem por efeito a variação da intensidade da corrente que o atravessa. Os sentidos de variação são iguais: quando a d.d.p. aumenta, a intensidade aumenta; quando a d.d.p. diminui, a intensidade também diminui.

A2 — Para um *mesmo* resistor metálico, quando a d.d.p. se mantém constante o mesmo acontece à intensidade da corrente que o percorre; no entanto, se se mantiver a d.d.p. mas se o resistor for aquecido, a intensidade da corrente decresce em geral (o resistor aquecido oferece, em geral, maior dificuldade à circulação da corrente).

A3 — Aplicando igual d.d.p. a resistores do mesmo metal e de igual espessura mas de *comprimentos diferentes*, eles serão percorridos por correntes de intensidade diferente: mais elevada para o de menor comprimento e mais reduzida para o de maior comprimento.

A4 — Aplicando igual d.d.p. a resistores do mesmo metal e de igual comprimento mas de *espessuras diferentes*, eles serão percorridos por correntes de intensidade diferente: mais elevada para o mais espesso e mais reduzida para o menos espesso.

A5 — Aplicando igual d.d.p. a resistores de igual comprimento e espessura mas de *metais diferentes*, eles serão, em geral, percorridos por correntes de intensidade diferente.

No final desta sequência didáctica, o aluno deve ficar consciente de que *a igual diferença de potencial não corresponde necessariamente igual valor da intensidade de corrente*. Esta grandeza, para além de ser decisivamente

influenciada pela d.d.p. é, ainda, influenciada por outros factores importantes: *temperatura, comprimento, espessura dos condutores e tipo de metal* de que são feitos.

Dado que se pretende estudar experimentalmente a relação quantitativa existente entre a diferença de potencial e a intensidade da corrente, vai haver, por isso, a necessidade de se proceder a um *controlo de variáveis*. O professor deve ter presente que se trata de uma operação cognitiva difícil para a maioria dos alunos — em condições normais, ela só alcança um desenvolvimento satisfatório quando o aluno atinge o estágio piagetiano do pensamento formal. Ciente disso, cabe ao professor ajudar o aluno a sentir a necessidade desse controlo e a ter a percepção de quais as variáveis a controlar.

B — *Percurso quantitativo*

B1 — Tendo em conta os passos anteriormente desenvolvidos, levar os alunos a admitirem como *hipótese* legítima e plausível a que aponta para a existência de *proporcionalidade directa* entre a d.d.p. aplicada aos extremos de um condutor metálico e a intensidade da corrente que, em consequência, o percorre.

B2 — Tendo essa hipótese como *guia de trabalho*, fazer sentir a necessidade de a testar experimentalmente, tendo em conta as considerações anteriormente discutidas, particularmente as que dizem respeito ao referido e imprescindível controlo de variáveis.

B3 — Concluir da validade da hipótese formulada, passando esta a assumir o estatuto de *lei*. Frisar que se trata de uma lei particular na medida em que foi obtida a partir de condições particulares (resistor metálico, homogéneo, a temperatura constante).

B4 — Enunciar a lei estabelecida e apresentar a equação matemática que a representa, escrevendo, junto a ela, as suas condições de validade.

B5 — Apresentar a equação geral de definição de resistência eléctrica; relacionar esta grandeza com a constante de proporcionalidade presente na equação matemática da lei de Ohm; distinguir inequivocamente os limites de validade dessas duas relações quantitativas.

B6 — Discutir com os alunos situações em que a lei de Ohm não seja aplicável; explicar-lhes que, apesar da intensidade da corrente não ser, agora, directamente proporcional à diferença de potencial aplicada, continua a ser possível calcular valores da resistência que o condutor não-ohmico em causa oferece à passagem da corrente; explicar que para condutores destes não tem, assim, cabimento a expressão «*resistência do condutor a uma dada temperatura*» (essa resistência depende agora da d.d.p. aplicada).

As *Linhas de Força* da estratégia anterior foram, em síntese, as seguintes:

- Chegar ao quantitativo a partir do intuitivo e passando pelo qualitativo.
- Fazer sentir, progressivamente, a necessidade de se proceder a um controlo das variáveis envolvidas no estudo.
- Desenvolver estratégias e realizar experiências tendo em vista um objectivo: testar uma hipótese previamente admitida como plausível. Evita-se, assim, «agir por agir».
- Distinguir claramente condições universais de condições particulares.
- Apresentar a relação de proporcionalidade directa como uma situação particular e excepcional. Recusa-se, assim, induzir os alunos no mito de que a natureza funciona na base de relações tão simples como são as de proporcionalidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLOSSET, J. L. — «Le raisonnement séquentiel en électrocinétique». *Thèse 3^e Cycle*. Paris, France (1983).
- COHEN, R. *et al.* — «Potential difference and current in simple electric circuits: a study of student's concepts». *American Journal of Physics*, Vol. 51, 407-412 (1983).
- DRIVER, R.; EASLEY, J. — «Pupils and paradigms: a review of the literature related to concept

development in adolescent science students». *Studies in Science Education*, Vol. 6, 61-84 (1978).

- DRIVER, R.; ERICKSON, G. — «Theories in action: some theoretical and empirical issues in the study of student's conceptual frameworks in science». *Studies in Science Education*, Vol. 10, 37-60 (1983).
- PUPIN, J. J.; JOSHUA, S. — «Conceptions of French pupils concerning electric circuits: structure and evolution». *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 24, N.º 9, 791-806 (1987).
- HARTEL, H. — «The electrical circuit as a system: a new approach». *European Journal of Science Education*, Vol. 4 N.º 1, 45-55 (1982).
- OLDHAM, V. *et al.* — «A study of pupil's views on the dangers of electricity». *European Journal of Science Education*, Vol. 8, N.º 2, 179-185 (1986).
- OSBORNE, R. J. — «Towards modifying children's ideas about electric current». *Research in Science and Technological Education*, Vol. 1, 73-82 (1983).
- PSILLOS, D.; KOUMARAS, P. — «Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching on DC circuits». *International Journal of Science Education*, Vol. 10, N.º 1, 29-43 (1988).
- SHIPSTONE, D. M. — «A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits». *European Journal of Science Education*, Vol. 6, N.º 2, 185-198 (1984).
- SHIPSTONE, D. M. — «Electricity in simple circuits». In R. DRIVER (Ed.), *Children's Ideas in Science*. Open University Press (1985).
- SOLOMON, J.; STUART, H. — «The pupil's view of electricity». *European Journal of Science Education*, Vol. 7, N.º 3, 281-297 (1985).
- TASKER, R.; OSBORNE, R. J. — «Science teaching and science learning». In R. DRIVER (Ed.), *Learning in Science: the Implications of Children's Science*. Auckland, Heinemann (1987).
- VIENNOT, L. — «Spontaneous learning in elementary dynamics». *European Journal of Science Education*, Vol. 1, N.º 2, 205-221 (1979).

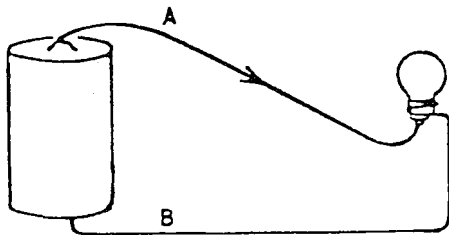
ANEXO

Apresentam-se alguns exemplos de situações problemáticas susceptíveis de auxiliar o professor na tarefa dupla de:

- diagnosticar quais as ideias que os alunos efectivamente possuem relativamente aos conceitos elementares de electricidade;
- provocar nos alunos o conflito cognitivo necessário à efectivação da mudança conceptual pretendida.

I. A multiplicidade de representações relacionadas com o circuito eléctrico

1. Considera o circuito representado na figura. Supõe que no fio A passa corrente e que ela circula no sentido indicado pela seta.



1.1. Assinala a opção que te parece melhor traduzir o que acontece em B.

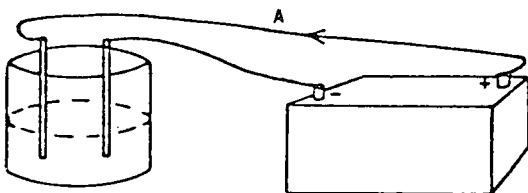
- a) Não existe corrente em B.
- b) Existe corrente em B mas é mais fraca do que em A.
- c) Existe corrente em B e tem intensidade igual à de A.
- d) Existe corrente em B mas é mais forte do que em A.

1.2. Assinala a opção que julgares apropriada relativamente ao sentido da corrente que (eventualmente) passa em B.

- a) A corrente em B circula no sentido da pilha para a lâmpada.
- b) A corrente em B circula no sentido da lâmpada para a pilha.
- c) Não existe corrente em B.

(TASKER e OSBORNE, 1987)

2. No circuito a seguir representado existem duas barras metálicas mergulhadas num líquido e ligadas a uma bateria. No fio A passa corrente no sentido indicado pela seta.



Assinala a resposta que julgares adequada para a questão: *Haverá corrente no líquido?*

- a) Depende de que líquido se tratar.
- b) Tem de haver, forçosamente, corrente no líquido.
- c) Não há corrente através do líquido.

(TASKER e OSBORNE, 1987)

II. A confusão entre corrente eléctrica e energia eléctrica

Considera o circuito esquematizado na figura, em que se supõe que a lâmpada incluída está a brilhar. Discute, agora, a validade das seguintes frases:

- a) A lâmpada consome parte da energia eléctrica transportada pela corrente.
- b) A lâmpada consome parte da corrente eléctrica que nela entra.

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

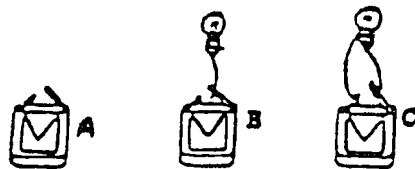


III. «A diferença de potencial como consequência da corrente»

1. A bateria de um automóvel foi recentemente carregada mas ainda não está colocada no lugar a que se destina. Encontra-se na garagem, fora de qualquer circuito. *Haverá corrente nessa bateria?*

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

2. Observa as figuras A, B e C.



Assinala agora a opção ou opções que julgares adequada(s) a cada um das seguintes situações:

- a) A lâmpada brilha na(s) figura(s)

A	C	B
.....

- b) Existe corrente em ...

A	C	B
.....

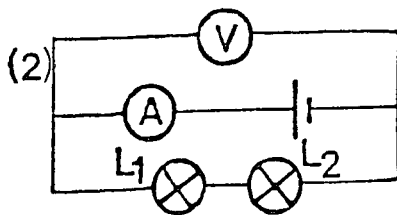
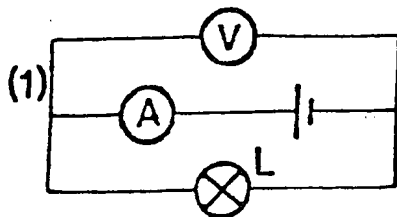
- c) Existe d.d.p. em ...

A	C	B
.....

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

IV. O gerador como «reservatório de corrente»

1. Observa com atenção os circuitos representados nas figuras (1) e (2). Supõe-se que as características dos componentes neles inseridos são idênticas, para cada tipo de componente.

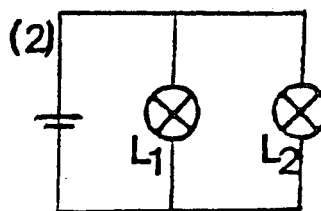
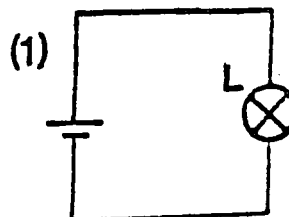


Indica a tua opinião acerca da validade das seguintes afirmações:

- O voltímetro marca um valor mais elevado em (1) do que em (2).
- A lâmpada L_2 brilha menos do que L_1 .
- A lâmpada L brilha mais do que L_1 ou L_2 .
- A intensidade da corrente é mais elevada em (1) do que em (2).

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

2. Observa, desta vez, os circuitos representados nas figuras (1) e (2) desta pergunta. Supõe-se, igualmente, que as características dos componentes neles inseridos são idênticas, para cada tipo de componente.



Indica, de novo, a tua opinião acerca da validade das seguintes afirmações:

- As diferenças de potencial entre os terminais de L_1 e L_2 são iguais.
- As diferenças de potencial entre os terminais de L_1 e L_2 têm, qualquer delas, valor inferior à diferença de potencial correspondente a L .
- As lâmpadas L_1 e L_2 brilham menos do que a lâmpada L .

(DUPIN e JOSHUA, 1987)

Concurso de Actividades Experimentais para o Ensino da Física

A Delegação Regional de Lisboa da Sociedade Portuguesa de Física decidiu reabrir o concurso de «Actividades Experimentais Inovadoras para o Ensino da Física», destinado a professores de Física do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário.

O regulamento encontra-se ao dispor dos interessados na sede da DRL da SPF (ver pág. 118 do presente número da Gazeta).

Data limite de entrega dos trabalhos:

29 de Maio de 1992.

O ciclo de histerese magnética no núcleo de um transformador ⁽¹⁾

J. P. MARQUES e V. A. ESTEVES

Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
Rua Ernesto de Vasconcelos, Ed. C1, 4.º Piso, 1700 Lisboa

Analisa-se um método relativamente simples que permite obter no osciloscópio a imagem do ciclo de histerese magnética do material que constitui o núcleo de um transformador. A partir da curva de histerese obtida, calcula-se o campo coercivo do material, a sua indução remanescente, a magnetização de saturação, a permeabilidade relativa e a potência dissipada durante um ciclo completo.

1. Introdução

Este trabalho pretende analisar o fenómeno da histerese magnética, através do estudo da indução magnética \mathbf{B} criada num sistema constituído por um transformador usual de dois enrolamentos e um núcleo ferromagnético, laminado, tomado como uma aproximação ao toróide. O fenómeno da magnetização de um meio ferromagnético reside na criação adicional de um campo de magnetização \mathbf{M} , sob a acção de um campo excitador \mathbf{H} . Para interpretar as leis da magnetostática devidas à presença do meio, é necessário recorrer à hipótese de Ampère [2, 3], que atribui aos domínios ferromagnéticos locais propriedades magnéticas idênticas às das correntes reais devidas aos electrões.

Neste caso, supondo que se trata de um meio magnético homogéneo, linear e isotrópico, a indução magnética \mathbf{B} deve escrever-se: $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$; onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vazio, \mathbf{H} a intensidade do campo magnético e \mathbf{M} a magnetização. Para os meios lineares $\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H}$, sendo a constante de proporcionalidade χ_m designada por susceptibilidade magnética. Para estes materiais, $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$; sendo $\mu = \mu_0 \mu_r$ com $\mu_r = (1 + \chi_m)$. Nos materiais ferromagnéticos, a relação entre \mathbf{B} e \mathbf{H} não é linear, deixando

de ser válidas as relações que acabámos de mencionar (Fig. 1).

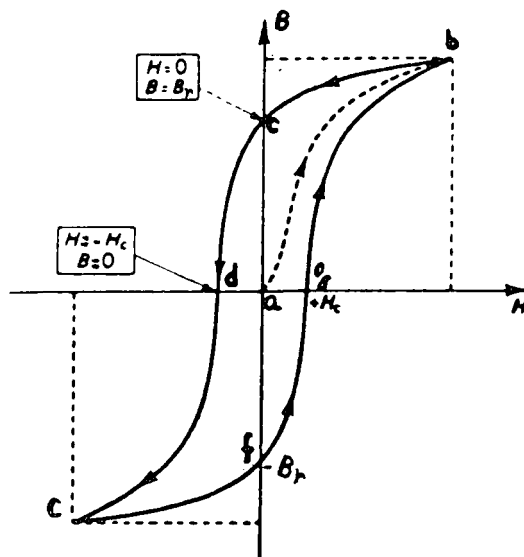


Fig. 1 — Curva típica de histerese magnética B-H.

⁽¹⁾ Trabalho de índole experimental, apresentado ao Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, como parte das provas académicas prestadas por J. P. Marques [1]. Esta experiência foi concebida para os cursos gerais de electromagnetismo do Departamento, e em particular para Fundamentos de Física II dos cursos de Química e Bioquímica, podendo igualmente servir de experiência de demonstração ao nível do Ensino Secundário.

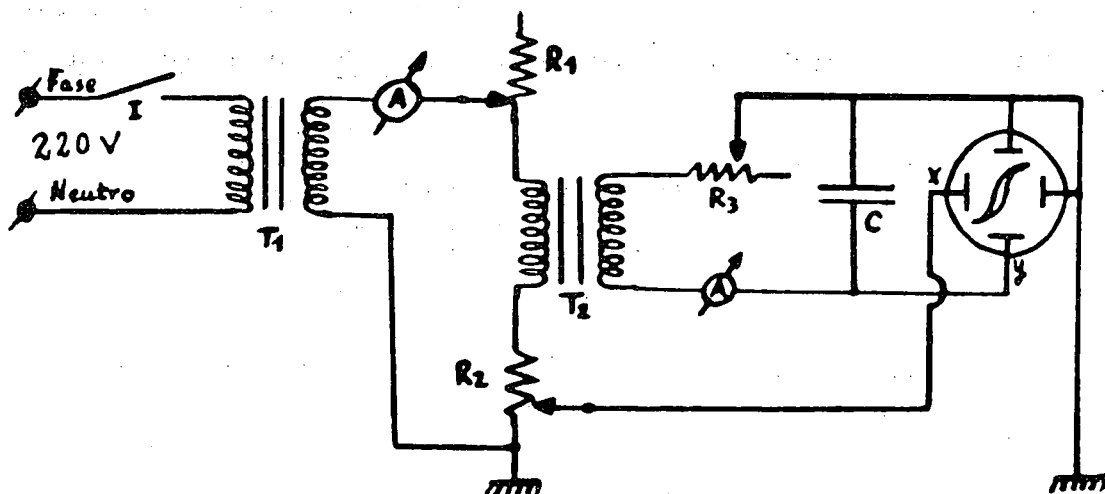


Fig. 2 — Diagrama do circuito eléctrico do dispositivo experimental para o traçado da curva B-H.

O método experimental utilizado para medir **B** em função de **H**, com base na obtenção da curva de histerese do núcleo do transformador encontra-se esquematizado na Fig. 2.

A corrente alternada do primário $I_p(t)$ induz uma tensão alternada $V_s(t)$ no secundário. Esta tensão é proporcional à taxa de variação temporal do fluxo ϕ : $V_s(t) \propto (d\phi/dt)$, e portanto proporcional a dB/dt . Como se pretende introduzir nas placas de deflexão vertical do osciloscópio uma tensão $V_c(t)$ proporcional à indução magnética **B**, torna-se assim necessário introduzir no secundário um circuito integrador RC [2, 4]. Por aplicação da lei de Kirchoff em regime sinusoidal ao circuito do secundário do transformador, pode demonstrar-se que, para valores do período $T \ll R_s C$, se tem:

$$B(t) = - \left(\frac{R_s C}{N_s S} \right) \cdot V_c(t). \quad (1)$$

fixando adequadamente os parâmetros experimentais ω , R_s e C , em que ω é a frequência da tensão aplicada ao circuito, R_s a resistência do circuito secundário e C a capacidade do condensador.

Por outro lado, o campo **H** é proporcional à corrente I_p e, por uma questão de simplicidade, pode calcular-se aproximadamente usando o modelo do toróide: $H = NI/l$ onde N é o número de espiras dos enrola-

mentos em causa e l o «perímetro médio», medido ao longo da secção recta do núcleo.

Podem ainda calcular-se a energia dissipada num ciclo de histerese [2]. Quando a corrente $I_p(t)$ cresce, o fluxo no núcleo aumenta e a f.e.m. induzida no enrolamento do secundário, $-N_p d\phi/dt$, origina uma corrente cujo sentido é tal que tende a opor-se a este aumento, de acordo com a lei de Lenz. Esta situação corresponde ao troço g-b da Fig. 1. Quando a corrente varia de $I_{max} \rightarrow 0$, a indução passa de B_{max} ao valor remanescente B_r , e a energia restituída pela bobina ao circuito corresponde ao troço b-c da curva (Fig. 1). A energia fornecida pela fonte durante um ciclo completo efgbcde é dada por:

$$W = V \oint H \cdot dB \quad (2)$$

que corresponde à área encerrada pelo ciclo de histerese, multiplicada pelo volume V correspondente ao núcleo do transformador. **B** e **H** surgem como parâmetros conjugados.

A permeabilidade relativa μ_r em qualquer ponto da curva de magnetização é dada por:

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = 7,9 \times 10^5 \frac{B}{H} \quad (3)$$

onde **B** representa a ordenada do ponto (em Tesla) e **H** a sua abcissa (em $A m^{-1}$).

O fenómeno da histerese torna o estudo da magnetização difícil na medida em que esta propriedade depende da história magnética do material. Este problema pode contornar-se por aplicação de um campo excitador H , variável no tempo, e oscilando entre dois valores extremos: $\pm H_{max}$. A curva $B-H$, é então fechada, simétrica em relação à origem e designa-se tradicionalmente por *ciclo de histerese*.

Quando se obriga o material a descrever sucessivos ciclos, a potência total dissipada por este efeito é dada por:

$$P_t = f W = f V \oint H \cdot dB \quad (4)$$

em que f representa a frequência cíclica e W a área encerrada pela curva de histerese. Para o cálculo desta área pode recorrer-se ao método simples da determinação directa desta, ou procedendo a um ajuste da curva de histerese por via computacional. De referir, que aqui se ignoram correntes de Foucault.

2. Resultados experimentais

Na Fig. 3 pode observar-se a histerese obtida, depois de devidamente calibrada de

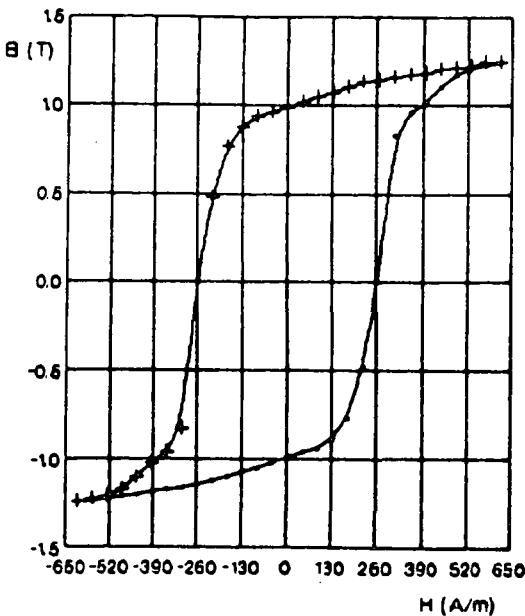


Fig. 3

acordo com as expressões anteriormente referidas.

A partir da curva calibrada, obtém-se que o campo coercivo $H_c = H(B=0) \approx 270 \text{ A.m}^{-1}$, a indução remanescente $B_r = B(H=0) \approx 1 \text{ T}$ e a indução de saturação $B_{sat} \approx 1,24 \text{ T}$. Como $B_{sat} = \mu_0 (H + M_{sat})$, vem que:

$$M_{sat} = \frac{B_{sat}}{\mu_0} - H \approx \frac{B_{sat}}{\mu_0} \approx 10^6 \text{ A.m}^{-1},$$

onde se conclui que o campo H contribui muito pouco para a magnetização, sendo no entanto muito eficaz a alinhar os domínios ferromagnéticos.

Usando a relação (3) obtém-se a variação de μ_r em função de H (Fig. 4). No gráfico, vê-se claramente que a permeabilidade relativa tem um comportamento altamente não-linear. Para $H = 0$ torna-se evidente que μ_r se torna infinita. Por outro lado, para $B = 0$, $\mu_r = 0$. Em tais condições, μ_r deixa de ter interesse prático. Sendo assim, o uso da permeabilidade relativa deve limitar-se a situações de interesse prático, por exemplo, no estudo da curva de primeira magnetização (não observável na nossa curva).

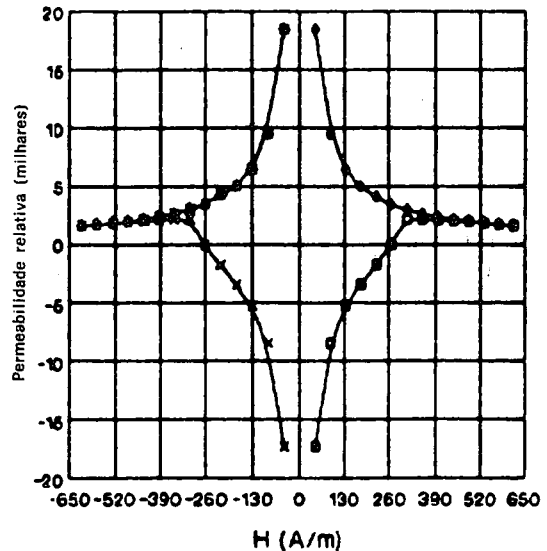


Fig. 4

A histerese observada encerra uma área de $\sim 1100 \text{ J.m}^{-3}$, que corresponde ao integral

$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{B}$. Como no nosso caso, $V = 770 \text{ cm}^3$, obtém-se que $W = V \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{B} = 0,8 \text{ J}$. Como o núcleo se magnetiza e desmagnetiza 50 vezes por segundo ($f = 50 \text{ Hz}$), a potência perdida por histerese é dada por

$$P = fW = 0,8 \times 50 W \approx 40 W.$$

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Prof. Doutor Noémio Marques toda a ajuda prestada.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. P. MARQUES — O magnetismo na matéria. Observação do ciclo de histerese no núcleo de um transformador (Relatório de aula teórico-prática realizada no âmbito das «Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica», na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Dep. Física, Abril 1990).
- [2] M. A. PLOMUS — Applied Electromagnetics, McGraw-Hill, Int. Stud. Ed., 1984.
- [3] A. F. KIPP — Electricity and Magnetism, McGraw-Hill, Int. Stud. Ed., 1969.
- [4] P. HOROWITZ, W. HILL — The art of electronics, Cambridge University Press, 1980.

Educação Científica e Educação Tecnológica (*) (**)

(Autonomia e interdisciplinaridade)

JOÃO BAPTISTA

Departamento de Física da Universidade do Minho

Cultura Tecnológica, conceito-chave

O título do artigo de Anabela Martins, «Inovações na Educação Científica e Tecnológica» parece-nos alimentar um equívoco dado sugerir uma identidade metodológica entre as duas educações, científica e tecnológica, embora seja dito depois (p. 19) que o ensino da tecnologia necessita de ser feito numa disciplina independente. Refere-se (p. 15) que «pelo facto de a tecnologia estar ligada àqueles que produzem trabalho manual, enquanto que a educação é controlada por aqueles que não o fazem, tende-se a dar à tecnologia um estatuto menor do que o da Ciência». A referência especial àquela ligação, sugere que ela é directa, como o era geralmente há três séculos. Ora entre Tecnologia e «mãos ao trabalho» há um mundo de teorização e experimentação técnica, cuja exigência e riqueza escapa, agora sim, à atenção dos planeadores educacionais. Veremos depois que tal não se deve especialmente a preconceitos.

Ao afirmar (início da p. 16) que é possível «fazer coisas» sem ser necessário «explicá-las», a Autora pensará na explicação científica, isto é, no princípio de funcionamento das coisas; há, no entanto, outras explicações (técnicas ou tecnológicas) a dar que contribuem tão essencialmente para a compreensão, como a parte «científica» e que são indispensáveis, de resto, a uma manipulação segura e bem sucedida.

Seguidamente (p. 16) afirma-se que as áreas educacionais, científica e tecnológica são facetas uma da outra. A Autora vê como razão única da delimitação clara entre Edu-

(*) Partes deste artigo contêm comentários ou referências ao artigo «Inovações na Educação Científica e Tecnológica — Parte I», de Anabela Martins, publicada na Gazeta de Física, vol. 14, pág. 14 (1991); Vide a secção «Cartas dos Leitores», neste número da Gazeta de Física.

(**) Chama-se a atenção para a parte II do artigo de Anabela Martins, Gaz. Física, vol. 14, pág. 46 (1991), contendo explicações e complementos importantes no contexto de algumas questões levantadas no presente artigo.

cação Científica e Educação Tecnológica «o incessante desenvolvimento quer de uma quer de outra área...». De facto a distinção disciplinar não toma a sua razão de ser da diversidade dos conteúdos que, por comodidade de gestão curricular, se arrumariam em sacos distintos. Os corpos conceptuais é que conferem naturalidade à separação das duas disciplinas dado que cada um vai determinar uma metodologia própria, meios especiais e professores com treino específico adequado.

A Autora chama a atenção para a necessidade de apreender a «complexidade do conceito de Tecnologia» (p. 16). Na tentativa de obter uma definição satisfatória de Tecnologia que apoie convenientemente um modelo curricular, listam-se (p. 17) algumas propostas de definição, indiferentemente de Tecnologia e de Educação Tecnológica. Finalmente, cita-se adequadamente Harrison, autor de referência obrigatória em Educação Tecnológica, para esboçar um modelo curricular de cujo carácter holístico a obrigação é correcta e insistentemente apontada, mas que não está evidente na proposta de modelo descrita no artigo.

De facto, é inútil querer, a partir de uma definição de Tecnologia, apreender a «complexidade do conceito de Tecnologia». Uma definição apenas estabelece um critério de pertença. O contexto interno está dependente não de um só conceito, por muito elaborado que seja, mas de um conjunto estruturado de conceitos. Este conjunto constitui, no nosso caso, a Ciência Tecnológica. Exige consideração detalhada, e possui um sub-sistema designado por Cultura Tecnológica, que assegura as ligações com outros ramos do saber. É de uma síntese rigorosa, hábil e feliz da Cultura Tecnológica que há-de resultar um currículo coerente e adequado para a Educação Tecnológica.

As observações que gostaria de deixar, têm como inspiração comum essa entidade, que a Autora não refere no seu texto e que é essencial para se abordar a Educação Tecnológica. Trata-se da Cultura Tecnológica. Sem Cultura não pode haver Educação. De facto, esta consiste em transmitirem-se, adaptadamente,

conceitos (ensino) e proporcionar a sua operacionalização (aprendizagem), sendo que chamamos Cultura precisamente a um acervo de conceitos (cada um dos quais centra uma colecção de atributos) de âmbito tão geral e permanente que cada geração acha que vale a pena chamar para eles a atenção da «geração seguinte».

Se não abrimos, no grande arquivo do Conhecimento, uma pasta titulada muito especificamente de Cultura Tecnológica, a Educação Tecnológica que vamos oferecer será uma amálgama de conteúdos emprestados, geradora de desorientação nos docentes, de desmotivação nos alunos e de descrédito na comunidade pedagógica e nacional.

São os conceitos próprios da Cultura Tecnológica que garantem o carácter holístico de um currículo. A ausência dos mesmos leva a que, como no artigo em análise, se passe de um modelo «excessivamente» geral, que não é específico da Educação Tecnológica (fig. 1, p. 18) para uma indicação simplesmente extensiva (fig. 3 e 4) de conteúdos, a qual já não é modelo... Desamparados de Cultura Tecnológica somos obrigados a «escolhas mais ou menos arbitrárias de contextos (de aprendizagem)» como sugere Harrison que se faça (p. 20).

Técnica(s), Tecnologia, Cultura Tecnológica, Educação Tecnológica, são entidades relacionadas mas inconfundíveis. Parafraçando um título de Harrison, «in place of Confusion» diríamos que a omissão de um termo do quarteto, pode levar à confusão dos restantes três.

No artigo em análise, é feito um esforço para encontrar uma definição satisfatória de Tecnologia. Todas as tentativas pecam por sobrepor à ideia essencial uma intenção e resumem-se mais ou menos na afirmação de que a Tecnologia consiste na racionalização do processo humano que consiste em, a partir de conhecimentos (existentes ou a desenvolver ad hoc) dos recursos humanos e disponibilidades materiais de mobilização possível — e levando em conta as limitações daqueles e os constrangimentos do meio nos seus aspectos ecológicos legais políticos — resolver problemas

ou alterar situações, tendo em vista a melhor adequação da realidade, geral ou local, aos interesses e à sobrevivência do Homem, como indivíduo e como espécie.

A definição que acabamos de enunciar, apesar de extensa e relativamente clara (...), é trivial e deixa de lado processos que não obstante oporem interesse individual ou particular e interesse colectivo ou geral (guerra, crime), ou serem indiferentes do ponto de vista moral (jogo) não são menos técnicos. Fecha a porta à inclusão de processos animais (construção de barragens por castores, formigueiros, etc.) que, do ponto de vista da investigação poderão vantajosamente ser assimilados a procedimentos de vocação técnica. Peca, principalmente, por não distinguir entre Técnica(s) e Tecnologia.

Uma definição mais abrangente, simples e precisa é:

Tecnologia é a Ciência da(s) Técnica(s), sendo que, é técnica toda a organização especial de meios e procedimentos particulares com uma finalidade específica.

O confronto entre a intencionalidade do processo (elemento de ordem) e a indiferença do contexto (elemento de caos) dá à técnica o seu carácter dramático sobre o qual uma excessiva teorização parece descabida. Apenas quando o contexto se artificializa, isto é, passa a resultar, ele próprio, de um processo intencional e técnico (nas sociedades que se constituíram como civilizações industriais) é que começam a aparecer as regularidades e a Tecnologia vê chegar a sua oportunidade...

Só há lugar para a Ciência da Técnica quando os processos técnicos se diversificam não apenas em função da sua intencionalidade mas dos meios que utilizam. A utilização de meios diferentes para o mesmo resultado, apenas se compreende, não sendo o uso dos meios arbitrário mas económico, pelo devir histórico (novos materiais, novas fontes de energia, novos meios de controlo, invenção, alteração quantitativa das solicitações de mercado), e pelo estado presente do sistema industrial, suposto que este é analisável.

Perante aquele devir histórico há duas atitudes. A do técnico, que toma as coisas como as encontra e que as larga quando realizou a especificidade factual que o movia:

«De toutes les activités humaines, la technique est la seule qui ne revienne jamais à son point de départ: on repense Platon à chaque génération, on ne repense pas les techniques, on les apprend... Chacun les prend au point où elles sont et elles courent devant jusqu'à la génération suivante.» (Leroi-Gourhan, citado por Lucien Géminard, no prefácio de Tecnologia e Genética do Objecto Industrial de Yves Deforge).

O outro ponto de vista, reflexivo, analítico, conceptual, aspirando à clareza e rigor de relações simples e definitivas, mas gerais, a que quer chamar Leis Científicas, é o do Tecnólogo. Para isso inventa conceitos. Estes são testados de dois pontos de vista, o da generalidade (mais ou menos abrangente) e o da operacionalidade (facilidade em relacioná-los com outros conceitos).

Tal como nas outras ciências, poderemos distinguir entre uma Tecnologia Geral e uma Tecnologia Descritiva, interactivas e complementares.

Uma Ciência é «um organismo vivo» constituído, em parte, por aquisições teóricas e métodos de observação seguros e, outra parte, por hipóteses de trabalho a testar e a discutir. Esta parte interessa apenas aos especialistas. A parte adquirida pode interessar a todos e incorporar-se na Cultura. A condição que permite a incorporação de elementos seguros de uma Ciência, em particular da Tecnologia, na Cultura é que estes sejam relevantes para a inteligibilidade de outras ciências, ou que aos seus métodos (modos de pensar e de agir) seja reconhecida eficácia para a «vida». Chamamos a esta parte da Tecnologia Cultura Tecnológica.

A Educação Tecnológica terá que ser definida em função da Cultura Tecnológica, tendo esta sido definida lá, em função da Tecnologia. Quais são os conceitos (e as experiências mais significativas relativas a esses conceitos e à vivência actual dos alunos) que sendo geralmente aceites pelos especialistas e portanto

seguros, constituem ferramentas gerais para a compreensão e acção, no mundo actual?

Assim, somos levados a definir Educação Tecnológica como o Ensino-Aprendizagem da Tecnologia, do ponto de vista cultural. São exemplos de elementos conceptuais da Cultura Tecnológica:

— Objecto técnico. Do ponto de vista da produção (objecto vs. outros objectos), do ponto de vista do consumo da utilidade e do consumo da significação (objecto vs. sistemas humanos, sejam biológicos, psicológicos ou culturais), do ponto de vista da utilização (objecto vs. meio físico mais ou menos estruturado).

— Distinção entre ferramenta, utensílio, dispositivo, máquina, sistema.

— Distinção entre Obra (artesanal) e Produto (industrial).

Função técnica; a partir do uso do objecto e do préstimo dos seus componentes exteriores.

Princípio de funcionamento; a partir da sequência de fenómenos científicos protagonizados pelos componentes do objecto.

Estirpe técnica — conjunto de objectos com o mesmo princípio de funcionamento e com a mesma função. Conceito que abre para a análise histórica e psicológica.

Como vemos, a componente de Educação Científica da Educação Tecnológica, embora de transcendente importância está bem localizada fazendo pouco sentido referir-se uma eventual Educação Científica e Tecnológica, senão como recusa da Cultura Tecnológica e redução da Educação Tecnológica a Trabalhos Manuais de inspiração científica, tomando-a, por exemplo, como parque de diversões da Física...

Envolvimento da Educação Tecnológica no currículo interdisciplinar ou transdisciplinar

Vai então ser a Educação Tecnológica mais uma disciplina académica do já pesado currículo do Ensino Básico? Se não, que esperança nova traz? Respondemos que, em

termos de metodologia não traz nenhuma esperança que as outras disciplinas não pudessem ter já concretizado. Por outro lado, a Educação Tecnologia, está neste momento a passar por graves vicissitudes em países onde foi implementada recentemente. Queremos dizer que a Educação Tecnológica é, à partida, uma disciplina como outra qualquer.

A Cultura Tecnológica, tal como a Cultura Científica, é de reconhecimento recente. O facto de as Ciências Físicas continuarem, em muitas situações, a ser ensinadas de forma «árida» deve-se a que são ensinadas do ponto de vista do cientista (o professor) e não segundo os interesses do cidadão (o aluno). Isto acontece porque o cientista pedagogo não tomou consciência da transcendência cultural da sua disciplina e não estabeleceu as pontes que a integram num corpo mais vasto de conhecimentos e acontecimentos. A reivindicação da interdisciplinaridade é uma reivindicação cultural, oportuna sob o ponto de vista do sistema de educação geral, mas cuja urgência actual se deve a que, mesmo do ponto de vista utilitarista a interdisciplinaridade se tornou necessária: as ciências começam a sobrepor-se muito para dentro das suas fronteiras metodológicas habituais. Daí que são os cientistas no activo a dar o exemplo interdisciplinar enquanto os cientistas de segunda mão, empregados no sistema educativo, e com uma experiência que ultrapassa pouco os muros da Escola, ao quererem assumir uma certa imagem do passado da Ciência (disciplina vs. rigorismo vs. compartimentação), acabam por recusar ou ignorar aquele dado intemporal da Educação.

Como reconhece Anabela Martins, no seu artigo (p. 19) é num quadro de participação interdisciplinar que a Educação Tecnológica adquire a sua tremenda transcendência. Disse-mos atrás que experiências significativas são o elemento pedagógico que permite a aprendizagem dos conceitos. Estes são inabordáveis pelos alunos, directamente a partir dos seus atributos. Dizer a uma criança pequena que um livro (conceito) é um maço de folhas, cozidas entre si, dotado de capas protectoras (três atributos), é partir do princípio de que,

na criança, aqueles atributos já se terão previamente constituído em conceitos operativos (pensamento abstracto) capazes de se acomodarem reciprocamente no conceito de ordem superior — livro. Ora para a criança há um dado maço (de cartas?), uma dada costura (na roupa?) uma dada capa (do espadachim?). O pensamento concreto exige as coisas. Para ele os conceitos necessitam de ilustração. O tal livro começa por ser uma imagem e, apenas mais tarde, uma construção.

Daí que os referidos «princípios de funcionamento» do objecto técnico sejam adequadas ilustrações de fenómenos científicos, motivadoras e instrutivas (para que serve a Física?). Portanto um dado aspecto da Cultura Tecnológica é abordado tradicionalmente em Ciências Físicas. Actualmente os professores destas disciplinas são incentivados a «explorarem as aplicações da Ciência». É um primeiro passo para a interdisciplinaridade.

A interdisciplinaridade realiza-se através da sobreposição de conteúdos e não da confusão de conceitos. O Autor destas linhas ao preparar e apresentar a uma audiência de alunos e professores do Secundário uma palestra intitulada «Da experiência de Oersted ao motor eléctrico» teve a oportunidade de «sentir» que conceitos da Física constituem referência obrigatória em todo o percurso metodológico que leva à realização de um motor eléctrico elementar (conceitos que este ilustra, relaciona e ilumina) mas que neste modelo também se colocavam já os problemas técnicos essenciais. A passagem de uma fronteira entre Ciência e Tecnologia não foi nítida. Não obstante, a conjugação da Lei de Ohm e da Lei de Joule, que dá o rendimento da conversão electro-mecânica como proporcional ao número de espiras, marca a transição entre duas atitudes: uma que estabelece as Leis Físicas, outra que as exercita. Do lado da Física estão as referidas leis, os conceitos de dipolo magnético, de campo e a «visualização» deste através da construção de linhas de força. Do lado da Tecnologia está a invenção dos contactos móveis (par colectores-escovas) e a procura da maior potência com menor consumo (economia e autonomia) e no menor espaço (compacidade).

Aquele modelo material de motor eléctrico que construímos, tosco, «aberto», pouco eficiente, constituía o «adeus» à Física e, simultaneamente o grau 0 da Tecnologia. A construção de um outro modelo, com mais espiras por enrolamento, maior número de enrolamentos, contactos eléctricos fiáveis, veio motor bem apoiado, enquadrado numa utilização, iria, na disciplina de Educação Tecnológica, ilustrar outros tantos conceitos tecnológicos (função técnica, estirpe técnica, etc.). Um estudo documental sobre a história do motor eléctrico, um inquérito recenseador, por exemplo, das aplicações electrodomésticas dos motores eléctricos, a discussão sobre a viabilidade da viatura eléctrica... são outras actividades próprias da educação tecnológica.

Estas actividades perderiam seriedade se (como por vezes se tenta) fossem levadas a cabo na disciplina de Física. Em Educação Tecnológica, adquirem a dignidade que merecem porque são apoiadas por um abstracto conceptual adequado.

Ao lado dos conteúdos «teóricos» a Educação Tecnológica tem, pois, as suas «experiências significativas». São os projectos. Estes supõem uma componente importante de actividade manual dado que se pretende a realização da ilustração suprema, isto é, a Coisa em si...

Todas as disciplinas têm lugar para projecto e algum trabalho manual. Querer identificar Educação Tecnológica e Trabalho Manual é negar a existência da Cultura Tecnológica e manter a presunção, cada vez mais descabida, de que o mundo do trabalho é uma simples extensão, de realização quase automática e destituída de autonomia, do mundo julgado intelectualmente mais sofisticado e moralmente mais valorado da Ciência Pura.

O outro perigo é o de ver planificar a Educação Tecnológica como disciplina descritiva, como o eram, tipicamente, as antigas Geografia e Ciências Naturais do curso geral do liceu, levando os alunos a decorar o nome de dezenas de profissões, de operações industriais, de leis do marketing. A orientação válida tem que ser esta:

Ilustrar e explorar os conceitos da Cultura Tecnológica por meio da realização de um projecto técnico cuja escolha depende das aquisições científicas já feitas pelos alunos nas restantes disciplinas do currículo e cuja planificação (grau de exigência em relação ao produto e detalhe, número e natureza das actividades obrigatórias) depende de considerações psicopedagógicas (idade dos alunos, desde logo) e de desenvolvimento curricular.

A ausência da Educação Tecnológica nos planos curriculares não tem traduzido necessariamente desprezo pelo trabalho manual. Este foi integrado nos currículos sempre que uma reconhecida finalidade o justificou (trabalhos experimentais de Física, Química e Ciências Naturais). Traduziu antes a incapacidade de se elaborar uma Cultura Tecnológica. Essa incapacidade é fruto de uma relação distante com o mundo do trabalho, com a vida, indutora de uma atitude ora reverente ora paternalista perante o objecto técnico, sedutor ou menosprezado, geralmente classificado de «curioso». Fruto também da relativa juventude da sociedade industrial que não tem dado tempo à teorização dos seus diversos aspectos e que tem, nomeadamente, favorecido uma atitude imatura perante o consumo dos seus objectos.

A importância transcendente da Educação Tecnológica, poderá consistir em sugerir que a matéria incorpora um conteúdo espiritual e que uma visão consequente do mundo há-de atribuir ao espírito também uma vocação material. Obrigar, assim, as disciplinas do currículo «académico» actual a «servirem para alguma coisa», a descodificarem o seu jargão e colocarem as cartas na mesa comum da interdisciplinaridade, isto é, da Cultura.

Aquela «missão» da Educação Tecnológica lembra que a sua quota parte na preparação para a «vida activa» não consiste em transmitir conhecimentos mais específicos ou imediatamente operacionais do ponto de vista profissionalizante, mas em fornecer a sua quota parte das «ferramentas comuns» capazes de compatibilizar o adiamento da escolha da profissão com a exigência de uma preparação

mais exigente para a mesma. Uma Educação Tecnológica «prática» destinada a desculpabilizar planos curriculares pedantes e ineptos não pode passar (novamente a imagem) por baixo da mesa!

Assim o entende, nomeadamente, a Associação Nacional dos Professores de Trabalhos Manuais cuja Direcção tem, com determinação, preparado a classe para a transição entre os Trabalhos Manuais e a Educação Artística e Tecnológica (2.º ciclo básico) sob a perspectiva da Cultura Tecnológica o que não é a opção mais fácil em termos de reconversão de professores mas é a reconhecida como mais consistente e, a longo prazo, a única.

BIBLIOGRAFIA ESSENCIAL SOBRE CULTURA TECNOLÓGICA

- DEFORGE, Y. — *Technologie et Génétique des Objects Industriels*, Paris, Maloine, 1985.
- DEFORGE, Y. — *L'Oeuvre et le Produit*, Paris, Champ Vallon, 1990.
- GUILLERME, J. — *Technique et Technologie*, Paris, Hachette, 1973.
- LE CHATELIER, H. — *De la méthode dans les sciences experimentales*, Paris, Dunod, 1947.
- LEROI-GOURHAN, A. — *Milieu et Techniques*, Paris, Albin Michel, 1943.

BIBLIOGRAFIA SOBRE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

- DEFORGE, Y. — *L'Education Technologique*, Paris-Tournai, Casterman, 1970.
- CARNEIRO, H. M. — *Tendências da Educação Tecnológica na Europa e noutros países, Conclusões do Encontro Nacional da APTM*, p. 5, 1989.
- GOMES, C., ANTÓNIO, M., PORFÍRIO, M. — *Educação Tecnológica no Ensino Básico, Conclusões do Encontro Nacional da APTM*, p. 7, 1989.

Nota — No Boletim da Sociedade Europeia de Educação Tecnológica, EGTE, são publicados trabalhos de investigação no domínio da Educação Tecnológica. Útil é, também, o Boletim da APTM.

CARTAS DOS LEITORES

— Sobre o artigo «Inovações na Educação Científica e Tecnológica» (Gaz. Física, 14, pág. 14, 1991)

Li com satisfação, no V/ último número (Janeiro a Março de 1991) o interessante artigo de Anabela Martins, «Inovações na Educação Científica e Tecnológica». Cumprimento a Autora. Mesmo assim, creio imporem-se algumas observações que, não pretendendo diminuir o valor do Trabalho, nem iniciar polémica irrelevante, têm a sua razão de ser na necessidade de prevenir a formação de «concepções alternativas» ou a consolidação de erróneos lugares comuns no leitor menos avisado. O que, dado o impacto que a Gazeta de Física tem na comunidade dos professores, é da maior importância, assumindo especial gravidade nas vésperas da implementação da Reforma e, em particular, da disciplina de Educação Tecnológica no futuro ensino básico, o que implica que essa comunidade se encontra, espera-se, numa dinâmica de reflexão.

Proponho, assim, a publicação do texto anexo na Gazeta (*), ou pelo menos, se não o acharem oportuno, o favor de o comunicarem à referida Autora. Preparo o meu trabalho de pós-graduação sobre Educação e Cultura Tecnológica e seria com satisfação que incluiria aquela Investigadora no conjunto dos meus correspondentes.

O tema é actual dada a inclusão, prevista na Lei 286/89 dos novos planos curriculares, das disciplinas de Educação Artística e Tecnológica (2.º ciclo básico) e Educação Tecnológica (opção no 3.º ciclo básico). Dada a impreparação dos docentes das antigas disciplinas, talvez professores de Ciências Físicas sejam chamados a formar ou a ser formados.

A relação entre Educação Tecnológica e Educação Científica é certamente estreita. A prová-lo está o artigo que publicaram e o facto de os investigadores em Educação Tecnológica virem geralmente das áreas científicas: Jean Martinand é físico (Univ. de Paris 7 e Orsay) e Yves Deforge ensina, na Univ. Tecnológica de Compiègne, Cultura Tecnológica a alunos das Engenharias. Eu próprio tenho estado no Departamento de Física da Univ. do Minho.

No entanto, não é sensato fazer da Educação Tecnológica «uma filial» da Educação Científica, o que eu chamei, no meu texto, «o parque de diversões

da Física». Voltaríamos à situação vigente dos Trabalhos Oficinas, onde monitores sem formação de Ciência, se antecipam ao professor de Física na introdução de conceitos fundamentais, com funestas consequências. Nem é viável porque não previsto nos novos planos curriculares enunciados na Lei 286/89.

Uma Educação Tecnológica autónoma é a melhor aliada da Física, pela ilustração consequente dos conceitos físicos e pelo poder de motivação que trará (para que serve a Física?). Ora, essa autonomia resulta da consideração de uma área do Saber, a Cultura Tecnológica, já com tradições no plano da vulgarização documental (museus da Ciência e da Tecnologia, séries televisivas) e, de uma certa forma, como especialidade da História (ex. Jean Gimpel — A revolução Industrial da Idade Média). A sua formalização é, no entanto, recente, não está completa, mas assumiu um carácter de urgência pela necessidade de introduzir a disciplina que lhe corresponde no currículo básico dos sistemas de ensino.

Essa necessidade resulta da compatibilização da escolha cada vez mais tardia da profissão, com uma preparação cada vez mais exigente para a mesma. Essa compatibilização terá que se fazer pela aprendizagem de «ferramentas gerais» (Y. Deforge) que são, precisamente, os conceitos que enformam a Cultura Tecnológica. Ignorá-la é, a meu ver, a lacuna principal do artigo de Anabela Martins.

JOÃO BAPTISTA, *Assistente na Universidade do Minho, Tv. Padre Sá Ribeiro, casa 8, 4740 Esposende*

(*) O texto anexo a esta carta está publicado neste número da Gazeta, pág. 110.

✱

Quotas da SPF

Prezado sócio: se ainda não pagou as suas quotas para o ano de 1991, agradecemos que o faça o mais rapidamente possível junto da respectiva Delegação.

Assegurar-se desta forma melhores condições para o planeamento e expansão das actividades da Sociedade, bem como a recepção regular da Gazeta de Física.

*Quotas: não estudantes ... 2000 Escudos
estudantes 750 Escudos*

Prémio Nobel de Física 1991

P. G. de Gennes

O prémio Nobel de Física foi este ano atribuído ao Professor Pierre-Gilles de Gennes, um dos físicos mais notáveis, originais e versáteis da actualidade.

Nasceu em Paris em 1932, fez os seus estudos universitários na Ecole Normale Supérieure, tornando-se depois investigador do Centro de Energia Atómica de Saclay, professor da Universidade de Orsay e, desde 1971, professor de Física da Matéria Condensada no prestigiado Collège de France em Paris.

P. G. de Gennes marcou indelevelmente o desenvolvimento da Física da Matéria Condensada moderna, com contribuições pioneiras de vulto em inúmeras (novas) áreas deste campo nas últimas três décadas. Os seus trabalhos científicos são marcados por uma rara combinação de elegância na abordagem, rigor, intuição física, originalidade, permanente confronto entre teoria e experiência, uma notável percepção das «vias» e dos «modos» possíveis de descrever sistemas físicos e novos fenómenos à primeira vista «intratáveis» pela sua grande complexidade (muitas vezes ainda num estadio anterior muito primitivo e empírico). Com de Gennes a Ciência aproxima-se mais da realidade do quotidiano, trazendo para a primeira linha da investigação fenómenos muitas vezes negligenciados pelos «académicos», por serem aparentemente «pouco interessantes» ou «pouco científicos» em si... De Gennes soube perspectivá-los no contexto das grandes linhas da Física actual, realçou a sua riqueza conceptual e a sua relevância e impacto em domínios fulcrais da Física moderna. Isso mesmo é reconhecido na passagem do texto da atribuição do seu prémio Nobel «...de Gennes'constant concern with order in complex, or even «dirty», systems, and transitions between ordered and disordered states of matter».

De Gennes foi sempre um inovador em cada um dos muitos domínios em que trabalhou, desbravou e deu expressão verdadeira-

mente científica, pela primeira vez, a grandes (novas) áreas da Física da Matéria Condensada, promoveu com rara eficácia uma estreita colaboração entre Físicos Teóricos e Experimentais em Matéria Condensada. Criou ele próprio vários grupos de investigação mistos, contribuindo decisivamente para o surgimento de uma nova Escola de pensamento e atitude em relação ao modo de «fazer» Física no seu País. Sempre estimulou e despertou a admiração de outros cientistas e jovens estudantes pela frescura e originalidade dos seus trabalhos.

É um Físico Teórico com invulgar versatilidade e eficácia, tendo deixado trabalhos originais em inúmeros domínios:

Magnetismo (incluindo flutuações críticas, difracção de neutrões, fenómenos de transporte), Supercondutividade (sobretudo os supercondutores de 2.^a espécie; criou um grupo misto de supercondutividade em Orsay, com papel destacado na década de 60), Cristais Líquidos (criou um grupo misto em Orsay; transições de fase, fenómenos críticos; propriedades físicas; novos conceitos e tratamentos teóricos), Polímeros (incluindo soluções e polímeros fundidos; leis de escala; problemas de conformações e dinâmica; difracção de neutrões por polímeros; mecanismos de reptação; interfaces), Cadeias Moleculares Complexas (incluindo fenómenos de fractura, adesão e aplicações de sistemas poliméricos, como colas e vernizes), Líquidos e Misturas (transições de «molhagem, micro-emulsões, discriminação «chiral»), Meios Porosos (escoamento de fluidos, problemas de conectividade e topologia); num sentido mais lato, toda a chamada «Physics of Soft Matter».

Pedagogo e escritor brilhante, publicou três livros fundamentais em três domínios distintos da Física da Matéria Condensada; «Superconducting Metals and Alloys» (1964), «The Physics of Liquid Crystals» (1974), «Scaling Concepts in Polymer Physics» (1979).

O Professor de Gennes é bem conhecido da comunidade dos Físicos portugueses tendo estado, por convite, no nosso País em 1976, para proferir conferências em Lisboa (IFM, Reitoria U. Lisboa, Embaixada de França), e em 1983, no I Simpósio Ibérico de Física da Matéria Condensada, co-organizado pela Sociedade Portuguesa de Física.

J. Bessa Sousa

Delegação Regional de Lisboa

• **Actividades Experimentais para o Ensino da Física — Regulamento**

1 — OBJECTIVO

1.1 — A DRL da SPF promove um concurso com as seguintes finalidades:

1.1.1 — Incentivar o desenvolvimento de actividades experimentais inovadoras.

1.1.2 — Recolher e divulgar algumas das actividades experimentais que vêm sendo desenvolvidas com sucesso por alguns professores de Física.

2 — PARTICIPAÇÃO

2.1 — O concurso destina-se a professores de Física do 3.º ciclo de Ensino Básico e Secundário.

2.2 — Os professores podem concorrer individualmente ou em equipas de dois elementos.

3 — INSCRIÇÃO

3.1 — A inscrição no concurso efectiva-se através de:

3.1.1 — A entrega na sede da DRL da SPF do material experimental necessário à realização da actividade, acompanhado do protocolo de realização experimental e da indicação de sugestões das formas para explorar com os alunos a actividade apresentada. O(s) autor(es) poderão ainda incluir outros elementos que considerem pertinentes para a apreciação do trabalho pelo Júri.

3.1.2. — O preenchimento de uma ficha de inscrição que se encontra ao dispor dos interessados na sede da DRL da SPF.

3.2 — A entrega dos trabalhos é feita na sede da DRL da SPF, contra a entrega de recibo, ou através dos CTT, em volume registado com aviso de recepção.

4 — DATA

4.1 — A data limite da entrega dos trabalhos será o dia 29 de Maio de 1992. Após esta data não serão aceites para concursos.

4.2 — Os resultados do concurso serão divulgados até ao dia 30 de Junho de 1992.

5 — NÍVEIS

5.1 — Os trabalhos apresentados a concurso devem enquadrar-se num dos seguintes níveis:

5.1.1 — 3.º ciclo do ensino básico.

5.1.2 — Ensino Secundário.

6 — JÚRI

6.1 — O Júri é composto por cinco elementos ligados ao ensino e à investigação em Física.

6.2 — O Júri decide da atribuição ou não dos prémios e fará pública a sua decisão, que devidamente

fundamentada, constará em acta assinada por todos os elementos do Júri.

6.3 — O Júri poderá atribuir um prémio para cada nível e se o entender, até um máximo de 2 menções honrosas por nível.

6.4 — Não poderão ser atribuídos prémios «ex-aequo».

6.5 — A decisão do Júri é soberana e não admite recurso.

7 — DIVULGAÇÃO

7.1 — Todos os trabalhos admitidos a concurso serão expostos pela DRL da SPF em data e local a anunciar.

7.2 — A DRL da SPF fará a divulgação de todos os trabalhos premiados na Gazeta de Física, salvaguardando-se o direito do(s) autor(es) vir(em) a publicar o trabalho desenvolvido.

8 — QUESTÕES LOGÍSTICAS

8.1 — A organização não se responsabiliza por qualquer dano ou extravio causado durante o transporte para a sede da DRL da SPF.

8.2 — Todo o material experimental poderá ser levantado no local onde foi entregue 15 dias após o fecho da exposição referida no ponto 7.1 e durante o prazo de 30 dias.

9 — CASOS OMISSOS

Os casos omissos neste regulamento serão analisados e esclarecidos pela DRL da SPF e da sua decisão não haverá recurso.

10 — PRÉMIOS

Primeiros Prémios: Participação num congresso ou «workshop» internacional.

Menções Honrosas: Participação na 8.ª Conferência Nacional de Física — FÍSICA 92.

• **Comissão Consultiva e de Apoio a Clubes de Ciência**

Na sequência do debate subordinado ao tema «Clubes de Ciência nas Escolas Secundárias — contributos para a definição da estratégia da DRL da SPF», foi constituída numa comissão consultiva e de apoio a clubes de ciência.

Integram esta comissão professores do Ensino Secundário com experiência na animação de clubes de ciência e físicos experimentais universitários.

Os professores que pretendam obter apoio em actividades relacionadas com clubes de ciência, em particular na implementação de experiências, poderão contactar a referida comissão na sede da SPF (Av. da República, 37-4.º, 1000 Lisboa). Dá-se preferência ao contacto directo e pessoal (às 5.ªs-feiras das 18 às 19 horas) com aviso prévio junto da secretária da DRL (Cristina Campos, tel. 7973251).

Delegação Regional de Coimbra

• Acções de Divulgação

Foram realizadas as seguintes Acções de divulgação destinadas a alunos e Professores do Ensino Secundário:

— «*Física Divertida*» pelo Prof. Dr. Carlos Fiolhais, na Esc. C+S da Caranguejeira, Leiria, no dia 10/4/91; na Esc. Sec. n.º 1 de Ovar, no dia 15/4/91; na Esc. Sec. Afonso de Albuquerque, Guarda, e na Esc. Sec. Frei Heitor Pinto, Covilhã, no dia 28/6/91; na Esc. Sec. de Carregal do Sal, no dia 22/10/91.

— «*Lasers e Holografia*» pelo Prof. Dr. João de Lemos Pinto na Esc. Sec. da Mealhada, no dia 25/6/91.

— «*A natureza da luz*» pela Prof.^a Dr.^a Maria Helena Caldeira, na Esc. Sec. de Mortágua, no dia 28/6/91.

— «*Teoria da Relatividade para os mais novos*» pela Prof.^a Dr.^a Maria Helena Caldeira na Esc. Sec. Alves Martins, Viseu, no dia 28/6/91.

• Cursos de Formação da S.P.F. (Organizados pela Delegação)

— «*Introdução à Mecânica Quântica*», realizado pela Prof. Dr.^a Maria Helena Caldeira na Esc. Sec. Domingos Sequeira, Leiria, no dia 9/7/91.

— «*Exploração de instrumentos no Laboratório de Física*» pelo Prof. Dr. Luiz Alte da Veiga na Esc. Sec. Domingos Sequeira, Leiria, no dia 16/7/91.

Delegação Regional do Porto

Esta Delegação está a organizar a 8.^a Conferência Nacional de Física, Física-92 e o 2.º Encontro Ibérico para o Ensino de Física. Coube também a esta Delegação a organização da Final das Olimpíadas de Física-91, que decorreu no Porto em 27 de Setembro de 1991.

• Acções de formação para professores do Ensino Secundário

— «*Metodologia do Ensino de Física*», 18 de Junho de 1991, Esc. Sec. n.º 1 de Matosinhos, preferida pela Prof. Dr.^a Marília Fernandes Thomaz.

— «*Introdução à Física das Partículas*», 17 de Abril de 1991, Esc. Sec. Dr. Manuel Gomes de Almeida, proferida pelo Prof. Dr. Manuel Fiolhais.

• Palestras

— «*Fenómenos Físicos na Atmosfera*», no dia 23 de Abril, na Esc. C+S de Arcozelo, pelo Dr. Manuel Joaquim Marques.

— «*Fenómenos Físicos na Atmosfera*», no dia 8 de Maio, na Esc. Sec. Rodrigues de Freitas, pelo Dr. Manuel Joaquim Marques.

— «*Raios laser*», 17 de Abril de 1991, Esc. Sec. de Arcozelo, pelo Prof. Dr. Manuel de Barros.

— «*O laser contado às crianças*», 24 de Abril de 1991, Esc. Sec. José Régio, Vila do Conde pelo Prof. Dr. Manuel de Barros.

— «*Mistérios quânticos*», 7 de Maio de 1991, Esc. Sec. José Régio, Vila do Conde, pelo Prof. Dr. João Lopes dos Santos.

— «*Supercondutores de Alta Temperatura*», 27 de Fevereiro de 1991, na Esc. Sec. de Ermesinde, pelo Prof. Dr. J. Ferreira da Silva.

— «*Os novos materiais supercondutores e suas aplicações tecnológicas*», 5 de Junho de 1991, na Esc. Sec. de Arouca, pelo Prof. Dr. J. Ferreira da Silva.

• FÍSICA E FÍSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO

Na Sociedade Europeia de Física (EPS) existem, como é do conhecimento geral, várias Divisões (correspondentes a domínios temáticos da Física), comités de acção (como por exemplo o da Educação em Física) e grupos interdivisoriais. Entre estes destaca-se o IGDP — Grupo Interdivisional sobre Física para o Desenvolvimento — que procura alertar o público e autoridades da Europa para a necessidade de apoiar os países e regiões em desenvolvimento, promovendo acções e projectos no domínio da Física, bem como captar o interesse dos sócios da EPS para este tipo de acções.

Em Setembro de 1990 o IGDP levou a efeito uma Conferência na Universidade de Twente, Holanda, subordinada ao tema «Física e Físicos para o Desenvolvimento». Como resultado dessa Conferência foi elaborado um manifesto que julgamos de interesse e actualidade, particularmente para o nosso país e por isso a seguir se transcreve.

Manifesto da Conferência EPS sobre

«Física e Físicos para o Desenvolvimento»

«O Grupo Interdivisional sobre Física para o Desenvolvimento», IGDP, da Sociedade Europeia de Física, organizou recentemente um Encontro intitulado «Física e Físicos para o Desenvolvimento» na Universidade de Twente, em Enschede na Holanda.

O Encontro foi participado por pessoas de países que vão desde os menos desenvolvidos aos mais avançados. Nas conclusões do encontro foi acordado, por unanimidade, que os físicos devem usar todos os meios disponíveis para enaltecer a importância da ciência básica para o desenvolvimento e, especialmente, acentuar que «o progresso a longo prazo só é possível se uma percentagem dos fundos governamentais, e em particular dos apoios disponíveis através dos programas de assistência para o desenvolvimento, for usada para o ensino das ciências básicas e para a realização de investigação».

Em resumo, a mensagem é que um desenvolvimento tecnológico sustentável, para já não falar de transferência de tecnologia, está dependente da consciência do público em geral sobre princípios físicos e tecnológicos que só é possível obter através de uma adequada educação em física, com actividades experimentais para alunos e estudantes, pelo menos a partir dos dois últimos anos da escola secundária.

As conclusões do encontro foram formuladas assim:

1) Qualquer país, em vias de desenvolvimento ou industrializado, que pretenda assegurar uma sociedade estável, em que possam florescer a industrialização, os cuidados de saúde pública, a agricultura moderna e todos os outros sectores que usam as ciências aplicadas, precisa de ter um programa de educação e de investigação em ciências básicas altamente desenvolvido.

2) O papel essencial da ciência básica não é geralmente aceite pelos políticos nem pelo público, especialmente nos países do terceiro mundo onde são sentidas tantas necessidades urgentes. É frequentemente admitido que as ciências aplicadas são sufi-

cientes. Isto é falso. Quando se pretende desenvolver a tecnologia ou tentar a sua transferência directa, deve começar-se por uma transferência ou promoção de conhecimento. Como a física é a ciência que está na base da maior parte da instrumentação e das tecnologias, há uma necessidade particular de investigação e educação em física com uma ênfase especial nas actividades experimentais.

3) Mesmo que a investigação fundamental não seja imediatamente realizável, ela deve constituir um objectivo básico a considerar em todos os países, como meio de aperfeiçoar as capacidades de análise e de elevar a qualidade da educação.

4) Actualmente uma enorme quantidade de talento é desperdiçada, especialmente no terceiro mundo, já que não lhe é dada a possibilidade de se desenvolver. Construir um sistema de educação adequado devia ser uma prioridade política em todos os países. No que respeita à física, é necessário acima de tudo um ensino e experimentação criativos, para cujo fim os equipamentos dispendiosos não constituem a primeira necessidade, embora este aspecto possa vir a tornar-se num problema significativo à medida que os objectivos se alargam.

5) Só é possível progresso a longo prazo num desenvolvimento tecnológico sustentável se uma percentagem dos fundos governamentais, e em particular dos apoios disponíveis através dos programas de assistência para o desenvolvimento for usada para o ensino das ciências básicas e para a realização de investigação nessas áreas.

6) A cooperação internacional é de máxima importância, mas só poderá ter êxito se for feita «por medida». É necessário ter um conhecimento profundo das condições locais, do ambiente e da cultura, por parte daqueles que participam no desenvolvimento de um programa educacional. Se isto não for tido em conta, um sistema de educação em ciência fortemente apoiado em peritos estrangeiros pode facilmente falhar. O mesmo acontece com actividades de investigação inteiramente baseadas em estrangeiras e não cuidadosamente ancoradas na sociedade.

7) É importante acompanhar os projectos de cooperação com vista a ganhar perspectiva das condições de êxito e fracasso.

8) Com o pano de fundo anterior nós achamos que a comunidade mundial das universidades, que têm uma missão universal, devia aceitar como dever próprio a participação no desenvolvimento de um sistema educacional e de actividades de investigação, feitas à medida das diferentes condições locais, para poder dar aos talentos de todos os países a oportunidade de atingirem a sua plena realização.

ENDRE LILLETHUN, *Presidente do IGPD*

CURSOS DE FORMAÇÃO DA S.P.F. PARA PROFESSORES DO ENSINO SECUNDÁRIO

A Sociedade Portuguesa de Física (SPF), através duma acção conjunta da Divisão Técnica de Educação e das três Delegações Regionais, vai dar continuidade ao ciclo de cursos de formação para professores do ensino secundário, iniciado o ano passado.

Os cursos previstos são os seguintes:

1. Ensino da Mecânica no ensino secundário (cursos de 2 e 3 dias);
2. Tratamento experimental da Mecânica (2 dias);
3. Mecânica da partícula (2 e 3 dias);
4. Mecânica do corpo rígido (2 dias);
5. Trabalho e energia (2 e 3 dias);
6. Energia: dificuldades conceptuais no seu ensino (1 dia);
7. Leis de conservação (2 dias);
8. Hidrostática e Hidrodinâmica (2 dias);
9. Oscilações e ondas mecânicas (2 e 3 dias);
10. Termodinâmica macroscópica (2 e 3 dias);
11. Termodinâmica: sua interpretação estatística (2 dias);
12. Electromagnetismo: seu tratamento experimental (3 dias);
13. Oscilações e ondas electromagnéticas (2 dias);
14. A Óptica ilustrada com experiências (2 e 3 dias);
15. O laser e suas aplicações (1 dia);
16. O laser no ensino (1 dia);
17. O osciloscópio e suas aplicações no ensino (1 dia);
18. Uso do computador no ensino da Física (1 dia);
19. Uso do computador no ensino experimental da Física (2 dias);
20. A Física e a observação do Cosmos (2 e 3 dias);
21. A Física e o ambiente (1 dia);
22. Teoria da Relatividade Restrita: abordagem elementar (2 dias);
23. Introdução à Mecânica Quântica (2 e 3 dias);
24. Física atómica e estrutura da matéria (2 dias);
25. Introdução à Física Nuclear (1 e 2 dias);
26. Introdução à Física das Partículas (1 e 2 dias);
27. Introdução à Física do Estado Sólido (1 e 2 dias);
28. Introdução à Teoria Cinética (1 e 2 dias);
29. Electrónica no ensino da Física (1 e 2 dias);
30. Ordem e caos (1 dia);
31. Exploração de instrumentos no laboratório de Física (1 dia);
32. Tratamentos de dados no laboratório de Física (1 dia);
33. Evolução das ideias em Física (2 dias);
34. Evolução das concepções Físicas de Aristóteles a Newton (2 dias);
35. De Galileu a Einstein: os fundamentos históricos da T.R.R. (2 dias);
36. A Física do século XX (2 dias);
37. Como resolver problemas em Física (1 dia);
38. A avaliação no ensino da Física (1 dia);
39. Metodologias do ensino da Física (1 dia).

Qualquer um destes cursos poderá realizar-se se for solicitado por um grupo de 15 a 30 professores (de uma mesma área geográfica); o custo de cada inscrição é de 1000\$00 por dia para sócios e de 1500\$00 por dia para não sócios da SPF.

Para informações acerca dos cursos e pedidos de realização (em que é fundamental indicar-se a duração pretendida) os professores poderão contactar, em alternativa:

Divisão Técnica de Educação da SPF, Av. da República, 37-4.º — 1000 LISBOA;

Delegação Regional do Norte da SPF, Faculdade de Ciências - Praça Gomes Teixeira — 4000 PORTO;

Delegação Regional de Coimbra da SPF, Departamento de Física - Univ. de Coimbra — 3000 COIMBRA;

Delegação Regional de Lisboa da SPF, Av. da República, 37-4.º — 1000 LISBOA.



VOL. 14 • FASC. 3 • SETEMBRO 1991

SUMÁRIO

Localização ou a luz envergonhada	81
<i>Vítor S. Amaral</i>	
A instalação em Portugal da primeira experiência de fusão nuclear: O Tokamak IST-TOK	86
<i>C. A. F. Varandas, J. T. Mendonça, J. A. C. Cabral, M. P. Alonso, P. Amorim, B. B. Carvalho, M. L. Carvalho, H. Fernandes, A. Malaquias, M. E. Manso, J. P. Matias, A. Moreira, J. L. Pinto, A. Praxedes, F. Serra, A. Silva, P. Varela, S. Vergamota, R. Vigário, C. J. Freitas, A. Mateus, V. Prego e A. Soares</i>	
A mãe de (quase) todas as distribuições	90
<i>J. Miguel Nunes da Silva</i>	
Circuitos Elementares de Corrente Contínua: Dificuldades de Apre- ndizagem e Formas de as Superar	94
<i>António J. Neto, Mariana Valente e Maria Odete Valente</i>	
O ciclo de histerese magnética no núcleo de um transformador . . .	107
<i>J. P. Marques e V. A. Esteves</i>	
Educação Científica e Educação Tecnológica. (Autonomia e inter- disciplinaridade)	110
<i>João Baptista</i>	
Prémio Nobel da Física 1991	117
Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física	118