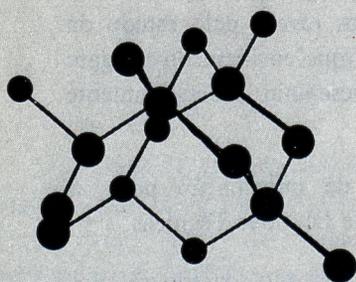
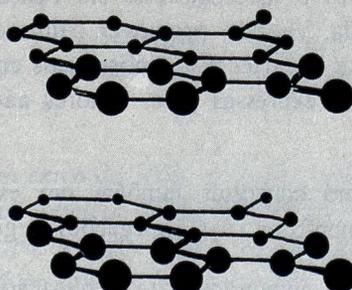


# GAZETA DE FISICA

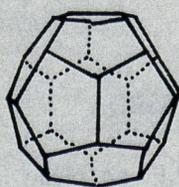
SOCIEDADE PORTUGUESA DE FISICA



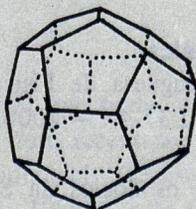
Diamante



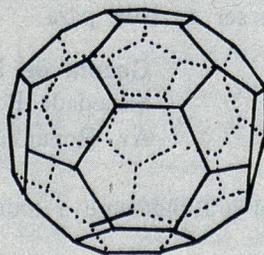
Grafite



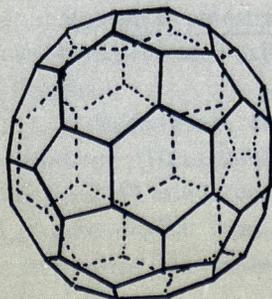
C<sub>28</sub>



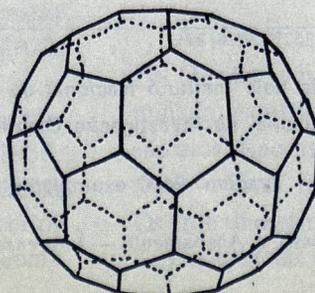
C<sub>32</sub>



C<sub>50</sub>



C<sub>60</sub>



C<sub>70</sub>

VOL. 14, FASC. 2

Publicação Trimestral

Abril a Junho 1991

Dos cristais de Diamante e Grafite, às novas moléculas de Carbono: C<sub>28</sub>, C<sub>32</sub>, ... C<sub>70</sub>.

# GAZETA DE FISICA

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

Tiragem: 2400 exemplares

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

## Propriedades termo-eléctricas da hematite de Moncorvo

F. MACHADO

Centro de Geofísica, Universidade de Lisboa

J. M. SERRA

Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

A. M. CORREIA

Departamento de Cerâmica e Vidro, Universidade de Aveiro

L. SERRANO

Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro

*A hematite de Moncorvo contém cerca de 50% de ganga siliciosa, mais ou menos disseminada. O minério comporta-se como um semiconductor com banda proibida  $E_g = 1,29 \pm 0,12$  eV. Usando uma teoria aproximada proposta por Kittel, foi possível determinar a relação das mobilidades de electrões e buracos  $M = 2,6 \pm 0,9$  e a posição do nível de Fermi  $\epsilon_F$ , dada por  $f = (\epsilon_F - E_v)/E_g = 0,43 \pm 0,11$  (sendo  $E_v$  o limite superior da banda de valência). Com estes parâmetros, o factor de Peltier é negativo, o que indica que o semiconductor é de tipo N.*

### 1. Introdução

O estudo do material que pode constituir o núcleo terrestre tem tido, recentemente, um desenvolvimento considerável (veja-se, por exemplo, COURTILOT, 1986). Julga-se provável que esse material seja um óxido de ferro e níquel (BULLEN, 1973; RINGWOOD, 1979) e, por isso, pareceu interessante estudar uma hematite natural.

Usaram-se amostras provenientes das minas de Moncorvo, que existiam na Universidade de Aveiro.

A hematite é, como se sabe, um semiconductor (HELLWEGE & HELLWEGE, 1959, p. 356). O estudo consistiu na análise química e mineralógica, e na determinação de certos parâmetros do material, considerado como

semiconductor (largura da banda proibida, relação das mobilidades dos portadores e nível de Fermi). Na obtenção dos resultados seguiram-se as ideias de KITTEL (1978, p. 232), cuja teoria aproximada do efeito termo-eléctrico foi assim posta à prova.

### 2. Análise química e mineralógica

As amostras são formadas pelo sesquióxido  $Fe_2O_3$  com uma ganga, mais ou menos disseminada, constituída por sílica e por diversos silicatos. Receava-se que a quantidade de ganga fosse variável, tendo-se analisado duas amostras. Os trabalhos foram realizados nos laboratórios de Geociências da Universidade de Aveiro.

A análise química foi feita por fluorescência de raios X (com aparelho Philips PW 1410/00) sobre pastilha prensada, excepto para o  $\text{Fe}_2^+$  que foi determinado por titulação com  $\text{K Mn O}_4$ ; o  $\text{Fe}_3^+$  foi obtido por diferença entre o ferro total (determinado na fluorescência) e o ferro ferroso. Os resultados constam do Quadro I.

QUADRO I — Análise Química

	1.ª amostra (peso %)	2.ª amostra (peso %)
$\text{SiO}_2$	27,27	50,50
$\text{Al}_2 \text{O}_3$	6,10	4,08
$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	60,55	41,79
FeO	0,77	0,51
MnO	0,06	0,05
MgO	0,44	—
CaO	0,07	0,08
$\text{TiO}_2$	0,28	0,20
$\text{K}_2 \text{O}$	1,33	0,80
$\text{Na}_2 \text{O}$	0,21	1,16
Perda ao rubro	1,42	2,63
Total	98,50	100,80

Para a composição mineralógica usou-se um difractómetro de raios X Philips PW 1710, com anticátodo de ferro. Os resultados são apresentados no Quadro II.

QUADRO II — Composição Mineralógica

	1.ª amostra (peso %)	2.ª amostra (peso %)
Hematite (e $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ amorfo)	60-61	0,5-1
Goetite	1	42
Mica	9-10	6
Feldspato	2	1,5-2
Caulinite	7	5
Quartzo	17-18	44
Outros	1-3	0-1

Vê-se que a quantidade de ganga é, de facto, bastante variável; esta é constituída sobretudo por quartzo com alguma mica, caulinite, etc. Visto os semicondutores serem

muito sensíveis à presença de certas impurezas, é possível que o alto teor de ganga e a sua irregular distribuição (e também a presença de  $\text{Fe}_2 \text{O}_3$  amorfo) justifiquem algumas anomalias das propriedades termo-eléctricas.

### 3. Determinação da banda proibida

Um semiconductor é caracterizado pelas suas bandas de energia (Fig. 1). Se for  $E_c$  o limite inferior da banda de condução e  $E_v$  o limite

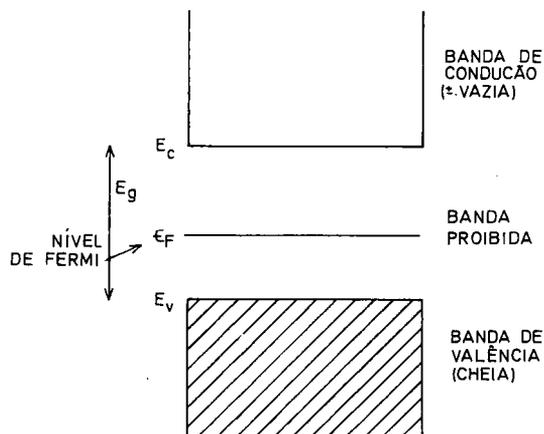


Fig. 1 — Bandas de energia num semiconductor. Os electrões têm de receber um aumento de energia superior a  $E_g$  para passarem da banda de valência para a de condução. Em regime intrínseco e com massas efectivas iguais para electrões e buracos, o nível de Fermi está exactamente a meio da banda proibida.

superior da banda de valência, a banda proibida terá evidentemente a largura  $E_g = E_c - E_v$  e o nível de Fermi será

$$\epsilon_F = E_v + f E_g \quad (1)$$

onde  $0 < f < 1$ .

Num semiconductor a corrente eléctrica tem como portadores não só  $n$  electrões (por unidade de volume) que conseguiram passar para a banda de condução, mas também os  $p$  «buracos» deixados atrás na banda de valência. Acima dum certo limiar de temperatura, estabelece-se o chamado regime intrínseco, em que  $n = p$ .

Nesse regime, a condutividade  $\sigma$  depende da temperatura absoluta  $T$  quase exclusi-

vamente através do factor  $e^{-E_g/2k_B T}$ , onde  $k_B = 8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$  é a constante de Boltzmann (KITTEL, 1978, p. 226). Então, um gráfico de  $\ln \sigma$  em função de  $1/T$  deverá ter forma rectilínea (excepto a baixas temperaturas), a inclinação da recta sendo

$$r = - E_g/2 k_B \quad (2)$$

Esta é uma maneira simples de determinar  $E_g$ .

Os trabalhos experimentais foram feitos no Departamento de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro. Utilizou-se uma amostra em forma de disco com 2,1 mm de espessura, na qual foram electrodepostos, em ambas as faces, eléctrodos de ouro com diâmetro de 5,5 mm; o disco foi colocado num porta-amostras com contactos de platina e o conjunto, introduzido num forno tubular. Para reduzir a possível indução de corrente alterna no circuito de medida, o porta-amostras foi envolvido com malha de aço ligada à terra.

A medição das temperaturas foi feita com termopar colocado a 5 mm da amostra, ligado a controlador-programador Eurotherm 821. A resistência foi obtida, em campo constante, pela medição da corrente com electrómetro digital Keithley 617.

O comando de todo o equipamento foi feito por meio de computador NCR PC8, tendo o ensaio sido efectuado de noite para reduzir eventuais interferências. A temperatura máxima atingida foi 300°C, mas a cerca de 250°C os eléctrodos sofreram degradação.

Na Fig. 2 mostra-se um esquema do equipamento. E na Fig. 3 apresentam-se graficamente os resultados obtidos; um ajustamento pelos mínimos quadrados deu:

$$r = - \frac{(6,83 \pm 0,09) \times 10^3 \text{ K}}{e}$$

$$E_g = 1,18 \pm 0,02 \text{ eV}$$

O ensaio sobre uma 2.ª amostra deu  $E_g = 1,41 \pm 0,02 \text{ eV}$ ; nos cálculos do parágrafo seguinte (Eq. 8) tomou-se a média:

$$E_g = 1,29 \pm 0,12 \text{ eV}$$

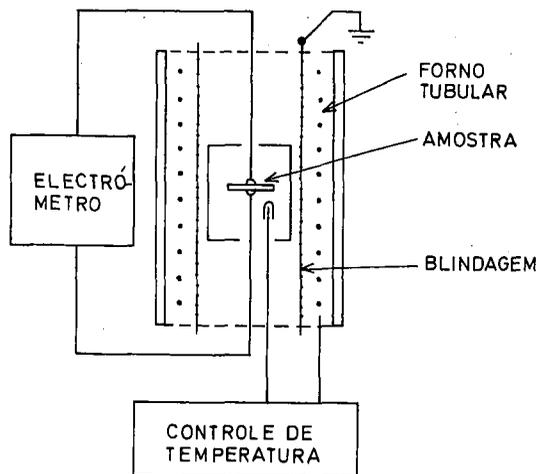


Fig. 2 — Esquema da montagem para a determinação da condutividade a várias temperaturas. As medidas da corrente eléctrica foram feitas em campo constante.

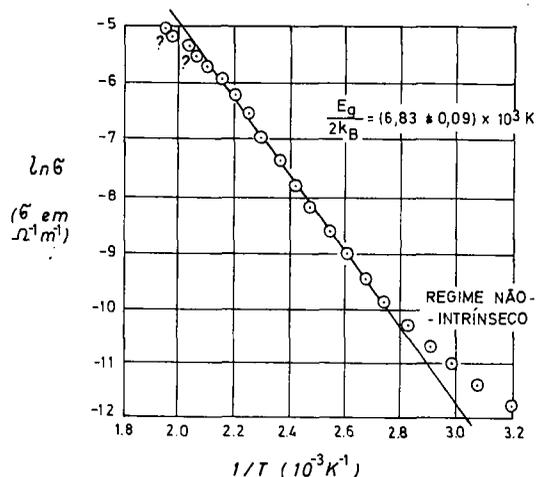


Fig. 3 — Diagrama de  $\ln \sigma$  em função de  $1/T$ . Os pontos aproveitados estão na região intrínseca. Para temperaturas inferiores a cerca de 90°C o comportamento torna-se não-intrínseco; e para temperaturas acima de 200°C o começo da degradação dos eléctrodos fez a curva afastar-se duma recta.

#### 4. Medidas termo-eléctricas

Se no semiconductor houver um gradiente de temperatura, aparece um campo eléctrico  $E$ , dado pela equação

$$E = (\Pi/T) \text{ grad } T \quad (3)$$

onde  $\Pi$  é o factor de Peltier.

Substituindo  $\mathbf{E} = -\text{grad } V$  ( $V$  sendo o potencial eléctrico) e multiplicando internamente os dois membros de (3) pelo elemento de comprimento  $ds$ , vem

$$-dV = (\Pi/T) dT \quad (4)$$

O factor de Peltier é o quociente entre os fluxos de energia e de carga eléctrica. Num semiconductor contendo  $n$  electrões de condução com mobilidade  $\mu_e$  e  $p$  buracos com mobilidade  $\mu_n$ , esse factor será, segundo a teoria aproximada de KITTEL (1978, p. 232),

$$\Pi = \left( f - \frac{M}{1+M} \right) \frac{E_g}{e_0} + \frac{3}{2} \frac{M-1}{M+1} \frac{k_B}{e_0} T \quad (5)$$

sendo  $-e_0$  a carga do electrão e  $M = n\mu_e/p\mu_n$ . Na região intrínseca será  $n=p$  e  $M$  é então o quociente das mobilidades de electrões e buracos, podendo considerar-se independente de  $T$ .

Podemos escrever

$$\Pi = A + BT \quad (6)$$

com  $A$  e  $B$  constante. Substituindo este valor em (4) e integrando, obtemos

$$V - V_0 = -A \ln \frac{T}{T_0} - B(T - T_0) \quad (7)$$

sendo  $V_0$  e  $T_0$  constantes adequadas.

Conhecendo  $A$  e  $B$ , a comparação de (5) com (6) dá imediatamente

$$f = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2A e_0}{E_g} - \frac{2B e_0}{3k_B} \right) \quad (8)$$

$$M = \frac{1 - 2B e_0 / 3k_B}{1 + 2B e_0 / 3k_B} \quad (9)$$

Para determinar as constantes  $A$  e  $B$  usou-se uma amostra com  $46 \times 7,5 \times 10,7 \text{ mm}^3$ . Um dos extremos foi progressivamente aquecido por lâmpada de raios infravermelhos, enquanto o outro extremo era arrefecido por circulação de água num tubo contíguo (Fig. 4). Mediram-se, com pares termo-eléctricos controlados por Eurotherm digital, as temperaturas em

pontos próximos dos extremos; e, com voltímetro digital Keithley 195-A, mediu-se a correspondente diferença de potencial. Os trabalhos foram feitos no Departamento de Física da Universidade de Lisboa.

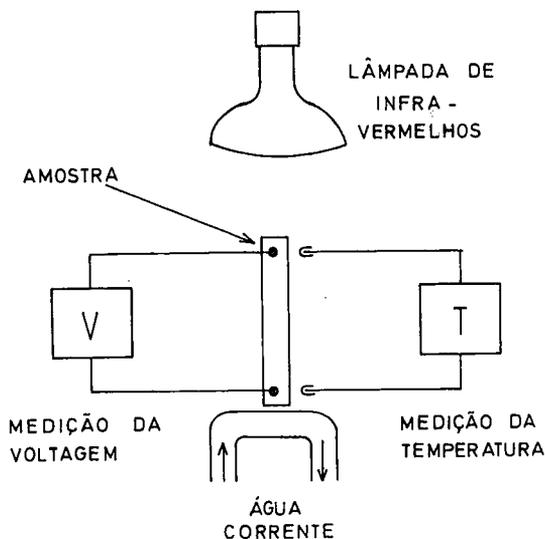


Fig. 4 — Esquema da montagem para a determinação das constantes  $A$  e  $B$  (e portanto de  $f$  e  $M$ ). A água de arrefecimento estava à temperatura ambiente que era de cerca de  $17^\circ\text{C}$  (mantendo a esta temperatura o extremo arrefecido). Os eléctrodos eram de cobre e fixaram-se com cola de prata.

Fizeram-se medidas com temperaturas ascendentes (de  $17$  a  $300^\circ\text{C}$ ) e depois com temperaturas descendentes. Durante o aquecimento houve saltos mais ou menos bruscos na voltagem, mas durante o arrefecimento o comportamento foi muito mais regular. Quando se atingiu a temperatura inicial, manteve-se, porém, uma diferença de potencial entre os extremos, facto que era inesperado, visto ter-se mantido a temperatura inicial do extremo arrefecido.

Aproveitaram-se apenas as medidas com temperatura descendente. Neste caso, se  $T$  e  $T_0$  forem, respectivamente, as temperaturas no extremo aquecido e no extremo frio,  $V$  será o potencial no extremo aquecido e  $V_0$  o valor de  $V$  quando  $T = T_0$  (e não o potencial no extremo frio).

Nos potenciais medidos havia ainda alguns valores anómalos dentro do intervalo em que

era de esperar comportamento intrínseco. Estes valores foram desprezados quando conduziam a desvios (em  $(V - V_0)/(T - T_0)$ ) superiores a 0,02 mV/K; o critério é decerto discutível.

Para se obter uma curva linear, convém dividir a equação (7) por  $T - T_0$ , consideran-

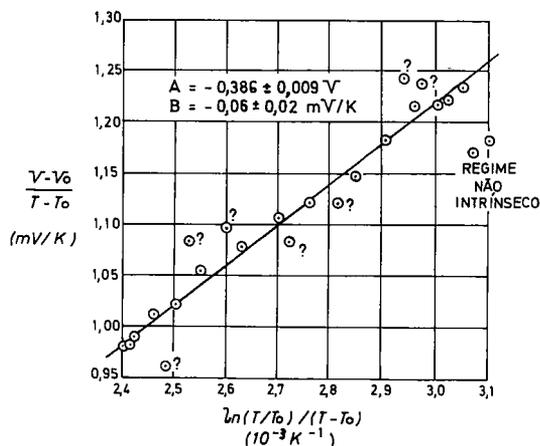


Fig. 5 — Diagrama de  $(V - V_0)/(T - T_0)$  em função de  $\ln(T/T_0)/(T - T_0)$ . A inclinação da recta é a constante  $-A$  e a ordenada na origem, a constante  $-B$ . Aproveitaram-se apenas pontos da região intrínseca (temperaturas entre 95 e 300°C) e desprezaram-se os que tinham desvios superiores a 0,02 mV/K.

do-se então como variáveis  $(V - V_0)/(T - T_0)$  e  $\ln(T/T_0)/(T - T_0)$ . Os resultados finais vão indicados na Fig. 5; um ajustamento pelos mínimos quadrados deu:

$$A = -0,386 \pm 0,009 V$$

$$B = -0,06 \pm 0,02 mV/K$$

Com estes valores obtêm-se por (8) e (9):

$$f = 0,43 \pm 0,11$$

$$M = 2,6 \pm 0,9$$

O valor de  $B$  tem desvio-padrão um tanto alto, o que vai influir em  $f$  e  $M$ . Para diminuir este desvio, tentou-se determinar a constante de Hall que é, em regime intrínseco,

$$R_H = - \frac{1}{ne_0} \frac{1 - M}{1 + M} \quad (10)$$

Esta determinação não foi, porém, possível certamente devido à distribuição irregular de impurezas.

## 5. Discussão

Como se esperava, a hematite de Moncorvo é um semiconductor, os seus parâmetros sendo  $E_g = 1,29 \pm 0,12 eV$ ,  $f = 0,43 \pm 0,11$  e  $M = 2,6 \pm 0,9$ . Para hematite pura, as tábuas de Landolt-Boernstein (HELLWEGE & HELWEGE, 1959, p. 356) dão  $E_g = 2,34 eV$  e  $f = 0,6$ . As diferenças provêm certamente da ganga disseminada e da presença de  $Fe_2O_3$  amorfo (e doutras eventuais impurezas). Não foi feito, porém, um estudo sistemático, relacionando as impurezas com as medidas eléctricas.

O limiar onde começa o regime intrínseco situa-se na vizinhança dos 90°C. Convém notar que embora  $f$  não seja significativamente distinto de 0,5, o sinal do factor de Peltier é negativo, indicando que se trata de semiconductor de tipo N.

O presente trabalho mostra também que a teoria de Kittel parece descrever, com boa aproximação, o comportamento da hematite.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a possibilidade de utilização dos laboratórios dos Departamentos de Geociências e de Cerâmica e Vidro, na Universidade de Aveiro, e do laboratório de Física da Universidade de Lisboa.

Os desenhos foram preparados por M. Graça Marques na Universidade de Aveiro, e as amostras, talhadas também em Aveiro por O. S. Carvalho.

Os autores agradecem ainda a M. Ondina Figueiredo a discussão de muitos aspectos relacionados com a presente investigação.

Um dos autores (F. Machado) beneficiou duma bolsa do I.N.I.C.

## REFERÊNCIAS

- BULLEN, K. E. (1973) — Cores of the terrestrial planets. *Nature* (Londres), v. 243, pp. 68-70.
- COURTILLOT, V. (1986) — A French program to study the Earth's core. *Eos, Trans. Am. Geoph. Un.*, v. 67, pp. 809-812.
- HELLWEGE, K. H. & HELWEGE, A. M. (edit.) (1959) — *Landolt-Boernstein Zahlenwerte und Funktionen*, 2.º v., 6.ª parte, Springer, Berlim.
- KITTEL, C. (1978) — *Introdução à Física do Estado Sólido*, Editora Guanabara, Rio de Janeiro.
- RINGWOOD, A. E. (1979) — Composition and origin of the Earth, in *The Earth, Its Origin, Structure and Evolution* (M. W. McElhinny, edit.), pp. 1-58, Academic, New York.

# Inovações na Educação Científica e Tecnológica

## II. Modelos Curriculares.

### Formação e Actualização de Professores de Ciência e Tecnologia (\*)

ANABELA MARTINS

Royal Danish School of Educational Studies, Dep. Physics,  
Emdrupvej 115 B, DK — 2400 Copenhagen NV, Denmark

#### 1. Modelo de Xavier F. Carelse

##### 1.1. Os objectivos de uma Educação Tecnológica

No Simpósio Internacional da Unesco sobre o Ensino da Tecnologia no Contexto da Educação Geral Básica realizado em 1985, ficaram estabelecidos os seguintes princípios:

- A Educação Tecnológica deve ser desenvolvida tendo em atenção as suas contribuições para o processo educacional como um todo;
- A Educação Tecnológica deve ser relevante para o ambiente, mundo do trabalho, necessidades da vida diária do indivíduo e da comunidade, assim como para o desenvolvimento de atitudes positivas para com o trabalho e capacidades manuais;
- Ao ensinar tecnologia, a interacção ciência-tecnologia deve ser claramente enfatizada e discutida;
- O desenvolvimento de capacidades relacionadas com a tomada de decisões, resolução de problemas, planeamento, «design» e fabrico, devem fazer parte integral da educação tecnológica.

Tendo como base os princípios enunciados, foram então estabelecidos os seguintes objectivos gerais para uma educação tecnológica actualizada:

1— Desenvolver capacidades mentais e manuais no planeamento («design»), fabrico e avaliação objectiva de novos artefactos;

2— Promover o desenvolvimento da curiosidade, poder interrogativo, capacidade de

iniciativa, engenho, recursos e discriminação no que diz respeito a todas as facetas do ambiente e, em particular, da tecnologia em geral;

3— Promover atitudes de cooperação e responsabilidade social.

##### 1.2. Conteúdos Curriculares

Dentro do padrão de objectivos indicados em 1.1., o Prof. Carelse propõe um programa de ciência e tecnologia que abrange um largo espectro de assuntos ligados a necessidades sociais e individuais. O programa não é compartimentado em Física, Química ou Biologia, mas sim um todo sequencial e/ou integrado. O estudo do impacto da ciência e da tecnologia nas necessidades e actividades sociais, inclui por exemplo:

- A distribuição de ocupações e a necessidade de tornar a ciência relevante tanto para as populações rurais nas sociedades agrárias, como para a comunidade dos negócios nas sociedades altamente industrializadas;
- A necessidade de demonstrar a relevância da ciência e da tecnologia para melhorar a qualidade de vida dentro da família e da comunidade;
- A necessidade de reconhecer que, em muitas sociedades, as actividades de lazer para jovens e idosos, bem como as tecnologias associadas, podem ter um papel

(\*) Parte I deste artigo: Gaz. Fis., vol. 14, fasc. 1, pág. 14 (1991).

muito importante no desenvolvimento de atitudes sociais saudáveis.

Estes objectivos necessitam ser interpretados de acordo com o contexto específico de cada país.

Os temas propostos poderiam ser:

#### A. Ciência e Tecnologia na Economia

A.1. *Agricultura*—Conceitos de Ecologia e Biologia com relevância para pequenos e grandes agricultores, jardineiros, trabalhadores agrícolas.

A.2. *Negócios*—Conceitos de informática e computadores com relevância para a organização de empresas, finanças, pessoal administrativo e de chefia.

A.3. *Energia*—Conceitos de física, química e economia relacionados com a energia e o seu impacto no nosso ambiente e no desenvolvimento tecnológico, as suas derivações de fontes tradicionais fósseis e renováveis e todas as suas aplicações.

#### B. Ciência e Tecnologia na Indústria

B.1. *Processamento*—Conceitos de química, microbiologia e geologia com relevância para os trabalhadores da indústria química e alimentar.

B.2. *Fabrico*—Conceitos de física, química, planeamento e «design» relacionados com as propriedades e uso dos materiais com relevância para os trabalhadores da construção civil, têxteis e indústrias de manufactura.

#### C. Ciência e Tecnologia na Vida

C.1. *Casa*—Conceitos de química, biologia e física relacionados com a nutrição, higiene e segurança com relevância para as donas de casa, canalisadores, electricistas, etc.

C.2. *Comunidade*—Conceitos de biologia, saúde, sociologia, psicologia e demografia relevantes para a nutrição, saúde mental e física, saneamento e planeamento familiar com relevância para o impacto da ciência e tecnologia no ambiente social, benefícios sociais, procura de emprego, entrevistas, inquéritos de opinião, etc.

#### D. Ciência e Tecnologia no Lazer

D.1. *Entretenimento*—Conceitos de biologia e física com relevância para o impacto da ciência e da tecnologia na música, teatro, cinema e meios de comunicação social.

D.2. *Ocupação de tempos livres («hobbies»)*—O impacto da ciência e da tecnologia nas artes, artesanatos, actividades pessoais extra-trabalho, desporto e desenvolvimento físico (conceitos de «art e design», educação física e muitos outros).

O desenvolvimento deste currículo depende de muitos factores, tais como o nível tecnológico, estabilidade do sistema educativo da sociedade em que se aplica, das condições das escolas, da preparação dos professores que o leccionem e ainda, dos recursos da comunidade na qual a escola está inserida. Não é necessário abordá-lo em toda a sua extensão: a profundidade ou nível de abordagem dependerá evidentemente do grau de ensino a que se destina (primário, secundário ou superior).

#### 1.3. Métodos de Ensino

Perante um programa tão vasto, os métodos tradicionais de ensino deverão ser substituídos por métodos como Estudo de Casos, Projectos interdisciplinares, Debates e Discussões, Visitas de Estudo Orientadas, etc. Vamos apresentar alguns exemplos do estudo de casos.

##### Estudo de Casos

Qualquer dos temas propostos deve ser abordado partindo de um determinado aspecto

da tecnologia que os alunos encontrem na vida real, fora do laboratório da escola. O estudo de casos trata de um tópico ou de um projecto relacionado com um aspecto da tecnologia que afecta ou pode vir a afectar sectores significativos da população.

Por exemplo, o caso do aquecimento de casas nas regiões frias (energia, conservação, usos, etc.). Com este tópico, devem levar-se os alunos a compreender os conceitos de oxidação-redução, combustões completas e incompletas, produção de monóxido de carbono, propriedades venenosas do CO em ambientes pouco ventilados; vantagens e desvantagens, incluindo cálculo de custos exactos por mês, dos diferentes tipos de aquecimento utilizados, p.ex., «fuel óleo», bombas de calor, electricidade, etc.; mas em qualquer situação é fundamental a abordagem do isolamento da casa, conservação da energia e poupança. (Na Dinamarca e Suécia por exemplo, as companhias locais de electricidade fazem, de vez em quando, sessões a nível do município, para ensinarem os utentes a poupar electricidade; se o utente o desejar, enviam um técnico da companhia a fim de calcular um consumo aproximado tendo em atenção as dimensões e condições de isolamento da casa).

Partindo da análise do que de facto faz parte da nossa vida diária e necessita ser explicado e conhecido, cada tópico deve posteriormente ser acompanhado de experiências simples que reforcem alguns dos conceitos e ratifiquem as bases científicas da tecnologia; deve também promover-se paralelamente a realização de entrevistas, discussões com base em material documental, a construção de aparelhos simples e o desenvolvimento de capacidades de planeamento para a resolução de problemas concretos relacionados com o caso em estudo.

Outros casos podem ser desenvolvidos à volta de tarefas práticas, como o manter um carro ou uma bicicleta, construir uma pequena ponte, pintar um quarto, planear o orçamento familiar, tratar de um jardim ou de um animal, construir um forno ou chuveiro solar numa casa de praia, etc.

Outros podem ainda centrar-se no estudo de um estúdio de televisão, num emissor de rádio, numa fábrica de produção de aço ou vidro, têxteis ou papel, conforme a área onde a escola se insere. Este tipo de casos pode considerar-se bastante próximo do que se usa na Educação Científica Ambiental (ECA). Deveria mencionar-se aqui o estudo de alguns casos inseridos na ECA realizados em algumas escolas portuguesas: «A CIDADE», projecto realizado na Escola Secundária Pedro Nunes em 1985/6 em Lisboa; «A Água», projecto realizado na Escola Secundária de Odivelas em 1986 em Lisboa; «TEJO», projecto a nível nacional orientado pela DGEBS; «Reciclagem do Papel», projecto realizado na Escola Secundária Camões em Lisboa; «Os Lixos», projecto realizado na Escola Secundária de Queluz, etc.

Um exemplo de um caso deste tipo desenvolvido a nível regional europeu, isto é, entre vários países da região europeia é o «Projecto do Mar Báltico» com um programa bem estabelecido para as escolas pertencentes aos países que circundam o Mar Báltico: Rússia, Polónia, Suécia, Finlândia e Dinamarca.

Qualquer um dos projectos mencionados e muitos outros semelhantes que aqui não foram mencionados, são uma forma realista de introduzir aos alunos os importantes conceitos científicos nos quais se baseia grande parte do desenvolvimento tecnológico e de lhes mostrar como a ciência e a tecnologia tem de facto efeitos nas suas vidas diárias.

No número da *School Science Review* de Setembro 89, são dados dois exemplos de metodologias muito usados também nas escolas secundárias e universidades (método Y) dos países nórdicos, para o ensino da Física numa perspectiva tecnológica (ou o ensino da tecnologia numa perspectiva física).

#### **Método X: Física na Rua (Foster, 1989)**

Este método descreve alguns tópicos de física que podem ser encontrados durante um passeio numa área urbana. Qualquer rua contém numerosos e interessantes contextos para uma aprendizagem básica de física. O artigo

apresenta uma excelente informação básica, questões para serem respondidas pelos alunos, quer durante o passeio quer posteriormente na sala de aula. Foi pedido aos alunos para levarem o seguinte material: contador de Geiger-Muller, cronómetro, termómetro digital, régua, fita métrica, craveira, compasso, medidor de níveis de som, martelo, lápis e papel.

O professor planeou o passeio durante um período lectivo de uma hora, começando por explicar aos alunos que o principal objectivo daquele passeio era mostrar como a física está à nossa volta. Durante o passeio foram abordados, entre outros, os seguintes itens nos locais indicados:

**Método Y: Física num Contexto Tecnológico  
(Kahn, 1989)**

Neste método parte-se da análise e desmontagem de um circuito receptor de rádio (Figs. 5 e 6), teórica e experimentalmente, para durante quase um semestre se ensinar electrónica, electricidade, som, electroquímica, física do estado sólido, indução electromagnética, radiação electromagnética, circuitos oscilantes, física atómica e até relatividade. Considera-se o circuito receptor de rádio como «uma caixa preta», uma vez que nenhum dos alunos inicialmente tinha ainda estudado qualquer dos tópicos em questão. Tudo o que

ITEM	LOCAL	QUESTÕES
Radiação	Portão da escola	Comparar com outros valores de radiação no ambiente
Parábolas	Arcadas	Comparar com o movimento de uma pedra lançada ao ar segundo ângulos diferentes
Carros em movimento	Cruzamento de ruas	Calcular velocidade, aceleração, etc.
Som	Protector de som que aparece nas auto-estradas	Constituição do protector; Função do protector de som; Medir o nível de som em frente e atrás do protector de som
	Protecção metálica horizontal de uma rua ou de separação numa estrada	Bater com um martelo e medir a velocidade do som no ar e no metal
Sirene	Chaminé de uma fábrica	Como funciona e qual a sua estrutura
Luz/Cor	Semáforos	Quais os factores que determinam o sistema de semáforos para controlo do tráfego?
	Céu	Porque é que o céu é azul?
Antenas de TV	Telhados das casas	Funcionamento, estrutura
		Em que direcções estão orientadas? Porquê?
		Será possível determinar o comprimento de onda das ondas recebidas estimando o comprimento dos dipólos (antenas)?
Electricidade	Lâmpadas, iluminação das ruas	Qual a função da cobertura das lâmpadas e qual a posição destas? Como estão ligadas entre si e porquê?
	Comboio eléctrico, metropolitano, carros eléctricos	Em que diferem os tipos de electrificação?
Mecânica	Edifício em construção	Identificação de máquinas simples
Etc.	Lances de escadas	Determinar a potência (watt) de um aluno a subir as escadas a correr e devagar.

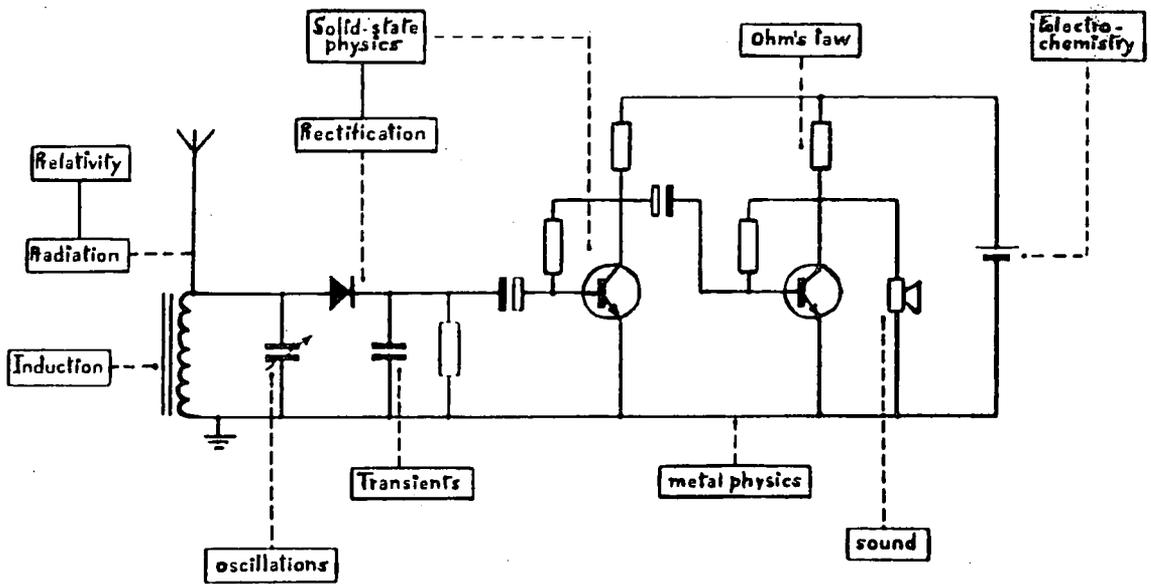


Fig. 5 — Circuito completo de um rádio, integrador do conceito de tecnologia.

foi abordado era estritamente necessário à compreensão e posterior construção de um circuito de rádio.

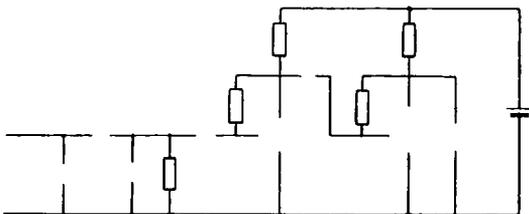


Fig. 6 — Circuito básico depois de totalmente desmontado.

#### 1.4. O Desenvolvimento do Currículo e a Formação de Professores

Os métodos alternativos de ensino aqui referidos dependem evidentemente das escolas e dos currículos. Estes últimos são talvez o maior impedimento da utilização mais frequente de métodos semelhantes nas nossas escolas, não só pela insuficiente definição e referência dos tópicos abordados como pela clássica dependência dos professores de «terem de cumprir o programa». Claro que um programa é para se cumprir, mas isso deve ser feito tendo em vista os objectivos educacionais defi-

nidos e os interesses dos alunos. Expor os professores durante a sua formação e os alunos nas aulas a diferentes métodos de ensino é tornar ambos mais flexíveis e receptivos a novos conhecimentos, motivados à aprendizagem e melhor preparados para se adaptarem a situações novas. Kahn (1989) no seu artigo da *School Science Review* refere como conclusão que «as estratégias de ensino resumidas no seu artigo, quebram as fronteiras artificiais que existem entre a ciência e a tecnologia, de forma a melhorar a aprendizagem de princípios básicos».

Os professores de ciências e tecnologia a nível do ensino secundário devem ser constantemente actualizados e especializados; deve ser-lhes dada uma formação contínua que lhes permita integrarem constantemente e sistematicamente a tecnologia nas suas aulas. Devem ser criadas infra-estruturas específicas para introdução e desenvolvimento da educação tecnológica tais como o actual GETAP na DGEBS, a nível regional e nacional. Devem também ser criados centros de recursos que forneçam materiais quer na preparação de informação e recomendações, livros de textos para os alunos e guias para os professores, quer na organização de uma rede de distribuição de

equipamento para as oficinas e laboratórios das escolas.

Há pelo menos dois tipos de currículos que poderiam ser desenvolvidos nas escolas do ensino básico e secundário: um currículo integrado de ciência e tecnologia ou um currículo mais lato, de carácter interdisciplinar para o qual os professores de uma vasta gama de disciplinas poderiam contribuir. O modelo curricular na secção 1.2. poderia ser desenvolvido segundo estas duas formas de abordagem, tendo em atenção os conhecimentos e capacidades adquiridas durante a educação primária. Deveria existir o equipamento necessário para ensinar os tópicos ou estudo de casos, assim como ferramentas que possam ser usadas quer por alunos quer por professores. Como já se referiu, oficinas e laboratórios devidamente apetrechados são indispensáveis e todos os assuntos devem ser ensinados de uma forma prática, com a finalidade de os alunos desenvolverem as suas capacidades através de um ensino verdadeiramente experimental.

O programa de desenvolvimento curricular deveria passar pelas seguintes fases:

1—Estabelecimento de novos programas com a consulta e participação dos professores em todas as fases;

2—Publicação dos programas para debate e de uma lista preliminar de recursos materiais e centros de fornecimento desses materiais;

3—Revisão do currículo e aplicação num estudo piloto em algumas escolas completamente equipadas; elaboração, por uma equipa especializada, dos primeiros exames escritos e outras formas de avaliação, tais como das capacidades manuais e de observação; elaboração do currículo final;

4—Extensão do programa a outras escolas, elaboração da lista final de materiais;

5—Aplicação do currículo a todas as escolas.

As fases 3, 4 e 5 podem sobrepor-se quando o tempo é crucial, mas esta decisão implica mais cuidado na avaliação dos alunos sujeitos à experiência dos novos currículos.

Quanto à avaliação da aprendizagem, os participantes do «International Symposium on the Teaching of Technology within the Context of General Education» (pág. 7) acordaram que a avaliação dos alunos devia basear-se nos pontos seguintes:

- Conhecimento dos conceitos científicos sobre os assuntos e processos tecnológicos abordados no currículo;
- Capacidades de formulação e resolução de problemas tecnológicos do nosso ambiente;
- Capacidades de planeamento e criatividade ligadas à inovação tecnológica;
- Capacidades de planeamento e criatividade ligadas à inovação tecnológica;
- Capacidades de manipulação, de comunicação e de investigação relacionadas com a ciência e a tecnologia.

A avaliação final deve consistir em dois exames escritos, um prático e um projecto e, ainda, numa prova de laboratório sobre qualquer um dos assuntos tratados durante o curso.

## **2. Problemas e Expectativas na Formação e Actualização de Professores de Ciência e Tecnologia**

### **2.1. Introdução**

Desde os anos 50 que, quer a educação científica quer a educação tecnológica, se confrontam com várias exigências sociais. Duas podem, no entanto, ser apontadas:

- a procura de especialistas dentro da força de trabalho e
- a necessidade cada vez mais premente de uma preparação mais alargada e compreensiva dos jovens sobre a natureza e impactos da ciência e da tecnologia na vida do dia a dia.

A segunda exigência implica a existência de professores de ciência e tecnologia com uma formação generalista, sem de modo algum esquecer o aprofundamento da sua preparação académica. Estes professores terão de desenvolver uma forma de pensar flexível que lhes permita orientar os jovens na adaptação às mudanças sociais. Por outro lado, a educação centrada na resolução de problemas reais da sociedade é absolutamente necessária se queremos educar cidadãos para uma sociedade democrática.

Mas como podem os professores e educadores ser formados para este tipo de ensino? Qual será a melhor maneira de manter os professores actualizados e interessados em aprender mais e sempre? Quem vai ajudá-los a tornarem-se competentes no uso de novas tecnologias e no uso de estratégias inovativas de ensino? Em que direcções deverão enveredar os programas de formação inicial e contínua de professores? Quais as mudanças a efectuar? Poderá exigir-se aos professores que «mudem» sem lhes dar «nada», sem lhes ensinar como? Como pode ainda pensar-se no «milagre» da mudança para a Europa 92, se as nossas escolas estão entre as piores equipadas e mais superlotadas dos países da CEE? Como se pode exigir aos nossos professores se estes estão entre os mais mal remunerados da CEE? Como pode pensar-se em educar os nossos jovens no ambiente degradado das nossas escolas? Como pode pensar-se em novos currículos sem apetrechar as escolas devidamente para tal fim? Como pode pensar-se em reduzir o insucesso escolar com tão elevada média de alunos por turma e sem o acompanhamento tutorial daqueles alunos com dificuldades sociais e de aprendizagem?

Estas são algumas das perguntas que se repetem vezes sem fim e continuam sem resposta visível; claro que muitas delas estão fora do âmbito deste artigo, mas não pode deixar de referir-se a sua existência sempre que se fala em mudança e quando se tem oportunidade de observar e comparar sistemas de ensino outros países onde estes problemas foram provavelmente equacionadas há longo tempo e estão resolvidos. Embora muitos documentos

tenham sido publicados, a reforma de ensino no nosso país não é ainda uma realidade com existência e extensão satisfatória para aqueles que dela mais deveriam usufruir — os jovens deste país e os seus professores. Se as transformações políticas e da força de trabalho associadas às mudanças tecnológicas estão a ter tão grande impacto na sociedade, não pode evitar-se esse impacto nos sistemas educativos. As escolas têm o dever de decidir como e em quê devem mudar, mas sobretudo as escolas do ensino básico e secundário não podem ser vistas como «empresas» das quais se espera lucros! À escola devem ser dados os meios para um desenvolvimento total numa sociedade verdadeiramente democrática, onde os professores (e alunos) e administradores devem ter um espaço comum de participação, decisão e actuação. A educação e a saúde devem ter prioridade numa sociedade, mesmo naquelas onde as «catedrais do dinheiro» começam a proliferar e a destruir valores considerados como importantes até agora.

Sem dúvida que as revoluções científica e tecnológica são em grande parte responsáveis pela criação de sistemas massivos de escolaridade, o que implica mais custos. A actual revolução «tectrónica» aumentou por um lado as taxas de escolaridade e por outro as taxas de desemprego. Contudo, fez diminuir o número de professores de ciências e tecnologia devido à competitividade das condições oferecidas pelo sector privado. Em Portugal, estes problemas são um pouco diferentes por várias razões, entre elas o facto de a oferta de cursos de formação inicial e profissionalização em exercício ser inferior às necessidades das escolas e as vagas serem preenchidas por outros profissionais que não encontram emprego no sector privado.

Finalmente, a actual revolução tecnológica está a criar a necessidade de uma nova forma de pensar sobre os processos de ensino-aprendizagem. A educação está a ser vista como um processo contínuo de formação cada vez mais integrada na maioria dos países da CEE e sobretudo nos países nórdicos. Alguns dos problemas enunciados recentemente, de forma a melhorar a qualidade de formação dos professores de ciências e tecnologia no que diz

respeito aos problemas levantados por esta interacção Ciência-Tecnologia-Sociedade são:

- Revisão dos critérios de selecção, recrutamento e avaliação de professores em cursos de formação inicial;
- Revisão dos critérios de selecção dos formadores de professores;
- Definições de novos papéis dos professores e sobretudo dos directores de turma, departamento ou disciplina;
- Necessidade da criação de programas compreensivos sistemáticos de Formação Contínua de professores;
- Desenvolvimento de um ensino integrado e interdisciplinar, orientado para a resolução de problemas reais da sociedade, em tempos lectivos paralelos ao currículo normal;
- Intensificar a interacção entre as escolas, as instituições de ensino superior e a comunidade.

A compartimentalização do conhecimento é responsável em parte pelo facto de os alunos não transferirem os conhecimentos para as aplicações práticas e não se usarem materiais e situações do dia a dia. Kahn (1989, pág. 9) refere que esta situação lembra «...plantar árvores físicas isoladas sem nunca se observar a floresta física de que elas fazem parte. O mundo natural perde-se e o mundo modificado pela actividade humana raramente é focado; os físicos «jogam» com as partes enquanto o todo é um tabú». Aquele físico refere ainda no mesmo artigo duas visões do ensino da física aparentemente antagónicas:

1—Num poema de William Blake *«To see a world in a grain of sand. And a heaven in a wild flower. Hold infinity in the palm of your hand and eternity in one hour»;*

2—No livro *«Lectures on Physics»*, Richard Feynman referindo-se à observação de uma gota de água como um potente microscópio diz...» *There is nothing that living things can do that cannot be understood from the point of view that they are made of atoms acting accordingly to the laws of Physics».*

Enquanto W. Blake manifesta o desejo de ver o todo na parte, R. Feynman reduz o todo

às partes. E, contudo, são dois aspectos da mesma ideia, a de que, por mais pequeno que seja um grão de areia ou uma gota de água ou um átomo, contêm em si a essência de um todo.

Infelizmente e apesar dos triunfos das grandes teorias unificadoras, é como se o ensino da ciência em geral e da física em particular, tivesse perdido de vista o todo e a unidade da ciência e da sociedade.

*Concluindo:* O Congresso Internacional da Unesco sobre Educação Científica e Tecnológica e a sua relação com um Desenvolvimento Nacional (1981) concluiu que, perante as necessidades da sociedade e o rápido desenvolvimento da ciência e da tecnologia, a procura de professores de ciências aumenta, esperando-se que estes sejam:

- a) Bem preparados academicamente em um ou mais assuntos científicos ou em Ciência Integrada, e capazes de inter-relacionar a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade;
- b) Capazes de interpretar e ensinar num contexto social e tecnológico;
- c) Conhecedores das implicações sociais e económicas do desenvolvimento da ciência e da técnica;
- d) Competentes nas capacidades para uma variedade de situações de ensino/aprendizagem na sala de aula, incluindo a avaliação;
- e) Flexíveis no seu estilo pessoal e capazes de cooperar com as mudanças.

Cada país deve procurar encontrar a solução à luz dos recursos disponíveis para assegurar que estas metas sejam atingidas. No entanto, muito se pode avançar se forem desenvolvidos esforços de cooperação entre Organizações Profissionais Regionais Nacionais e Internacionais.

## 2.2. Um Modelo de Formação de Professores de Tecnologia

Se se adoptar a conclusão proposta por G. B. Harrison, de que a Tecnologia necessita

de ser ensinada numa disciplina progressiva e claramente articulada construindo interfaces com as outras áreas do currículo escolar, então cada professor terá um papel a desempenhar na educação tecnológica, embora esse papel seja ainda um pouco impreciso.

Harrison divide o problema em duas partes. Primeira: consideremos aqueles professores que seriam responsáveis pelo currículo central, a disciplina de Tecnologia. Estes professores não podem saber tudo acerca da tecnologia em todos os seus contextos e conceitos, nem tão pouco sobre o conteúdo e objectivos de outras disciplinas que possam eventualmente contribuir para a educação tecnológica. Tais professores devem ter uma compreensão geral básica não só dos padrões gerais da tecnologia mas também um domínio razoável dos conceitos e processos fundamentais utilizados na tecnologia. Devem possuir conhecimento especializado e experiência pessoal do domínio de técnicas e capacidades, pelo menos no que diz respeito à tecnologia e contextos individuais como por exemplo, em electrónica, agricultura ou medicina. A extensão deste conhecimento deve ser tal que possa ser usado para tomar decisões que impliquem acção, e devem ser capazes de comunicar sobre tais assuntos, não só com os seus alunos mas também com os seus colegas. Devem também possuir informação pedagógica e capacidades que lhes permitam comunicar com um diálogo não ambíguo e assegurar a aproximação progressiva das metas aceites.

Segunda: consideremos aqueles professores das disciplinas tradicionais, os quais geralmente se consideram isolados da tecnologia. Estes professores não entendem nem querem entender porque «não precisam» da tecnologia e esta é mal vista, incómoda e desconcertante. Mas se a tecnologia for abordada tal como se sugere nos dois modelos curriculares apresentados, e for abordada com esses professores durante a realização de um projecto na prática, com orientações simples e seguras e um espaço para reflexão e discussão, muitos desses professores darão concerteza contribuições interessantes. Sendo a tecnologia abordada numa disciplina central com contribuições importantes

de outras disciplinas curriculares, estará a desenvolver-se uma educação mista. Para que esta abordagem faça sentido para os alunos, será necessário que estes sintam que todos os professores trabalham em conjunto para o mesmo fim e que têm objectivos comuns (Fig. 2).

A relação entre qualquer assunto e o modelo apresentado na Fig. 2 pode ser estruturada em termos das suas contribuições *para e de* cada um dos três aspectos centrais da Tecnologia, os *PROCESSOS, METAS E RECURSOS* (Fig. 7).

	TECNOLOGIA	AREA DO CURRÍCULO
METAS	←	→
PROCESSOS	←	→
RECURSOS	←	→

Fig. 7 — Padrão da relação entre Tecnologia e as outras áreas do currículo.

Por exemplo, as METAS da Tecnologia são importantes para as disciplinas de Humanidades, por exemplo, no estudo de projectos para modelos hidráulicos para estudar aspectos da Geografia Física ou investigar e datar achados arqueológicos. Ou para a Ciência, quando as investigações em curso requerem instrumentos de alta precisão e sofisticação. As Artes e Ofícios levantam constantemente necessidades de técnicas ou metas da Tecnologia, como no envernezinamento ou vidrar de porcelanas ou na rigidez estrutural de mobílias. Igualmente e vice-versa, a Tecnologia proporciona METAS a disciplinas como, por exemplo, a Tecnologia dos Materiais que necessita frequentemente de investigar propriedades físicas tais como a condutividade, a elasticidade, o desgaste, a resistência à fractura, ao calor, ao atrito, etc. Além disso, esta área da Tecnologia necessita constantemente de uma grande precisão na linguagem para explicação das condições de utilização dos materiais; da matemática para cálculos e decisões; e da Arte e da Estética como recursos de suporte para tomada de decisões sobre projectos, desenhos, esque-

mas, etc. Mas talvez esta correlação biunívoca entre metas, mais significativa, ocorra quando têm de se fazer julgamentos entre conjuntos de valores totalmente diferentes como são a segurança e o custo.

O cientista, o geógrafo, o historiador, o sociólogo e o matemático têm muito a dizer sobre os processos usados por aqueles que trabalham no domínio tecnológico, i.e., os recursos do conhecimento de um cientista, de um artífice ou de um historiador ou de um matemático são necessários ao técnico, se este se preocupa com aspectos da sociedade em que vive. Mas os processos tecnológicos podem ser usados por um geógrafo ou um historiador quando estes necessitam de criar sistemas para levarem a cabo os seus estudos.

Outra maneira de olhar consistentemente esta relação biunívoca na estrutura das disciplinas escolares é sugerida pelo «Science & Technology Education Project (S.I.T.E.)» ou pelo «Curriculum Subject Transformation Model», Figs. 8 e 9.

Este projecto, embora centrado na contribuição da ciência para a educação tecnológica, pode ser aplicado a outras áreas do saber. A Fig. 8 sugere algumas fases de transição nas ligações entre o conhecimento básico de uma determinada área do saber (área interior da superfície cónica delimitada pelas duas linhas convergentes no esquema) alargando-se sucessivamente até à resolução de problemas do mundo real por interacção com outros assuntos. Quando este modelo é aplicado ao campo do conhecimento científico, proporciona várias estruturas úteis para o desenvolvimento de atitudes necessárias a uma mais completa compreensão da tecnologia (Fig. 9).

*Estádio A*—O símbolo (a), Fig. 10, representa um conceito científico clássico usado para explicar a natureza de certos fenómenos.

*Estádio B*—O símbolo (b), Fig. 10, representa o mesmo conceito sendo usado para tomar uma decisão com determinados efeitos.

A transformação do estádio A no estádio B é a primeira das diferenças significativas entre ciência e tecnologia.

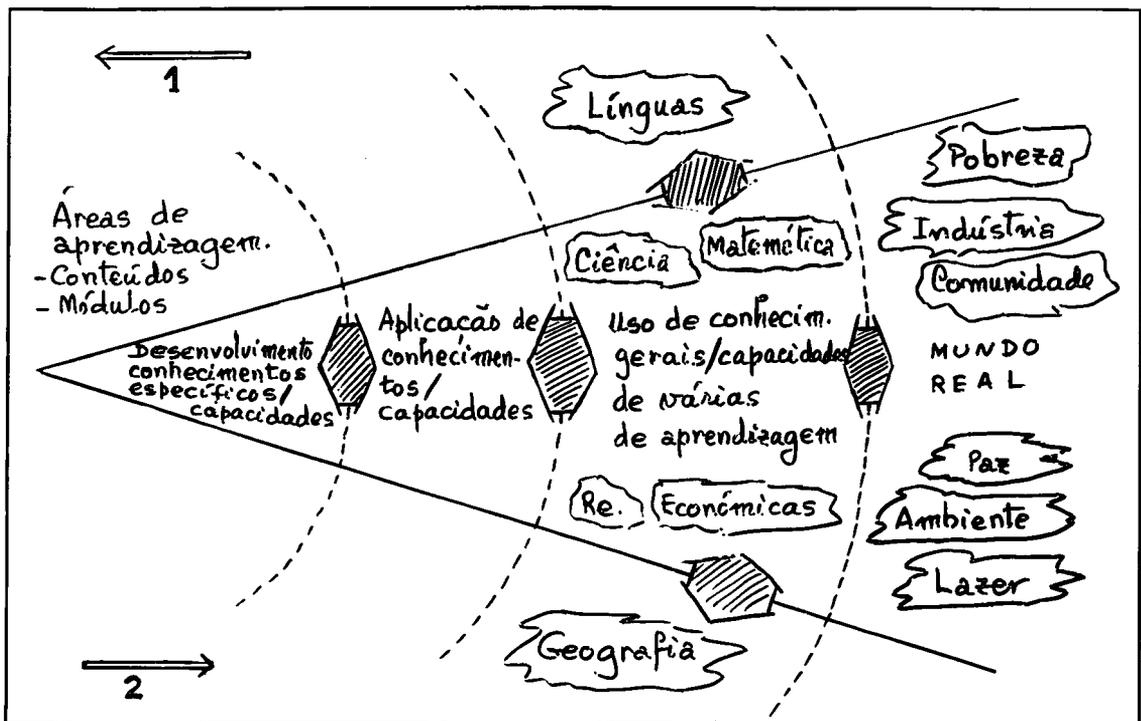


Fig. 8—«Curriculum Subject Transformation Model»—Níveis desde a aquisição dos conhecimentos básicos até à sua aplicação ao mundo real (S.I.T.E. Project, 1987).

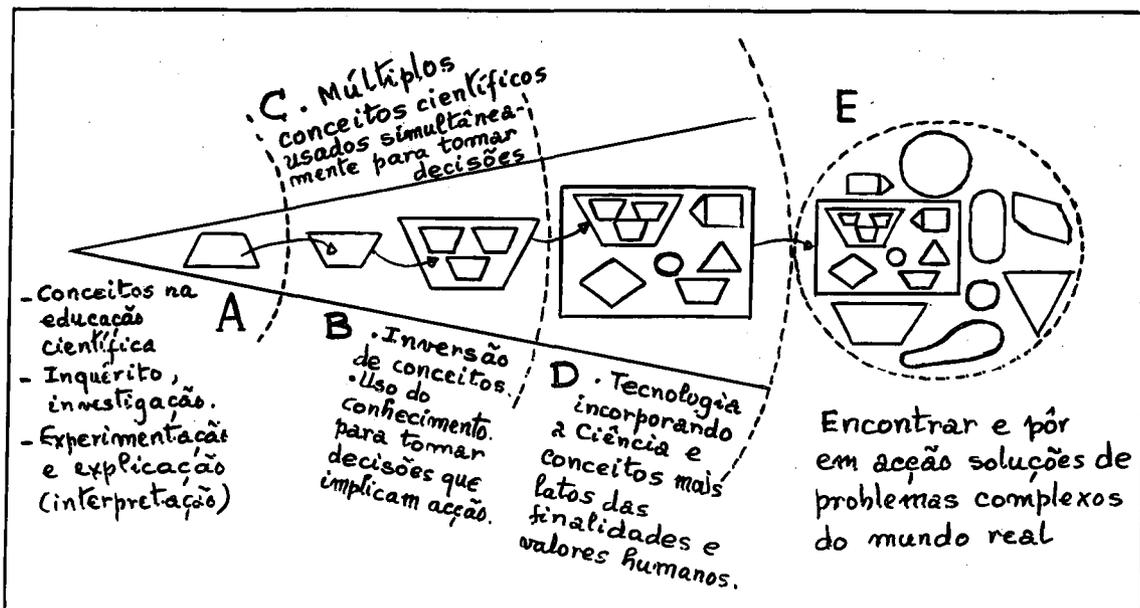


Fig. 9 - «Curriculum Subject Transformation Model» aplicado ao campo científico.

*Estádio C*—O símbolo (c), Fig. 10, representa o uso de múltiplos conceitos na tomada de uma decisão. Esta segunda diferença é

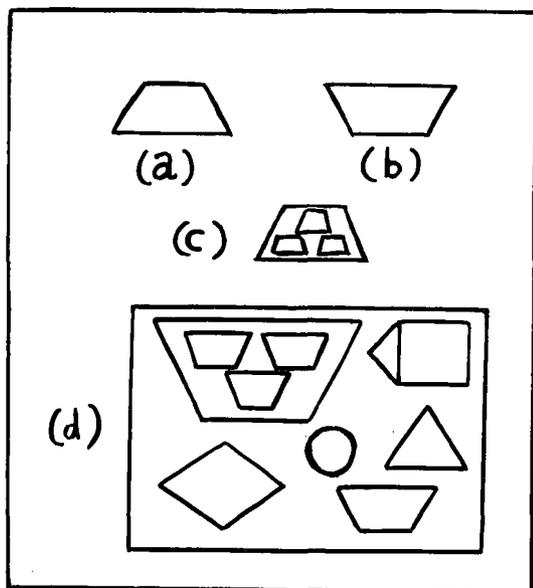


Fig. 10

devida ao facto de que muitas vezes os conceitos estão em conflito e necessitam de ser confrontados entre si e com os juízos de valor subjectivos que estão muitas vezes presentes

na decisão final, apesar da correcção e exactidão científica de cada conceito per si.

*Estádio D*—O símbolo (d), Fig. 10, representa a Tecnologia. Aqui os múltiplos conceitos científicos devem ser confrontados com uma série de outros problemas levantados por outras áreas do currículo tais como Geografia, Artes Manuais, Matemática, Ambiente, Biologia, etc. Começa neste estágio o confronto com os problemas do mundo real.

*Estádio E*—Neste estágio, os alunos tomam contacto com os verdadeiros problemas do mundo e podem aplicar as suas capacidades para resolver esses problemas, utilizando todos os recursos que foram adquirindo ao longo do desenvolvimento do currículo.

Este processo deve ser utilizado pelos professores de ciências e tecnologia, quer por esta ordem, quer pela ordem inversa. De qualquer forma, a ênfase da formação é colocada no aspecto da constante correlação entre o conhecimento e a sua aplicação na resolução de problemas reais e na necessidade de uma formação, experimentada pelos professores, de tal forma que ela aumente a auto-confiança e as capacidades de transferência deste processo para os seus alunos. Este processo reforça a aquisição de conhecimento/capacidade sem a

qual não é possível o ensino da Tecnologia. No entanto, ele pode apresentar o perigo de, pela forma como foi esquematizado, se pensar a Tecnologia apenas como «ciência aplicada» o que não corresponde à nossa definição de Tecnologia.

## Conclusão

A experiência de aprendizagem que cada professor e aluno deve ter, passa então pela combinação dos conhecimentos e aquisição de conceitos e capacidade de planear, projectar, aplicar e tomar decisões na escolha de recursos, para a realização de tarefas tecnológicas. Esta interacção reforça a necessidade e relevância de possuírem ambos conhecimentos e capacidades.

Partindo então de uma interpretação convencional de Tecnologia, G. B. Harrison tenta mostrar como é que uma Educação Tecnológica razoável depende, simultaneamente, da formação específica de professores de Tecnologia e das contribuições de outras áreas do saber e de um ensino essencialmente experimental. Sendo difícil o estabelecimento de um domínio da tecnologia entre os professores, Harrison recomenda que pelo menos os professores desenvolvam e pratiquem as suas próprias capacidades técnicas. Harrison diz ainda que a Tecnologia tem hoje um tão grande impacto na Humanidade, que os problemas a ela ligados não devem mais ser deixados apenas ao cuidado dos técnicos. Os objectivos, aspirações e valores dos indivíduos devem ser tidos em conta, se de facto queremos melhorar e não destruir essa mesma Humanidade.

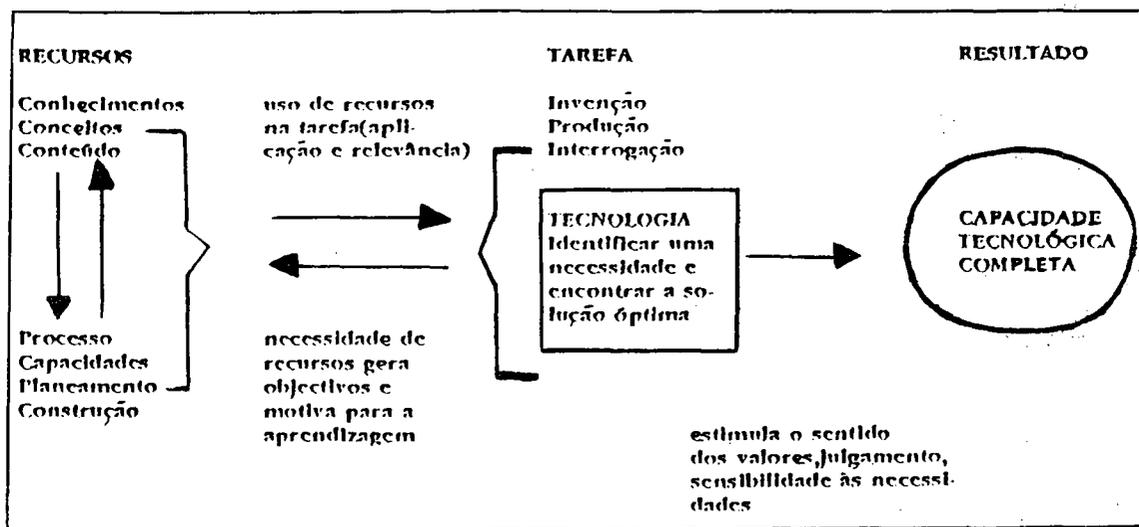


Fig. 11 — Um modelo de educação tecnológica.

Uma vez possuídos os recursos, deve ser dada a possibilidade de realizar tarefas tecnológicas na identificação de necessidades, no planeamento, na optimização dos recursos, no encontrar de soluções e de testar os resultados finais.

Tal experiência de aprendizagem vai de encontro à definição de Tecnologia dada na parte I deste artigo.

## 3. Conclusões, Resoluções e Recomendações da «Second Nordic Conference on Science and Technology Education, Finland», Agosto, 1989

### 3.1. A Educação Tecnológica no Contexto da Educação Científica

Considerando a importância da educação tecnológica no actual contexto da educação,

reafirmaram-se nesta conferência *as recomendações* dos estados membros da CEE e da Organização Internacional dos Educadores de Ciência e Tecnologia (IOSTE, Kiel, 1987), propondo ao representante da UNESCO ali presente a organização de um encontro entre estados membros do INISTE «International Network for Information In Science and Technology», com a finalidade de discutir:

- as relações entre a educação científica e tecnológica e as estratégias de inovações necessárias para assegurar o importante papel que a educação tecnológica tem nas sociedades actuais e futuras;
- a implementação de cursos de formação contínua e inicial de professores;
- o impacto potencial da educação tecnológica na orientação vocacional como parte da educação geral básica e complementar;
- organização de várias actividades para o desenvolvimento do tema «Ciência e Sociedade».

### 3.2. Recomendações para Apresentação na «World Conference on Education for All-Meeting on Basic Learning Needs», Tailândia, Março 1990

1—A educação para todos deve incluir ciência para todos, com ênfases numa formação científica funcional e o reconhecimento de que a formação científica deve ser considerada básica tanto para adultos como para jovens;

2—Deve ser dada prioridade de apoio à educação primária básica para o desenvolvimento de uma educação científica e tecnológica directamente relacionada com o ambiente local em todos os seus aspectos;

3—Educação básica em muitos países terá de expandir-se para além da escola a nível local. Terão de ser criados sistemas de divulgação que incluam a rádio, televisão e os jornais, de forma a tornar acessível e compreensível ao

grande público uma cultura científica e tecnológica básica relacionada com o ambiente e as necessidades da comunidade.

Neste contexto deve ser dada alta prioridade às jovens e mulheres.

4—Deve ser dada atenção especial à educação e formação quer inicial quer contínua de professores de *Ciência para todos*, particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento de capacidades de comunicação científica através de trabalhos experimentais e resolução de problemas.

### 3.3. Intercâmbio de Materiais Audiovisuais entre os Professores de Ciências

Os países nórdicos têm um sistema de cooperação e colaboração a nível da educação bastante desenvolvido e activo. Por outro lado têm estreitas relações com o INISTE da UNESCO, promovendo um intercâmbio de materiais audiovisuais entre os professores de ciências nos países membros (e não só). Cada participante deve contribuir com «videotapes» para as aulas sobre tópicos específicos, como por exemplo:

- métodos de ensino;
- aplicações das várias teorias da aprendizagem;
- actividades extra-escolares para os alunos;
- inovações nos trabalhos experimentais;
- comparação de diferentes estilos de professores;
- temas interdisciplinares de educação ambiental.

Estes materiais deverão ser desenvolvidos e distribuídos para avaliação e comentários e, posterior reprodução e divulgação a outros professores e escolas com o apoio da UNESCO. Os resultados preliminares deste projecto (já iniciado) deverão ser discutidos na «Terceira Conferência Nórdica sobre Educação Científica e Tecnológica» a realizar na Noruega no verão de 1991.

Nesta mesma conferência serão ainda tratados os seguintes tópicos:

1—O papel da ciência e da tecnologia na educação ambiental. As questões a serem consideradas incluem:

- como é que cada país define educação ambiental?
- quais as capacidades científicas necessárias para uma educação científica ambiental?
- quais os exemplos de projectos que possam ser considerados como projectos de educação científica ambiental?

2—Formação inicial e contínua de professores de ciências e tecnologia para uma educação científica ambiental (exemplos de cada país).

3—Avaliação de actividades do INISTE em países nórdicos e outros.

4—Discussão de projectos interdisciplinares de educação científica ambiental com impacto na resolução de problemas a nível local e/ou regional e/ou nacional.

Para os professores portugueses que estejam interessados em participar e obter mais informações, deverão dirigir-se a um dos seguintes endereços:

Prof. Hannu Kultunen  
National Board of General Education  
Hakaniemenkatu 2  
SF 00530 HEISINKI  
Finland

ou

International Network for Information in Science  
and Technology Education—INISTE  
UNESCO  
Place de Fontenoy 7  
75700 PARIS  
FRANCE

(A representante em Portugal do INISTE é a Prof.<sup>a</sup> Mariana Pereira do Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).

#### Nota sobre Bibliografia e Centros de Apoio

Foi pedida à UNESCO a continuação de compilação e publicação de bibliografias computadorizadas sobre tópicos específicos no campo da educação científica e tecnológica, com prioridade para os seguintes tópicos:

- educação científica: o ambiente e as mudanças globais;
- ciência, tecnologia e sociedade;
- actividades científicas e tecnológicas fora da escola;
- transferência de informação incluindo as modernas tecnologias e comunicação dentro da educação científica.

Nesta área a UNESCO publica duas séries (uma sobre ciência e tecnologia e outra sobre educação ambiental) muito interessantes e úteis, cujos documentos são grátis na maioria dos casos e podem ser enviados quando solicitados. Os professores (ou talvez a escola e mais tarde os centros de professores) podem tornar-se membros do INISTE e receber periodicamente uma «NEWSLETTER» com todas as informações no domínio da educação científica, tecnológica e ambiental. Quer a «newsletter» quer alguns documentos mais relevantes podem ser pedidos para:

Prof.<sup>a</sup> Maria Malevri  
Assistant Programme Specialist  
Science Education Section  
Division of Science, Technical & Environmental  
Education  
UNESCO  
7, Place de Fontenoy  
75700 PARIS  
FRANCE

Para finalizar gostaria ainda de referir um outro centro vocacionado exclusivamente para a formação de professores de ciências e tecnologia na Holanda, através do qual se pode receber também uma «NEWSLETTER» com informações incidindo mais no domínio tecnológico:

Prof. Marc de Vries  
Pedagogical Technological College  
P.O. Box 86 2  
5600 AV EINDHOVEN  
The Netherlands

A informação é um dos primeiros passos para a motivação pessoal em aprender mais e melhor. Estar bem informado permite participar. Participar permite realização pessoal e com esta daremos uma verdadeira contribuição como professores eficientes e seguros numa sociedade democrática.

Espero que algumas destas informações possam vir a ter utilidade para os professores de física e química e tecnologia nas escolas secundárias.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARELSE, X. F. — *Technology Education in Relation to Science Education* in «Innovations in Science and Technology Education, Vol. II, pp. 101-112, UNESCO, Paris (1988).
- CORTE-REAL, L. — *Environmental Education—A Project Work done in a Secondary School in Portugal*, in Proceedings of «Teaching Chemistry at Low Cost», UNESCO Workshop, Karlslunde Strand, Denmark (1988).
- FOSTER, S. — *Streetwise physics*. «School Science Review», Setembro 89, 75 (254), pp. 15-21 (1989).
- HARRISON, G. B. — *Teachers for Technology* in Raat J. & al. «Basic Principles of School Technology», pp. 485-508, Report of PATT 3 Conference, Eindhoven University of Technology, the Netherlands (1988).
- KAMPMAN, J. — *Skolehistorie i Danmark*. Royal Danish School of Educational Studies (1988).
- KAHN, M. — *Physics in a technological context*. School Science Review, Setembro 89, 75 (254), pp. 9-13 (1989).
- Lei de Bases do Sistema Educativo, 1986.
- LEWIS, J. L. — *Science and Technology and Futur Human Needs*. Pergamon Press (1987).
- MARTINS, A. — *In Service Teacher Training for Physics and Chemistry Teachers in Portugal*, estudos prévios de tese de doutoramento não publicados (1989).
- MOURÃO, C., RAMINHO, J. — *A Educação Tecnológica na Escolaridade Obrigatória*. Gabinete de Estudos e Planeamento, Ministério da Educação, Lisboa, Portugal.
- Proceedings da 2<sup>nd</sup> Nordic Conference in Science and Technology Education—*Innovations in Science Education*. Heinola, Finland, August 1989.
- Proceedings da «Internation Foundation for School Improvement—The Dutch case», the Netherlands, Junho 1989.

### New carbon structures; beyond Diamond and Graphite ...

The discovery of new Carbon molecules:  
C<sub>28</sub>, C<sub>32</sub>, C<sub>50</sub>, C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub> ...

• It is well known that pure carbon can exhibit two distinct crystal structures: Diamond, with cubic unit cell symmetry, and Graphite, having hexagonal unit cell symmetry. Due to the translational symmetry of such crystal lattices, the structures can accommodate any number (N) of carbon atoms, forming ideally an *infinite crystal* ( $N \rightarrow \infty$ ) where surface effects are virtually negligible.

• Recent and exciting discoveries [1] show that pure carbon can also form *finite molecules* with specific number of atoms, distributed in space in well defined molecular structures. Molecules with 28, 32, 50, 60 and 70 carbon atoms have been discovered and their intrinsic structure characterized.

• These new carbon molecules are called «fullerenes» and exhibit a peculiar football-shaped geometry, as shown in the cover of the present *Gazeta de Física* issue.

• There appear to be boundless possibilities for these new molecules, both as a starting chemical for making new products and as a new material. Scientists are already speculating on its potential as a lubricant — a collection of molecular ball bearings — as a semiconductor and as catalyst. Solid C<sub>60</sub> doped with potassium atoms behaves as a superconductor at the relatively high temperature of 19.3 K.

1. For an introductory review, see *New Scientist*, pages 34-38, 6 July issue (1991).

(Adaptação de J. Bessa Sousa)

# Uma experiência didáctica com um sistema de refrigeração

J. F. M. AZEVEDO E SILVA

Departamento de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa

*É utilizado um sistema de refrigeração para ilustrar alguns conceitos da Termodinâmica subjacentes às determinações experimentais.*

## 1. Introdução

É bem conhecido o facto de que alguns conceitos da Termodinâmica, embora simples, são muitas vezes mal apreendidos pelos estudantes, devido à sua subtilidade.

O objectivo deste artigo é tentar clarificar o ensino de alguns desses conceitos através da observação e execução de uma experiência que utiliza um sistema de refrigeração análogo a um vulgar frigorífico doméstico.

O dispositivo experimental é muito simples e pode ser facilmente montado por um técnico de frio competente.

A experiência tem sido realizada rotineiramente nas aulas práticas do Departamento de Física da F.C.L..

## 2. Termodinâmica

A operação de uma máquina frigorífica pode ser descrita pelos efeitos que produz na sua vizinhança, ignorando completamente os pormenores do seu funcionamento. Neste sentido, a máquina pode ser encarada como uma «caixa negra», ou superfície de controlo, através de cujas fronteiras se observam transferência de energia tipo calor e tipo trabalho.

No caso particular de um frigorífico doméstico, o sistema de compressão do vapor absorve calor dos corpos ou fluidos que se pretende arrefecer, transferindo depois esse calor, através do condensador, para a atmosfera que constitui a vizinhança. Para desempenhar essa função, o sistema tem que receber energia do exterior que lhe é fornecida ligando o sistema à tomada da electricidade a fim de alimentar o compressor. Na Fig. 1 representa-se esquematicamente um frigorífico deste tipo. As principais transferên-

cias de energia são, desprezando as pequenas trocas verificadas nas tubagens, as seguintes:

- remoção de energia sob a forma de calor,

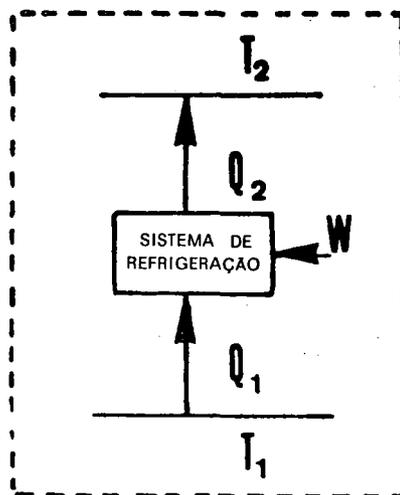


Fig. 1—Esquema geral de um sistema de refrigeração, ou máquina frigorífica, mostrando as transferências de calor e trabalho. O calor  $Q_1$  é retirado aos produtos refrigerados à temperatura  $T_1$  e o calor  $Q_2$  é rejeitado para a atmosfera à temperatura  $T_2 \geq T_1$ . A máquina recebe o trabalho  $W$  para funcionar.

$Q_1$ , dos produtos refrigerados que estão à temperatura absoluta  $T_1$ , no evaporador; 2) fornecimento de energia sob a forma de trabalho,  $W$ , ao sistema e 3) rejeição de energia sob a forma de calor,  $Q_2$ , para a atmosfera à temperatura  $T_2 > T_1$ , no condensador.

Para um sistema deste tipo, funcionando por ciclos, o Primeiro Princípio da Termodinâmica pode escrever-se, para um ciclo:

$$Q_1 + W = Q_2 \quad (1)$$

Se o regime de funcionamento da máquina for estacionário, as transferências de calor

podem ser expressas em taxas em relação ao tempo,  $\dot{Q}_1$  e  $\dot{Q}_2$ , e o trabalho em termos de potência  $P = \dot{W}$ .

Nesse caso vem:

$$P = \dot{W} = \dot{Q}_2 - \dot{Q}_1 \quad (2)$$

O Segundo Princípio da Termodinâmica, diz-nos que a entropia de um sistema isolado <sup>(1)</sup> não pode diminuir.

Considerando a linha a tracejado da Fig. 1 como a fronteira de um tal sistema isolado, ou Universo Termodinâmico, podemos escrever:

$$dS_{UT} = dS_{MF} + dS_{VIZ} \geq 0 \quad (3)$$

onde  $dS_{UT}$  é a variação de entropia do Universo Termodinâmico e  $dS_{MF}$  e  $dS_{VIZ}$  são, respectivamente, as variações de entropia da máquina frigorífica e da vizinhança que, neste caso, é constituída pelos produtos refrigerados e pela atmosfera exterior.

Admitindo que a máquina funciona por ciclos, deve verificar-se  $dS_{MF} = 0$ , e portanto:

$$dS_{UT} \geq 0 \quad (4)$$

onde o sinal de igualdade é válido para ciclos reversíveis.

Neste ponto, pode chamar-se imediatamente a atenção do estudante para o facto de que a irreversibilidade do ciclo não significa que se tenha de verificar  $dS_{MF} > 0$ . A irreversibilidade do ciclo é condicionada pela variação de entropia da vizinhança, e o que tem de verificar-se, na realidade, é  $dS_{VIZ} > 0$ , o que quer dizer que o processo é, pelo menos, externamente irreversível. No entanto, a variação de entropia do fluido refrigerante, ao longo de um ciclo, é sempre igual a zero pela própria definição de ciclo seja ele reversível ou irreversível.

O Segundo Princípio, no enunciado de Clausius, diz que na Eq. (1), não podemos ter  $W = 0$ . Isto é o mesmo que afirmar que, para a máquina trabalhar, tem de lhe ser fornecida energia: não existe o frigorífico perfeito.

Mas o enunciado de Clausius vai mais longe e demonstra que existe um determinado coeficiente de eficiência máxima, que não pode ser excedido sem violar a lei.

Carnot mostrou que, para esse coeficiente de eficiência máximo,  $\epsilon$ , poderíamos escrever:

$$Q_1/T_1 = Q_2/T_2 \quad (5)$$

e, consequentemente:

$$\epsilon = Q_1/W = 1/[(T_2/T_1) - 1] \quad (6)$$

Deve-se esclarecer o estudante que o coeficiente de Clausius,  $\epsilon$ , é válido para qualquer ciclo reversível funcionando apenas entre as duas temperaturas absolutas  $T_1$  e  $T_2$  e não se restringe só ao ciclo de Carnot.

A eficiência de Clausius é a máxima que pode ser atingida quando se refrigeram produtos à temperatura  $T_1$ , com rejeição de calor à temperatura  $T_2 > T_1$ .

Duas das condições necessárias a verificar, durante as transferências de calor, para atingir essa eficiência máxima são: a) não haver diferença de temperatura entre o fluido refrigerante que atravessa o evaporador e os produtos refrigerados, à temperatura  $T_1$ ; b) não haver diferença de temperatura entre o fluido refrigerante que atravessa o condensador e a atmosfera exterior, para a qual o calor é transferido, à temperatura  $T_2$ .

Mas, como se sabe, é impossível haver transferência de calor entre dois sistemas sem haver diferença de temperatura entre eles. Essas diferenças não podem ser eliminadas, mas podem ser reduzidas a valores muito pequenos, se se providenciarem áreas de permuta suficientemente extensas. Na prática, são considerações económicas que condicionam o valor dessas diferenças. Em geral a temperatura dos produtos refrigerados está 5K a 10K acima da temperatura do refrigerante no evaporador, e a temperatura da atmosfera exterior está 5K a 10K abaixo da temperatura do refrigerante no condensador.

Assim, o coeficiente de eficiência é sempre muito menor que o valor teórico máximo, o

(1) O conceito da existência real de um sistema isolado, tão cómodo para a Termodinâmica, tem de ser encarado com alguma precaução para não conduzir a falsas interpretações das leis da Física. (Ver, por exemplo, Callen, H. B. «Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics», Wiley, 1985).

que quer dizer que o processo é irreversível; e isto é uma consequência directa da necessidade de haver diferenças finitas de temperatura para poderem ocorrer transferências de calor, o que significa, por outro lado, que esses processos não são uma sucessão de estados de equilíbrio, não podendo por isso ser reversíveis.

Vê-se, portanto, que independentemente de qualquer outra consideração como, por exemplo, o atrito no compressor, ou a expansão na válvula de expansão, a simples necessidade da existência de gradientes de temperatura nos pontos de transferência de calor implica, por si só, a irreversibilidade do processo de refrigeração no seu conjunto. As duas maiores contribuições para essa irreversibilidade surgem precisamente dos aumentos de entropia devidos a essas transferências.

### 3. Os processos individuais no ciclo de refrigeração

Na Fig. 2 estão representados esquematicamente os componentes essenciais de um sistema de refrigeração por compressão de vapor.

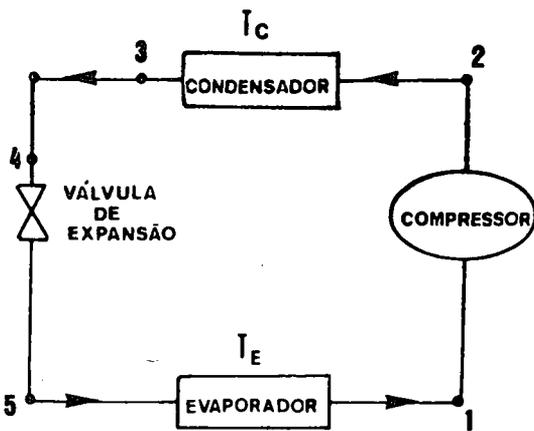


Fig. 2 — Componentes essenciais de um sistema de refrigeração por compressão de vapor. A temperatura de condensação,  $T_C$ , é tal que  $T_C > T_2$  (ver Fig. 1), e a temperatura de evaporação,  $T_E$ , é tal que  $T_E \leq T_1$  (ver Fig. 1). As temperaturas do refrigerante são medidas nos pontos 1, 2, 3, 4 e 5, no dispositivo experimental.

Um fluido volátil entra em ebulição no evaporador e condensa-se no condensador às temperaturas correspondentes às respectivas

tensões de vapor. As transferências de calor relevantes para o processo dão-se principalmente nesses dois componentes, sob a forma de calores latentes de vaporização e de condensação. A válvula de expansão serve para manter a diferença de pressões entre o condensador e o evaporador, com o conseqüente abaixamento acentuado da temperatura. O compressor, que é o único componente mecânico do sistema, comprime o fluido da pressão de evaporação (a que também se chama pressão de aspiração,  $P_A$ ) até à pressão de condensação (a que também se chama pressão de compressão,  $P_C$ ).

A Fig. 3 mostra o ciclo completo com sobre-aquecimento, (ponto 1), e sub-arrefecimento, (ponto 4), no diagrama  $\log p - h$ . Aqui pode chamar-se a atenção do estudante para três factos: a) a entalpia específica,  $h$ , é um dos potenciais termodinâmicos mais úteis neste caso, visto que as transições de fase que se dão durante o ciclo são a pressão constante; b) a importância do conceito de calor latente como sendo a variação de entalpia numa transição de fase de primeira espécie; c) a variação da pressão do refrigerante na válvula

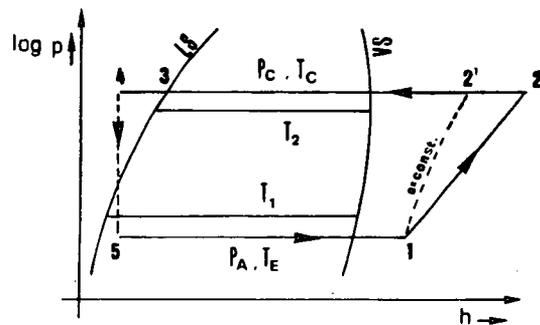


Fig. 3 — O ciclo de compressão de vapor com sobre-aquecimento (ponto 1) e sub-arrefecimento (ponto 4), no diagrama  $\log p - h$ .  $P_A$  e  $P_C$  são as pressões de aspiração e de compressão;  $T_E$  e  $T_C$  são as temperaturas de evaporação e de condensação;  $T_1$  e  $T_2$  são as temperaturas referidas na Fig. 1; LS e VS representam, respectivamente, as linhas de líquido saturado e de vapor saturado do refrigerante. A linha a tracejado unindo os pontos 2 e 2' é uma linha de entropia constante. Notar que  $T_E$  e  $T_C$  são constantes apenas ao longo das transições de fase, ou seja, entre as linhas LS e VS, e que a linha a tracejado unindo os pontos 4 e 5 representa um processo que não pode ser uma sucessão de estados de equilíbrio.

de expansão pode ser de mais de uma ordem de grandeza.

A aprendizagem da consulta de tabelas e diagramas é muito instrutiva ao tratar da representação do ciclo nos diversos diagramas representativos.

#### 4. Os diferentes processos do ciclo de refrigeração

Na análise dos processos de fluxo contínuo, é usual definir-se um volume de controlo, que não é mais que a região do espaço que se está a considerar para o estudo do processo termodinâmico em questão. A fronteira do volume de controlo é a superfície de controlo que já atrás se referiu, através da qual se verificam as transferências de energia.

Também neste caso, a entalpia específica é um dos potenciais termodinâmicos mais úteis.

A entalpia específica,  $h$ , de um sistema termodinâmico é definida pela equação:

$$h = u + pv \quad (7)$$

em que  $u$  é a energia interna específica,  $p$  a pressão, e  $v$  o volume específico.

No caso particular do processo de refrigeração, que é um processo de fluxo contínuo estacionário, a entalpia específica do refrigerante nos pontos da sua entrada e da sua saída do volume de controlo definido para o componente é, portanto, a soma da energia interna específica,  $u$ , nesses pontos com o produto da pressão pelo volume específico nesses mesmos pontos,  $pv$ .

Este último termo,  $pv$ , representa, na realidade, o trabalho que a unidade de massa do refrigerante tem de realizar para forçar a sua entrada e a sua saída no volume de controlo do componente. Este trabalho denomina-se trabalho de fluxo.

O trabalho de fluxo é apenas parte de toda a energia do tipo trabalho trocada entre o volume de controlo do componente e a sua vizinhança, e está associado, pois, à força que o fluido que vai entrar (ou sair) tem de realizar para deslocar o fluido que ainda se encontra à entrada (ou à saída).

O conceito de entalpia é, portanto, muito útil, neste contexto, para a formulação do Primeiro Princípio da Termodinâmica para processos de fluxo contínuo estacionário que é traduzido pela equação:

$$\dot{Q} + \dot{W} = \dot{m} [(h_2 + 1/2 V_2^2 + gz_2) - (h_1 + 1/2 V_1^2 + gz_1)] \quad (8)$$

Esta equação pode ser aplicada separadamente a cada componente individual do sistema de refrigeração.

Na Eq. (8)  $\dot{Q}$  e  $\dot{W}$  representam, respectivamente, as taxas de transferência de calor e trabalho através da superfície de controlo do componente,  $\dot{m}$  é a taxa de transferência de massa,  $h$  a entalpia específica,  $V$  a velocidade,  $z$  a altitude em relação a um nível de referência e  $g$  a aceleração da gravidade por unidade de massa.

Os índices 1 e 2 referem-se às condições do fluido refrigerante respectivamente à entrada e à saída da superfície de controlo do componente em consideração.

Os sinais de  $\dot{Q}$  e  $\dot{W}$  convencionam-se ser positivos quando há energia a entrar para o interior da superfície de controlo, e negativos no caso contrário.

Se, ao aplicar a Eq. (8) se desprezarem as variações de energia cinética e potencial, vem, para cada componente:

*Compressor:*

Estado à entrada, 1; estado à saída, 2

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \dot{W}_{\text{COM}} \\ \dot{Q} &= -\dot{Q}_{\text{COM}} \end{aligned} \quad (9)$$

$W$  é a potência a fornecer ao compressor  $\dot{Q}_{\text{COM}}$  representa as trocas de calor entre o compressor e a vizinhança.

Para o compressor, aplicando a Eq. (8), vem, portanto:

$$\dot{W}_{\text{COM}} = \dot{m} ((h_2 - h_1) + \dot{Q}_{\text{COM}}) \quad (10)$$

Aqui é importante notar que o ponto 2, na Fig. 3, para uma compressão real, tanto pode estar para a esquerda como para a direita do ponto 2' consoante a natureza do processo

de compressão particular que se esteja a considerar. Pode até acontecer que os pontos 2 e 2' coincidam indicando que a variação de entropia foi nula.

Isto não quer dizer que esse processo de compressão seja reversível. Significa simplesmente que o efeito das irreversibilidades durante a compressão, que tenderiam a aumentar a entropia, foram mais ou menos compensadas pelas transferências de calor entre o compressor e a sua vizinhança,  $\dot{Q}_{COM}$ , que a fazem decrescer.

O estudante tem que compreender que, embora o processo de compressão siga uma linha de entropia constante, isso não quer dizer que se trate de uma compressão reversível: também neste caso a reversibilidade do processo é condicionada pela variação de entropia da vizinhança.

Pode-se ainda fazer notar que geralmente se considera o processo de compressão do refrigerante como sendo adiabático devido à velocidade de rotação do veio do compressor, que não permite que haja trocas de calor significativas durante o processo.

#### Condensador:

Estado à entrada, 2; estado à saída, 3

$$\begin{aligned}\dot{W} &= 0 \\ \dot{Q} &= -\dot{Q}_C\end{aligned}\quad (11)$$

E portanto:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (12)$$

#### Válvula de expansão:

Estado à entrada, 4; estado à saída, 5

$$\dot{W} = 0 \quad (13)$$

Normalmente, na válvula de expansão, as transferências de calor podem ser desprezadas devido à rapidez do processo de expansão, embora a temperatura do corpo da válvula desça significativamente tornando-se inferior à temperatura da vizinhança. Pode considerar-se a expansão, tal como a compressão, como sendo processos adiabáticos.

Há, por outro lado, uma variação apreciável da energia cinética do refrigerante ao

atravessar a válvula. No entanto, se se definir a superfície de controlo da válvula de tal modo que a intersecção do fluxo se faça suficientemente a jusante, grande parte dessa energia já foi dissipada por efeitos de viscosidade e podemos então desprezá-la também.

Podemos escrever, neste caso:

$$0 = \dot{m}(h_5 - h_4) \quad (14)$$

ou seja:

$$h_5 = h_4 \quad (15)$$

Esta última equação determina o estado do refrigerante à saída da válvula e possibilita a localização do ponto 5 nos diagramas.

A expansão do fluido refrigerante na válvula de expansão é um processo de Joule-Thomson, que é altamente irreversível.

Este processo de expansão pode ser usado para ilustrar os desvios que um gás real apresenta em relação a um gás ideal, e também para fazer alguns comentários acerca da variação da energia interna de um gás ideal, numa expansão adiabática, em comparação com um gás real. Enquanto que no gás ideal a energia interna é função exclusiva da temperatura, no gás real isso não se verifica o que tem por consequência o arrefecimento do refrigerante embora não haja quaisquer trocas de energia com o exterior.

Pode aproveitar-se ainda este processo para acentuar o facto de que a equação dos gases ideais pode não ser a mais indicada na resolução de problemas práticos que exijam soluções quantitativas exactas.

#### Evaporador:

Estado à entrada, 5; estado à saída, 1

$$\begin{aligned}\dot{W} &= 0 \\ \dot{Q} &= \dot{Q}_E\end{aligned}\quad (16)$$

Portanto:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}(h_1 - h_5) \quad (17)$$

ou:

$$\dot{Q}_E = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (18)$$

A Eq. (18) pode ser obtida directamente, definindo a superfície de controlo de tal modo que inclua, não só o evaporador, como também

a válvula de expansão. Neste caso, não é necessário desprezar a transferência de calor na válvula de expansão. Isto é o que acontece na prática, na maioria dos casos, dado que normalmente a válvula de expansão se encontra no interior do espaço refrigerado.

À grandezza  $\dot{Q}_E$ , que é muito importante, chama-se capacidade de refrigeração do sistema. Esta quantidade é o produto de dois factores: o fluxo de refrigerante,  $\dot{m}$ , que depende da eficiência do compressor; e a diferença de entalpias,  $(h_1 - h_4)$ , que depende do refrigerante mas é independente das dimensões do sistema.

A este último factor,  $(h_1 - h_4)$ , dá-se o nome de coeficiente específico de refrigeração.

O isolamento térmico dos tubos que ligam os vários componentes do sistema merece também um comentário especial. Acontece que para esse isolamento existe uma espessura óptima para ele ser eficaz, que é um compromisso entre a sua conductividade térmica e a sua área exposta. Verifica-se em muitas instalações em que se usam tubos de pequena bitola, que o seu isolamento aumenta, na realidade, a condução do calor em vez de a reduzir.

## 5. Parte experimental

O dispositivo experimental corresponde ao desenho esquemático da Fig. 2, em conjunto com a representação do ciclo da Fig. 3.

O compressor é um Danfoss, modelo SC10B, e todos os outros componentes são dimensionados para a ele se ajustarem.

O evaporador é uma serpentina de cobre com cerca de 13 m de comprimento e 1,5 cm de diâmetro exterior, mergulhada num banho de água salgada de aproximadamente 55 litros de capacidade.

O sistema usa refrigerante R12 (Fréon-12) com valores típicos de temperatura de condensação,  $T_C \approx 30^\circ\text{C}$  e de evaporação,  $T_E \approx -10^\circ\text{C}$ .

O dispositivo está ainda equipado com dois manómetros que lêem os valores das pressões de aspiração e de compressão, os quais, em condições normais de funcionamento, se situam,

respectivamente, em  $P_A \approx 212\text{KPa}$  (valor absoluto) e  $P_C \approx 780\text{KPa}$  (valor absoluto). Estes valores estão, como era de esperar, muito próximos dos valores de saturação correspondentes a  $T_E$  e  $T_C$ .

As temperaturas aproximadas nos vários pontos do ciclo representados nas Figs. 2 e 3, são medidas com termopares de cobre-constantan fixados aos tubos com fita cola.

A Tabela I mostra os valores dessas temperaturas.

TABELA I

Ponto	$^\circ\text{C}$
1	20
2	88
3	30
4	23
5	-10

## 6. Conclusões

A dedução de quase todas as propriedades importantes deste sistema didáctico de refrigeração pode ser facilmente obtida a partir dos dados da secção anterior e das características do compressor fornecidas pelo fabricante.

No entanto, parece ser mais importante sublinhar e apontar ao estudante alguns conceitos da Termodinâmica que estão subjacentes às determinações experimentais.

## REFERÊNCIAS

- GOSNEY, W. B. — «Principles of Refrigeration», Cambridge University Press (1982).  
 RAPIN, P. J. — «Installations Frigorifiques», Éditions PYC, Paris (1982).  
 WOOD, B. D. — «Applications of Thermodynamics», Addison-Wesley Pub. Co., Reading (1969).  
 HUANG, F. F. — «Engineering Thermodynamics», Macmillan Pub. Co., N. Y. (1976).  
 ASHRAE — «Handbook of Fundamentals», ASHRAE (1968).

# Sobre a Radiação Cerenkov

M. JOÃO MARTINS

Centro de Electrodinâmica da UTL

## 1. Introdução

A radiação Cerenkov é geralmente falando a radiação que ocorre quando uma partícula se desloca num meio com velocidade superior à velocidade de fase da onda radiada.

Como não efectuámos qualquer restrição, haverá radiação Cerenkov em qualquer meio que consinta ondas. Um barco que se desloca com grande velocidade sobre a superfície calma de um lago, origina uma esteira que é radiação Cerenkov, um avião supersónico origina o chamado cone de Mach que é um fenómeno essencialmente da mesma natureza [2]. No entanto a radiação Cerenkov propriamente dita consiste no deslocamento de cargas eléctricas com velocidade superior à velocidade de fase nesse meio.

Este fenómeno foi revelado e estudado por via experimental por Cerenkov em 1934. Enquanto decorriam os trabalhos experimentais de Cerenkov, Frank e Tamm [3] publicaram a explicação teórica do fenómeno, que conduziu à atribuição de um prémio Nobel aos três cientistas em 1958.

É extraordinariamente interessante a afirmação que sobre este assunto faz Kong [5], considerando que a explicação de Frank e Tamm constituiu um triunfo da Electrodinâmica macroscópica.

Posteriormente Landau e Lifshitz [6] obtiveram, por outra via, a expressão formal da energia radiada como o caso limite das perdas de uma carga em movimento em meio material.

A radiação Cerenkov tem hoje inúmeras aplicações, nomeadamente no domínio da física experimental de altas energias. Contam-se entre estas os contadores e detectores de partículas [8], e até o controverso monopolo magnético [1] pode ser detectado por esta via, como provaremos neste artigo.

Começaremos por fazer uma breve introdução à teoria clássica do fenómeno e posteriormente generalizaremos esta análise a meios dispersivos e com perdas.

Como já dissemos a radiação Cerenkov pode revelar a existência de monopolos magnéticos o que é actualmente objecto de controversia, mas também de interesse. O assunto pode ser tratado recorrendo à dualidade das equações de Maxwell, o que em última análise se traduz por, uma vez que seja conhecida a solução eléctrica, obter a solução magnética correspondente. Com base nos resultados obtidos, propomos um método de detecção, que sendo simples nos parece eficaz para a detecção dessa partícula, caso ela exista.

## 2. Caracterização da Radiação Cerenkov

De início e numa análise simplificada que visa apenas levantar fenomenologia, consideraremos uma carga em movimento uniforme no vácuo. A ausência de matéria elimina a dispersão e permite uma análise simplificada. Como se infere da Fig. 1, entre o instante

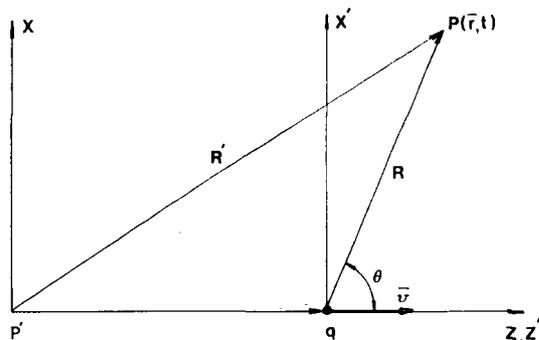


Fig. 1 —  $t'$  corresponde à posição retardada da carga,  $t$  ao instante de observação, e  $R'$  ao vector de posição.

correspondente à posição retardada da carga ( $t'$ ) e o instante de observação  $t$  existe a relação

$$t = t' + \frac{R'}{c} \quad (1)$$

em que

$$R' = [(vt' - z)^2 + (x^2 + y^2)]^{1/2}.$$

Da expressão anterior resulta

$$c^2 (t - t')^2 - (vt' - z)^2 = x^2 + y^2 \quad (2)$$

Esta expressão representa uma esfera com centro em  $(z, 0, 0)$  e cujo raio é  $c(t - t')$ .

Se for  $t$  o parâmetro variável, esta equação representa uma família de esferas concêntricas que são as sucessivas localizações das ondas emitidas no instante  $t'$ .

Se por outro lado for  $t'$  que é variável, isso determina a existência de uma família de esferas cujos centros existem ao longo da trajectória da partícula e que representam a posição num dado instante  $t$  de todas as ondas emitidas até esse instante.

Se a velocidade da partícula for inferior a  $c$ , a primeira frente de onda radiada contém as que lhe são subsequentes. Assim, em cada ponto do espaço existe apenas uma onda num dado instante (Fig. 2).

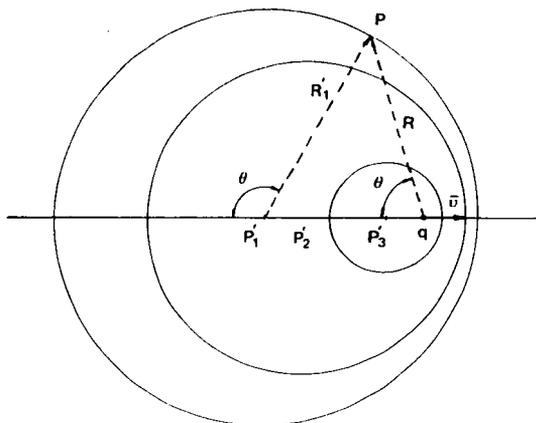


Fig. 2

Se, no entanto a velocidade da partícula exceder a velocidade de propagação das ondas

no vácuo, a própria partícula ultrapassa a frente de onda radiada, deixando para trás uma sucessão de ondas esféricas que interferem construtivamente.

Esta circunstância dá origem à existência de uma envolvente cônica, cujo vértice é a posição ocupada pela carga no instante de observação. Em todos os pontos do interior dessa envolvente verifica-se a sobreposição de duas ondas emitidas em instantes distintos. Na superfície da envolvente as duas ondas tocam-se e os seus centros coalescem. Fora da envolvente o campo anula-se (Fig. 3).

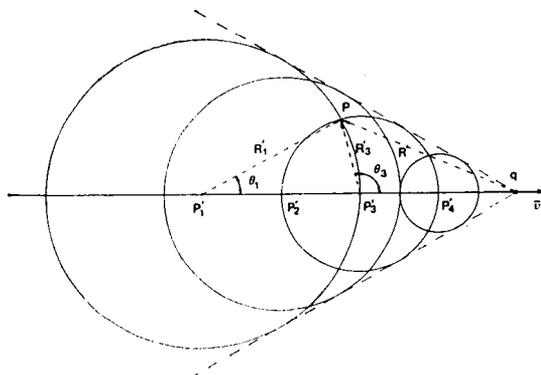


Fig. 3

Esta introdução muito genérica do fenómeno permitiu-nos apresentar os processos em causa. Vamos proceder seguidamente a uma explicação teórica do fenómeno, que nos permite analisar quantitativamente este tipo de radiação.

### 3. Teoria Clássica da Radiação Cerenkov

Quando se pretende analisar quantitativamente o fenómeno e dado que a radiação se processa em meio material, há que ter em conta a dependência dos parâmetros constitutivos da frequência.

Como é bem conhecido um método frutuoso de abordar estes problemas é o que consiste em recorrer à análise de Fourier, partindo de uma outra sinusoidal de frequência  $\omega$ , elemento genérico integrante de uma função do espaço e do tempo. Em meios materiais as relações constitutivas que macroscopicamente se definem

são função da frequência, o que constitui mais uma razão da escolha do método apresentado. Com efeito para um meio sem perdas verifica-se

$$\begin{aligned}\varepsilon(\omega) &= \varepsilon(-\omega) \\ \mu(\omega) &= \mu(-\omega)\end{aligned}\quad (3)$$

A densidade de corrente associada a uma carga que se desloca com velocidade constante ao longo do eixo dos  $z$  é dada por

$$J_z(\mathbf{r}, t) = e \delta(x) \delta(y) \delta(z - vt) \quad (4)$$

Como se pretende uma análise espectral do fenómeno em causa é conveniente usar a transformada de Fourier das quantidades presentes

$$J(\mathbf{k}, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} J(\mathbf{r}, t) \exp(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) \, d\mathbf{r} \, dt \quad (5)$$

Das equações de Maxwell, obtém-se:

$$\begin{aligned}\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} - k^2 \mathbf{E} \\ = - \frac{j\omega\mu e}{4\pi\rho^2} \delta(\rho) \exp(j\omega z/v) \mathbf{z}\end{aligned}\quad (6)$$

O campo eléctrico pode ser expresso em termos de uma função de Green

$$\mathbf{E} = \left( \mathbf{I} + \frac{\nabla\nabla}{k^2} \right) \mathbf{G} \quad (7)$$

em que  $\mathbf{I}$  designa a diádica unidade,  $k = \omega/c$  e a função de Green  $\mathbf{G}$  depende da relação existente entre a velocidade de fase das ondas no meio e a velocidade da partícula.

Quando a velocidade da partícula não excede a velocidade de fase  $v < u$

$$\mathbf{G} = \frac{j\omega\mu e}{4\pi^2} K_0(s\rho) \exp(j\omega z/v) \quad (8)$$

em que

$$s = \frac{\omega}{v} \sqrt{1 - [n(\omega)\beta]^2} \quad (9)$$

e  $K_0$  designa a função de Bessel modificada de argumento  $(s\rho)$ .

Para velocidades superiores a  $u$ , obtém-se

$$\mathbf{G} = - \frac{8\pi}{\pi\mu e} H_0^{(1)}(s'\rho) \exp(j\omega z/v) \quad (10)$$

em que  $H_0^{(1)}(s'\rho)$ , designa a função de Hankel de primeira ordem, e argumento  $(s'\rho)$ , sendo agora  $s'$  dado por

$$s' = \frac{\omega}{v} \sqrt{[n(\omega)\beta]^2 - 1} \quad (11)$$

A partir da equação (6), obtém-se as expressões dos campos.

$v < u$ :

$$\begin{aligned}\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{j e}{4\pi^2} \int_0^\infty \frac{1}{\omega\varepsilon} \left[ k^2 z + j \frac{\omega}{v} \nabla \right] \\ K_0(s\rho) \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{z}{v} \right) \right] d\omega\end{aligned}\quad (12)$$

$v > u$ :

$$\begin{aligned}\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{e}{4\pi} \int_0^\infty \frac{1}{\omega\varepsilon} \left[ k^2 z + j \frac{\omega}{v} \nabla \right] \\ H_0^{(1)}(s'\rho) \exp \left[ j\omega \left( t - \frac{z}{v} \right) \right] d\omega\end{aligned}\quad (13)$$

Uma vez que o nosso objectivo é a determinação dos campos de radiação substituiremos a função de Hankel pela sua expressão assintótica, obtendo:

$v > u$

$$\begin{aligned}\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) \approx \frac{e}{8\pi} \int \frac{1}{\omega c} \sqrt{\frac{2s}{\pi\rho}} \left[ \frac{\omega}{v} \rho - s \right] \\ \exp[-j\xi - \pi/4]\end{aligned}\quad (14)$$

em que

$$\xi = \omega \left[ t - \frac{(z \cos \theta + \rho \sin \theta)}{c} \right] \mathbf{n} \quad (15)$$

Esta expressão é análoga à que se verifica para uma onda plana propagando-se segundo

uma direcção  $R = (z \cos \theta + \rho \sin \theta)$ . Conclui-se assim que a solução obtida consiste na sobreposição de ondas planas que se propagam segundo  $R$ , estando o campo confinado por uma superfície cónica cuja semi-abertura é  $\cos \theta = 1/n(\omega) \beta$ .

Para  $v > u$ , a partícula está em avanço relativamente aos campos radiados. Pelo princípio de causalidade isso implica que cada componente de frequência  $\omega$  do campo deve tender para zero fora do cone de Cerenkov respectivo.

Efectuando a medição do ângulo é possível determinar a velocidade da partícula, sendo este um dos métodos usados na determinação de partículas de altas energias [8].

Dada a condição limiar para o efeito,  $\epsilon(\omega) \mu(\omega) \beta^2 > 1$ , pode-se concluir que há bandas de frequência bem definidas para o efeito, a que corresponde um valor bem determinado para a frequência limite de cada banda.

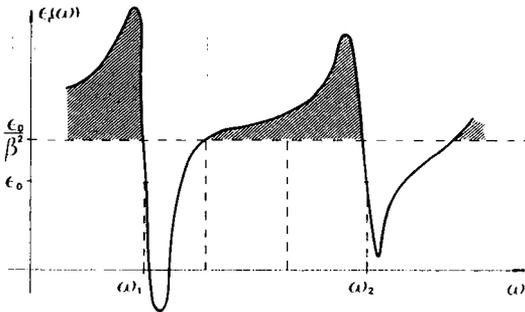


Fig. 4

Integrando no tempo o fluxo do vector de Poynting e admitindo que o intervalo de tempo no qual se processa a integração contém vários períodos de qualquer das harmónicas do sinal, só haverá contribuição para o integral em  $\omega = \omega'$ , o que conduz à fórmula clássica de Frank e Tamm para a densidade linear de energia radiada.

$$\frac{dW}{de} = \frac{e^2}{4\pi} \int_0^{+\infty} \mu(\omega) \omega \left[ 1 - \frac{1}{[n(\omega) \beta]^2} \right] d\omega \quad (16)$$

#### 4. Radiação de Monopolos Magnéticos

A introdução do conceito de monopolo magnético deve-se a Dirac [1] (1931) e tem desde então sido objecto de investigação quer em raios cósmicos e aceleradores de partículas, sem resultado positivo. De acordo com o conceito de Dirac, a relação entre a carga magnética  $e_m$  e a carga eléctrica unitária é dada por

$$e_m = \frac{n h e}{2 e} \quad (17)$$

em que  $n$  é um número inteiro.

Não efectuaremos juízos de valor sobre esse facto, mas admitiremos que caso ele exista, então a fenomenologia associada à radiação Cerenkov é um meio possível de o detectar. Aplicando a dualidade das equações de Maxwell, que consistem em estabelecer determinadas equivalências entre a solução eléctrica e a solução magnética que permite que as referidas equações revistam a mesma expressão formal, o que se traduz pelas relações seguintes.

TABELA 1

$E$	$\rightarrow$	$H$
$H$	$\rightarrow$	$-E$
$\rho_e$	$\rightarrow$	$\rho_m$
$J_e$	$\rightarrow$	$J_m$
$\epsilon$	$\rightarrow$	$\mu$
$\mu$	$\rightarrow$	$\epsilon$

Aplicando estas relações à expressão que determinámos para a energia radiada por unidade de comprimento, obtém-se

$$\frac{dW}{dz} = \frac{e_m^2}{4\pi} \int_0^{\infty} \epsilon(\omega) \omega \left[ 1 - \frac{1}{[n(\omega) \beta]^2} \right] d\omega \quad (18)$$

Como a variação de  $\epsilon(\omega)$  com a frequência é bastante mais acentuada do que aquela que se verifica para  $\mu(\omega)$  para os dieléctricos usuais, o espectro da radiação emitida por um

monopolo magnético dependerá de modo mais acentuado e previsível da frequência, sendo ainda a sua intensidade superior à que se verifica para uma carga eléctrica.

Com o fim de obtermos indicações quantitativas quanto à diferença referida, vamos usar para caracterizar o dieléctrico o modelo de Lorentz.

## 5. Modelo de Lorentz

O modelo de Lorentz permite determinar de modo simples os parâmetros constitutivos de meios materiais. Neste modelo, admite-se que os electrões e iões que constituem a matéria se comportam como osciladores harmónicos, idênticos, independentes e isotrópicos, sujeitos a uma força de Lorentz devida ao campo electromagnético aplicado.

Cada oscilador é caracterizado pela sua massa  $m$  e carga  $q=e$ , sendo a sua densidade representada por  $N_e$ . A equação dinâmica de um destes osciladores é:

$$m \ddot{\mathbf{r}} + \zeta \dot{\mathbf{r}} + \omega_0^2 \mathbf{r} = e (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (19)$$

em que  $\mathbf{r}$  designa o deslocamento do oscilador da sua posição de equilíbrio,  $\zeta$  a constante de atenuação e  $-\omega_0^2 \mathbf{r}$  a força de restituição. Admite-se ainda que o campo electromagnético que actua sobre cada oscilador é harmónico de frequência  $\omega$  e despreza-se a parte magnética da força de Lorentz.

Com estes pressupostos a polarização é dada por:

$$\mathbf{P} = \frac{\varepsilon_0 \omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - j\zeta \omega} \mathbf{E} \quad (20)$$

em que  $\omega_p$  designa a frequência de plasma do meio,  $\omega_p = \left[ \frac{Ne e^2}{\varepsilon_0 m} \right]^{1/2}$ .

A constante dieléctrica que define as propriedades do meio é pois dada por

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_0 \left[ 1 + \frac{\omega_p^2}{\omega_0^2 - \omega^2 - j\zeta \omega} \right] \quad (21)$$

cujas partes reais e imaginárias são respectivamente

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_0 \left[ 1 + \frac{\omega_p^2 (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \zeta^2 \omega^2} \right] \quad (22)$$

$$\varepsilon_i(\omega) = \frac{\varepsilon_0 \omega_p^2 \zeta \omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \zeta^2 \omega^2} \quad (23)$$

A variação destas grandezas com a frequência indica que  $\varepsilon_i(\omega)$  apresenta uma risca de absorção em  $\omega = \omega_0$  cujo valor é  $\frac{\varepsilon_0 \omega_p^2}{\zeta \omega_0}$ , sendo a largura de banda correspondente dada por  $\zeta$ .

Verifica-se que  $\varepsilon_r(\omega)$  apresenta um máximo em  $\omega_0 - \frac{\zeta}{2}$ , e um mínimo em  $\omega_0 + \frac{\zeta}{2}$  cujo

valor é  $\varepsilon_r = 1 - \frac{\varepsilon_i \max}{2}$ .

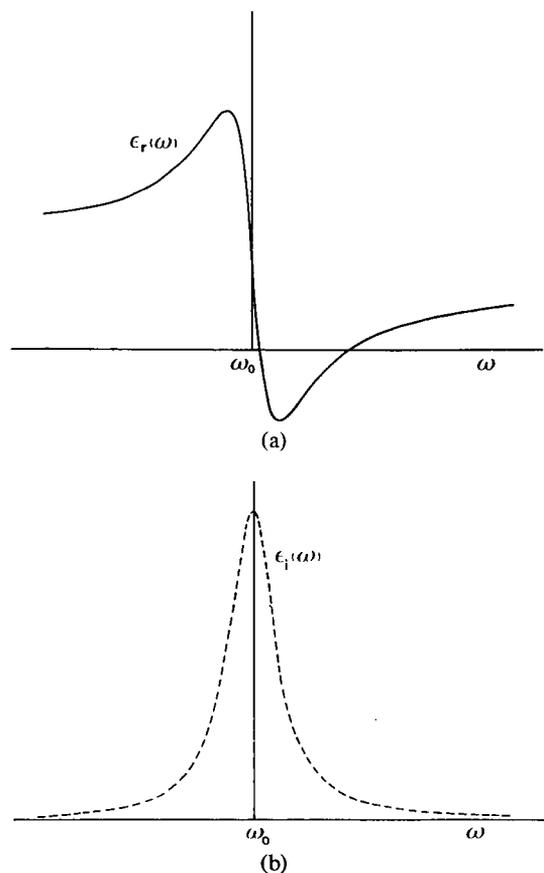


Fig. 5—Variação da parte real e imaginária de  $\varepsilon(\omega)$  com a frequência. Verifica-se a existência de uma risca de absorção em  $\omega = \omega_0$ .

# OLIMPIADAS DE FISICA SPF

## PROVAS REGIONAIS — Del. Coimbra

### PROVA PARA O 9.º ANO DE ESCOLARIDADE

1.ª parte (90 minutos)

I — (Sugestão: 30 minutos)

A — Têm à vossa disposição um copo com água e cubos de gelo. Mergulhem o gelo na água.

1 — O gelo não fica completamente mergulhado. Expliquem porquê.

2 — Que esperam que aconteça ao nível da água quando o gelo fundir completamente? Expliquem.

3 — Verifiquem se a experiência confirma, ou não, a vossa hipótese. Comentem.

B — Suponham que um grande bloco de gelo tem no seu interior um objecto metálico e se encontra a flutuar num recipiente com água.

1 — Que esperam que aconteça ao nível da água depois do gelo fundir completamente? Expliquem.

II — (Sugestão: 60 minutos)

A — Com a experiência que vos é proposta pretende-se verificar o princípio físico em que se basearam para explicar as questões anteriores.

B — Verifiquem se têm à vossa disposição o seguinte material:

1 suporte com 2 roldanas e 1 fio;

1 proveta de 250 ml;

1 proveta de 50 ml;

1 pipeta;

1 recipiente que pode suspender-se do fio;

1 recipiente grande com água;

1 cilindro cuja massa pode variar.

*Nota:* Poderão retirar a tampa do cilindro para introduzir ou retirar chumbos, fazendo

Introduzindo estas expressões na fórmula da energia radiada pelo monopolo magnético obtém-se

$$\frac{dW_m}{dz} = \frac{e_m^2}{4\pi} \int_0^1 \omega_0^2 \frac{\varepsilon_0 (1 - \eta^2 + \alpha^2 \beta^2)}{\gamma'^2 (1 - \eta^2)} d\eta \quad (24)$$

$$\text{em que } \eta = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad \alpha = \left[ \frac{\omega_p}{\omega_0} \right]^2$$

$$\text{e } \gamma' = (1 - \beta)^{-1/2}.$$

O integral referente à carga magnética é divergente em  $\eta = 1$ , o que é consequência de termos desprezado as perdas neste caso particular.

Na figura seguinte compara-se a energia radiada por um monopolo magnético ( $I_m$ ) com a que corresponde à radiação Cerenkov de uma carga eléctrica ( $I_e$ ):

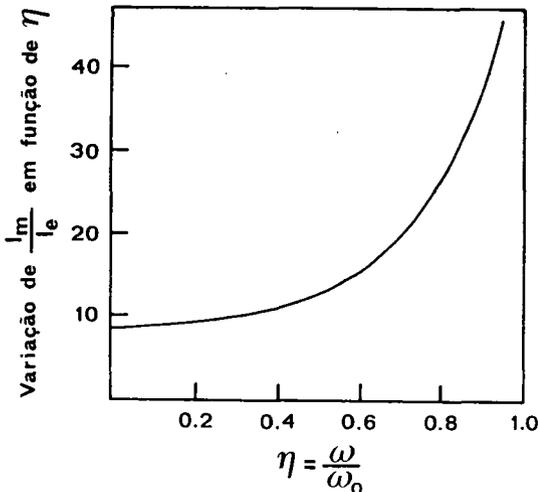


Fig. 6 — Comparação da energia radiada por efeito Cerenkov entre um monopolo magnético e um monopolo eléctrico em função do parâmetro  $\omega$ .

#### REFERÊNCIAS

- [1] DIRAC, P. — *Proc. Roy. Soc.*, A 131, 60 (1931).
- [2] FEYNMAN, R. P. — *Lectures on Physics*, vol. 1, 511, Addison-Wesley Publishing Company (1971).
- [3] FRANK e TAMM — Nobel Prize Lecture, Nobel Lectures on Physics (1942-1962), 442, Elsevier Amsterdam (1964).
- [4] JACKSON, J. D. — *Classical Electrodynamics*, Wiley, New York (1972).
- [5] KONG, J. A. — *Theory of Electromagnetic Waves*, Wiley Interscience (1975).
- [6] LANDAU, L., LIFSHITZ, E. — *Electrodynamique des Milieux Continues*, Ed. de la Paix, Moscou (1962).
- [7] MARTINS, M. João — Tese de Doutoramento (1988).
- [8] MEUNIER, R., LITT, J. — *Cerenkov Counter Technique in High Energy Physics CERN* (1973).

assim variar a sua massa. (Utilizem o cilindro cheio e depois meio de chumbos, aproximadamente).

C — Utilizando esse material planeiem uma experiência que permita verificar o princípio referido em A.

*Nota:* Se ao fim de 15 minutos sentirem dificuldade em planejar a experiência podem pedir o plano da mesma ao professor que se encontra na sala.

D — Executem a experiência e elaborem um pequeno relatório que contemple:

- 1 — Plano da experiência;
- 2 — Procedimentos;
- 3 — Medições efectuadas;
- 4 — Enunciado do princípio físico e sua verificação;
- 5 — Crítica dos resultados.

E — Retirem o chumbo do cilindro. Utilizando apenas a proveta maior com água e o cilindro, determinem o seu peso (massa volúmica da água =  $1 \text{ g/cm}^3$ ).

## 2.ª parte (75 minutos)

### I

A — As características de um circuito eléctrico, constituído por 3 lâmpadas (A, B, C) iguais, um gerador e 4 interruptores ( $i_1, i_2, i_3, i_4$ ), são:

1 — Com os interruptores todos fechados, A e B tem o mesmo brilho e C tem maior brilho que A e B.

2 — Com o interruptor  $i_3$  aberto, C não acende e A e B passam a ter maior brilho.

3 — Com o interruptor  $i_4$  aberto, nenhuma das lâmpadas acende.

4 — Com os interruptores  $i_2, i_3$  e  $i_4$  fechados,  $i_1$  aberto, A e B não acendem e C acende, brilhando mais que inicialmente.

5 — Com  $i_2$  aberto e  $i_1, i_3$  e  $i_4$  fechados, A e B não acendem e C brilha mais que inicialmente.

B — Suponham que têm à vossa disposição os aparelhos de medida que necessitarem. Façam um esquema do circuito, utilizando o número mínimo de aparelhos, que permitam determinar simultaneamente:

- 1 — A intensidade da corrente no circuito principal;
- 2 — A intensidade da corrente que percorre a lâmpada B;
- 3 — A intensidade da corrente que percorre a lâmpada A;
- 4 — A intensidade da corrente que percorre a lâmpada C;
- 5 — A d.d.p. nos terminais da lâmpada B;
- 6 — A d.d.p. nos terminais da lâmpada C.

C — Identifiquem cada um dos aparelhos de medida e justifiquem o esquema apresentado.

### II

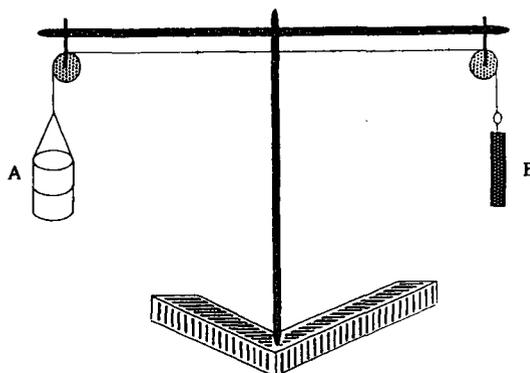
Coloquem uma moeda no copo cheio de água. Procurem uma posição em que consigam ver 3 imagens da moeda.

— Expliquem, usando esquemas apropriados, a formação destas imagens.

— Um dos elementos do grupo coloque a mão seca na parede lateral do copo oposta à posição do observador. Verifiquem o que acontece.

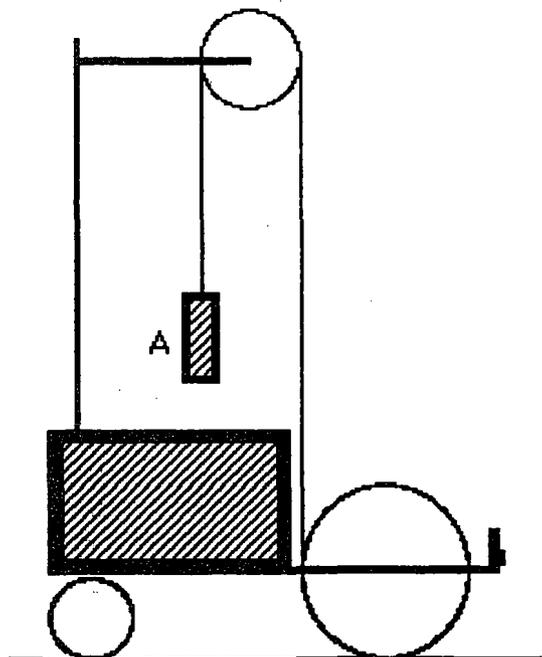
— Repitam a operação anterior com a mão molhada (bem aderente ao copo). Observem o que acontece e sugiram uma explicação.

### PLANO DE EXPERIÊNCIA





extremidade do fio está presa na roda dianteira do carro, podendo ser nela enrolado.



Quando o fio está enrolado na roda, o corpo suspenso deverá encontrar-se junto à roldana existente no extremo do varão. Ao ser ligado, este corpo desce observando-se simultaneamente um movimento acelerado do carro sobre um plano horizontal.

— Mede o espaço que o carro percorre durante a descida do corpo A. Regista o tempo correspondente à descida do corpo A (e ao simultâneo avanço do carro).

a) Admitindo que o movimento do carro é uniformemente acelerado, calcula a aceleração do movimento.

b) Como explicas o facto do movimento do carro ser acelerado? Justifica a tua resposta identificando as forças que sobre ele actuam.

c) Que previsões podes fazer relativamente à forma como irá variar a intensidade da força que o fio exerce sobre o corpo A nele suspenso, em função da massa do carro, se esta aumentar.

## II

Coloca, sucessivamente, cada um dos blocos de ferro no interior do carro.

a) Para cada um dos blocos que adicionares, determina a energia cinética do carro nos instantes em que o corpo suspenso no fio termina o seu movimento de descida.

b) Com os valores obtidos representa o gráfico da energia cinética em função da massa total do carro, nesse instante.

c) Como explicas o resultado obtido em b) relativamente à energia cinética?

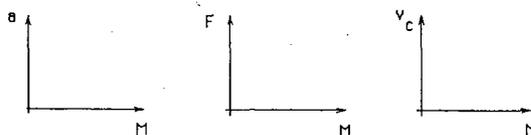
## III

A partir dos dados registados na Tabela 1 representa, em papel milimétrico, os seguintes gráficos.

a) Aceleração do movimento em função da massa total do carro.

b) Intensidade da força que o fio exerce sobre o corpo suspenso, em função da massa total do carro.

c) Módulo da velocidade do carro  $v_c$ , em função da massa total do carro, imediatamente antes da sua colisão com o anteparo de madeira.



Comenta os gráficos obtidos, recorrendo à lei fundamental da dinâmica.

## IV

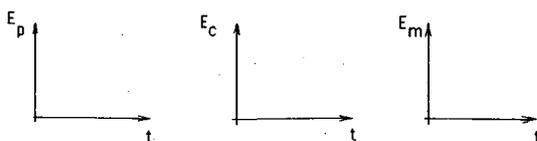
Considera os valores registados na Tabela 1, correspondentes à 2.<sup>a</sup> e 8.<sup>a</sup> experiências.

Para cada um destes casos, representa em papel milimétrico os seguintes gráficos:

a) Energia potencial,  $E_p$ , do corpo A em função do tempo.

b) Energia cinética,  $E_c$ , do corpo A em função do tempo.

c) Energia mecânica,  $E_m = E_c + E_p$ , do corpo A em função do tempo.



d) Analisa os gráficos obtidos.

## **XXIX Congresso Nacional da Associazione pel l'Insegnamento della Fisica (AIF)**

**Gaeta (Latina), 22 a 26 de Outubro de 1990**

A Associação para o Ensino da Física (AIF), que tem como objectivo principal melhorar e valorizar o ensino da Física e contribuir para uma evolução da cultura científica em Itália, organizou o seu 29.º Congresso Nacional em Gaeta (província de Latina), de 22 a 26 de Outubro de 1990.

O professor Valeriano di Biasio, Presidente da AIF, iniciou os trabalhos para cerca dos 400 participantes de toda a Itália, ligados ao Ensino Secundário e Universitário. Representantes da Bélgica, França, Jugoslávia, Polónia e Portugal foram convidados para tomarem parte nos trabalhos do Congresso.

Dentre os temas abordados revelou-se de grande importância para os docentes italianos o referente à modernização da educação científica, a reforma da Escola Elementar <sup>(1)</sup> e o Plano Nacional para a Informática. Vários seminários, papel da elaboração na didáctica da Física, papel da história da Física no ensino científico, avaliação da inovação e uma Mesa Redonda, tiveram lugar durante o Congresso.

Houve ainda uma conferência apresentada pelo Presidente da Sociedade Italiana de Física, Prof. Renato Angelo Ricci, sobre o estado actual e perspectivas da «Fusão Termonuclear Controlada».

Na intervenção da SPF, «L'Insegnamento della Fisica in Portogallo», o seu representante falou do ensino da Física a nível secundário em Portugal, mas também das estruturas da SPF, das suas actividades, dos recentes projectos de programas de Física e das relações

existentes entre a Sociedade e o Ministério da Educação.

Realce-se o grande interesse manifestado por Valeriano di Biasio, Presidente da AIF (e reeleito durante a Assembleia que decorreu paralelamente aos trabalhos do Congresso) e por Marisa Michelini, Directora da «La Fisica nella Scuola», revista da AIF, para que sejam fortalecidas as relações entre a SPF e a AIF, incluindo a publicação recíproca de trabalhos nos dois órgãos destas associações científicas, a «Gazeta de Física» e «La Fisica nella Scuola». Os trabalhos, de autores portugueses, publicados na revista F.N.S. podem ser escritos em italiano, francês ou inglês, mas deverão apresentar, necessariamente, um resumo em italiano.

A Secretária do Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique (GIREP), Silvia Pugliese Jona e Joseph Depireux (Univ. de Liège) mostraram-se receptivos a um intercâmbio e a uma manutenção regular de relações entre esta estrutura para o ensino da Física e a nossa SPF.

Assinale-se, finalmente, que também a Sociedade de Física da Polónia, na pessoa de Alicya Wojtyna-Jodko, deseja que professores de Física portugueses e polacos possam trocar opiniões que podem ser expressas na forma de artigos escritos em inglês ou em francês, a publicar na Gazeta ou na revista polaca de Educação em Física.

Os responsáveis da AIF e os colegas, professores de Física de norte a sul de Itália, desejam que este Congresso da AIF em Gaeta, tenha sido um ponto de referência para todos os que estão empenhados e preocupados com a Didáctica da Física. Desejam comparar e discutir as suas propostas, actividades e publicações com os colegas portugueses, seja em futuros encontros (seminários, cursos, ...), seja

---

(1) A «Scuola Elementar», que se sucede aos 3 anos da «Scuola Materna», é constituída por um 1.º ciclo (2 anos) e um 2.º ciclo (3 anos). Os alunos entram na «Scuola Elementar» com 6 anos de idade.

utilizando as revistas de física portuguesas e italianas.

Tal como entre nós, os docentes italianos evidenciaram o valor *altamente formativo de todas as ciências experimentais* e exigiram um «espaço» adequado no âmbito da Escola Italiana.

#### Alguns endereços de interesse:

Valeriano DI BIASIO  
Presidente dell'Associazione per  
l'Insegnamento della Fisica (AIF)  
Liceo Classico V. Pollione  
04023 FORMA (Latina)  
ITÁLIA

Marisa MICHELINI  
Directrice «La Fisica nella Scuola»  
Università di Modena  
Dipartimento di Fisica  
Via Campi, 213-A  
41100 MODENA  
ITÁLIA

Silvia PUGLIESE JONA  
Segretaria GIREP  
Via San Nazario, 22  
10015 IVREA (Torino)  
ITÁLIA

Joseph DÉPIREUX  
Vice-Presidente GIREP  
Institut de Physique  
4000 SART-TILMAN (Liège 1)  
BÉLGICA

Alicya WOJTINA-JODKO  
SNPPIT  
Skrytka Pocztowa 62  
85791 BYDGOSZCZ 32  
POLÓNIA

### Delegação Regional de Coimbra

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

— «Física Divertida» pelo Prof. Dr. Carlos Fiolha's, na Esc. Sec. da Sé e na Esc. Sec. Latino Coelho, Lamego, no dia 8/4/91; na Esc. Sec. Domingos Sequeira e na Esc. «C+S» da Murtosa, no dia 15/4/91; na Esc. Sec. José Falcão, Coimbra no

dia 17/7/91; na Esc. Sec. de Gouveia, no dia 22/4/91; na Esc. Sec. Avelar Brotero, Coimbra, no dia 23/4/91; na Esc. Sec. Alves Martins e na Esc. Sec. Emídio Navarro, Viseu, no dia 24/4/91; na Esc. Sec. Ferreira de Castro, Oliveira de Azeméis, no dia 7/5/91; na Esc. Sec. José Estêvão, Aveiro, e na Esc. Sec. de Vagos, no dia 8/5/91; na Esc. Sec. Joaquim Carvalho, Figueira da Foz, no dia 15/5/91; na Esc. Sec. n.º 3 da Covilhã, no dia 29/5/91; na Esc. Sec. de Alcobaca, no dia 30/5/91.

— «Olhos e óculos: mecanismo físico da visão» pela Prof. Dr.ª Maria José de Almeida, na Esc. «C+S» de Condeixa, no dia 11/4/91.

— «Princípios de conservação», pelo Prof. Dr. Luiz Alte da Veiga, na Esc. Sec. de Seia, no dia 11/4/91.

— «Condutores, Semicondutores e Supercondutores» pela Prof.ª Dr.ª Maria José de Almeida na Esc. Sec. Marques de Castilho, Águeda, no dia 18/4/91.

— «Relatividade Restrita» pela Prof.ª Dr.ª Maria Estela Pereira na Esc. Sec. de Santa Maria da Feira, no dia 18/4/91.

— «Computadores no laboratório: modernas tendências e novas oportunidades» pelo Prof. Dr. Francisco Cardoso na Esc. Sec. Frei Heitor Pinto, Covilhã, no dia 17/4/91; na Esc. Sec. n.º 1 da Marinha Grande, no dia 19/4/91.

— «Lasers e Holografia» pelo Prof. Dr. João de Lemos Pinto na Esc. Sec. Homem Cristo, Aveiro, no dia 24/4/91; na Esc. Sec. da Quinta das Flores, Coimbra, no dia 2/5/91; na Esc. Sec. Joaquim Carvalho, Figueira da Foz, no dia 7/5/91; na Esc. Sec. da Esgueira, Aveiro, no dia 22/5/91.

— «A natureza da luz» pela Prof.ª Dr.ª Maria Helena Caldeira, na Esc. Sec. n.º 1 de Abrantes, no dia 2/5/91; e na Esc. «C+S» da Tocha, no dia 3/6/91.

— «Teoria da Relatividade para os mais novos», pela Prof.ª Dr.ª Maria Helena Caldeira na Esc. Sec. Avelar Brotero, Coimbra, no dia 15/5/91.

— «O Núcleo Atómico: estabilidade e desintegração», pelo Prof. Dr. Adriano Pedroso Lima, na Esc. Sec. de Mira, no dia 22/5/91.

— «Física e Desporto», pela Prof.ª Dr.ª Margarida Ramalho na Esc. Sec. n.º 1 de Abrantes, no dia 6/6/91.

### 2. Olimpíadas Regionais de Física

Decorreram no passado dia 6 de Maio, no Departamento de Física da Universidade de

Coimbra, as Provas Regionais das Olimpíadas de Física / 1990, com o seguinte programa:

- 9h00 — Recepção das equipas participantes;
- 10h00 — Início das provas teórico-experimentais;
- 13h00 — Almoço;
- 14h30 — Provas de criatividade;
- 17h30 — Lanche, distribuição de prémios e encerramento.

Participaram nestas Olimpíadas 30 equipas do 9.º ano e 22 do 11.º ano em representação de 32 Escolas Secundárias e «C+S» da Zona Centro, a seguir indicadas:

Escolas Secundárias de Marquês de Castilho (Águeda); Estarreja (Estarreja); Santa Maria da Feira (Feira); Mealhada (Mealhada); Vagos (Vagos); Nuno Álvares (Castelo Branco); Fundão (Fundão); D. Dinis da Pedrulha (Coimbra); Avelar Brotero (Coimbra); José Falcão (Coimbra); Afonso de Albuquerque (Guarda); Figueiró dos Vinhos (Figueiró dos Vinhos); Domingos Sequeira (Leiria); N.º 1 da Marinha Grande (Marinha Grande); Peniche (Peniche); Alves Martins (Viseu); Emídio Navarro (Viseu); Homem Cristo (Aveiro); Murtosa («C+S», Murtosa); N.º 1 de Ovar (Ovar); N.º 3 da Covilhã (Covilhã); Cantanhede (Cantanhede); Martim de Freitas («C+S», Coimbra); Infanta D. Maria (Coimbra); Dr. Bernardino Machado (Figueira da Foz); Mira (Mira); Tocha («C+S», Tocha); Guia («C+S», Lourical); S. Martinho do Porto («C+S», S. M. do Porto); Canas de Senhorim («C+S», C. de Senhorim); Penalva do Castelo («C+S», P. do Castelo); Viriato (Viseu).

Os vencedores destas Olimpíadas Regionais foram:

#### A) *Provas teórico-experimentais:*

9.º ano:

Escola «C+S» da Murtosa, formada pelos alunos:

- Januário Vieira da Cunha;
- Daniel António da Silva Fonseca;
- Pablo de Oliveira Tavares.

11.º ano:

Escola Secundária José Falcão, Coimbra, formada pelos alunos:

- Ana Isabel de Castro Jardim;
- Alfredo Manuel Pereira G. Dias;
- João Pedro de Almeida Barreto.

#### B) *Provas de criatividade:*

9.º ano:

Escola Secundária Marquês de Castilho—Águeda, com o trabalho «Shield», formada pelos alunos:

- Marco Paulo Antunes de Oliveira;
- João Adriano Diaz David;
- Ana Matilde Rodrigues Ramos.

11.º ano:

Escola Secundária Dr. Bernardino Machado — Figueira da Foz, com o trabalho «O pescador electrónico», formada pelos alunos:

- João Manuel Lázaro Santiago;
- João Pedro Freitas Rocha;
- Marco José Custódio Lourenço.

A Delegação de Coimbra da S.P.F. contou com o apoio e patrocínio das seguintes entidades: Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Serviços Sociais da Universidade de Coimbra, Gradiva Publicações, Lda., Unidose — Com. e Dist. Alimentar, Lda., Sociedade Central de Cervejas, Proleite — Coop. Agr. Pro. de Leite Cent. Litoral e Fábricas Triunfo.

Agradece-se ainda a colaboração prestada por docentes, investigadores e funcionários do Departamento de Física da Universidade de Coimbra que, com o seu empenho, muito contribuíram para o êxito desta organização. Especial referência deve ser feita aos elementos dos júris e a todos os que prepararam, acompanharam e corrigiram as provas.

#### CURSOS DE FORMAÇÃO DA S.P.F. CUJA ORGANIZAÇÃO ESTEVE A CARGO DA DELEGAÇÃO DE COIMBRA

— «Introdução à Física das Partículas», realizado pelo Prof. Dr. Manuel Fiolhais na Esc. Sec. Manuel Gomes de Almeida, Espinho, no dia 17/4/91.

— «Introdução à Mecânica Quântica», realizado pela Prof.ª Dr.ª Maria Helena Caldeira na Esc. Sec. Dr. Bernardino Machado, Figueira da Foz, no dia 17/4/91.

— «Exploração de instrumentos no Laboratório de Física», pelos Prof. Dr. Luiz Alte da Veiga e

Dr. Décio Martins na Esc. Sec. Alves Martins, Viseu, no dia 22/4/91.

— «Teoria da Relatividade Restrita — uma abordagem elementar», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Helena Caldeira na Esc. Sec. Avelar Brotero, Coimbra, no dia 20/5/91.

— «Metodologias do ensino da física», pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marília Fernandes Thomaz na Esc. Sec. Alves Martins, Viseu, no dia 22/5/91.

## News About Comet Halley's Outburst

(ESO Press, 28 May 1991)

As reported in ESO Press Release 03/91 (22 February 1991), Comet Halley has undergone a major outburst which is seen as a 19 magnitude cloud surrounding the nucleus when the comet was more than 14 A.U. from the Sun. This is the first time such an event has ever been observed, so far from the Sun.

Comparing a large number of images which were obtained at ESO between mid-February and mid-April 1991, it is now clear that the surface brightness of the cloud has become progressively fainter while its geometric size has increased. At the same time the brightness of the central condensation around the 15-km nucleus has decreased and it has become more diffuse. The cloud mainly consists of dust grains, but a small amount of gas may also be present.

A backwards extrapolation allows to fix the epoch of the «outburst» to December  $17 \pm 4$ , 1990. However, it also seems that it would be difficult to eject the entire mass of the cloud, estimated at 100,000 metric tons, or about one millionth of the total mass of the nucleus, during a single event. It is perhaps more likely that the initial outburst has been followed by a prolonged, steady outflow. It is still not possible to determine the cause of the outburst with certainty; neither a collision, nor an internal cause can be excluded at this moment.

## 12th GENERAL CONFERENCE OF THE CONDENSED MATTER DIVISION

Prague, 6-9 April 1992, Czechoslovakia

This General Conference of the Condensed Matter Division of the European Physical Society will cover the entire field of Condensed Matter Physics, basic and applied.

The Conference will include plenary invited lectures and parallel sessions containing symposia and individual invited talks. The contributed papers will be presented as posters though some contributions may be selected for oral presentation within the symposia.

An exhibition of scientific equipment and books physics will run during the Conference.

Suggestions concerning symposia, plenary talks and invited speakers are welcome.

### Conference Deadlines

*Abstracts:* 31 December 1991

*Registration:* 31 January 1992

### Further information

The second circular will be distributed in October 1991. If you wish to receive the second circular, please write to the Conference Secretary:

DR. J. KRISTOFIK  
Institute of Physics  
Czechoslovak Academy of Sciences  
CUKROVARNICKA 10  
16200 Praha 6, Czechoslovakia  
Fax: 422-312 3184, Telex: 122018 ATOM C

★

### 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.*

*Assegurará 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*

## *Um pouco de história ...*

### **Gazeta de Física**

Prosseguindo com a divulgação dos sumários dos exemplares da Gazeta de Física publicados, iniciada na Gaz. Fís., **13**, fasc. 3, (págs. 150-152, 1990), publicamos neste número os sumários dos artigos do volume IV.

### **Volume IV (1962-1964)**

#### **Fasc. 1, Abril de 1962**

Em memória de Rutherford, por *P. M. S. Blackett, F. R. S.*

Quelques applications de la diffraction neutronique a l'étude des structures cristallines, por *Geneviève Bastin-Scoffier*

Comparaison entre les résultats expérimentaux et théoriques dans le domaine de la conversion interne, por *F. Bragança Gil*

#### Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 2, Outubro de 1962**

O centenário da Análise Espectral — os trabalhos de Bunsen e Kirchoff, e as discussões acerca da prioridade dessa descoberta, por *R. A. David Gomes*

Novo Sistema de Unidades Físicas — o Sistema Internacional (SI) — tradução, coordenação e notas marginais de *Rómulo de Carvalho*

Progressos recentes em Física Corpuscular, por *Max Hoiaux e Paul Ganz*

#### Pontos de Exames

Noticiário

#### **Fasc. 3, Janeiro de 1963**

Prof. Niels Bohr

Acerca da constituição de átomos e moléculas, por *Niels Bohr*

Símbolos, unidades e nomenclatura em Física, tradução de *J. Sousa Lopes*

Progressos recentes em Física Corpuscular, (*Continuação do número anterior*)

Lev Davidovich Landau (Prémio Nobel de Física de 1962), por *J. Sousa Lopes*

Noticiário

#### **Fasc. 4, Abril de 1963**

O ensino elementar da Cinemática por meio de gráficos, por *Rómulo de Carvalho*

A estrutura interna da Terra, por *R. O. Vicente*

Progressos recentes em Física Corpuscular (*Continuação do número anterior*)

Antologia

#### Pontos de Exames

Exames Universitários (Física)

Boletim Bibliográfico

Noticiário

#### **Fasc. 5, Julho de 1963**

Sobre o livro de Física para o 3.º ciclo dos Liceus, por *Fernando Sequeira e J. Sousa Lopes*

Sur quelques propriétés géométriques du groupe des rotations, por *Georges Lochak*

Antologia

Novas perspectivas no ensino da Física, por *F. Bragança Gil*

#### Pontos de Exames

Noticiário

Boletim bibliográfico

#### **Fasc. 6, Outubro de 1963**

Sobre o livro de Física para o 3.º ciclo dos Liceus — Análise de uma atitude e comentários de uma crítica, por *José A. Teixeira*

Dedução das Equações de Navier-Stokes e suas aplicações, por *C. M. Passos Morgado*

Alguns aspectos das titulações potenciométricas de tióis com eléctrodo de mercúrio-tiol, por *R. E. Pinto*

Uma fonte de neutrões simples e compacta

Noticiário

Boletim bibliográfico

#### **Fasc. 7, Janeiro de 1964**

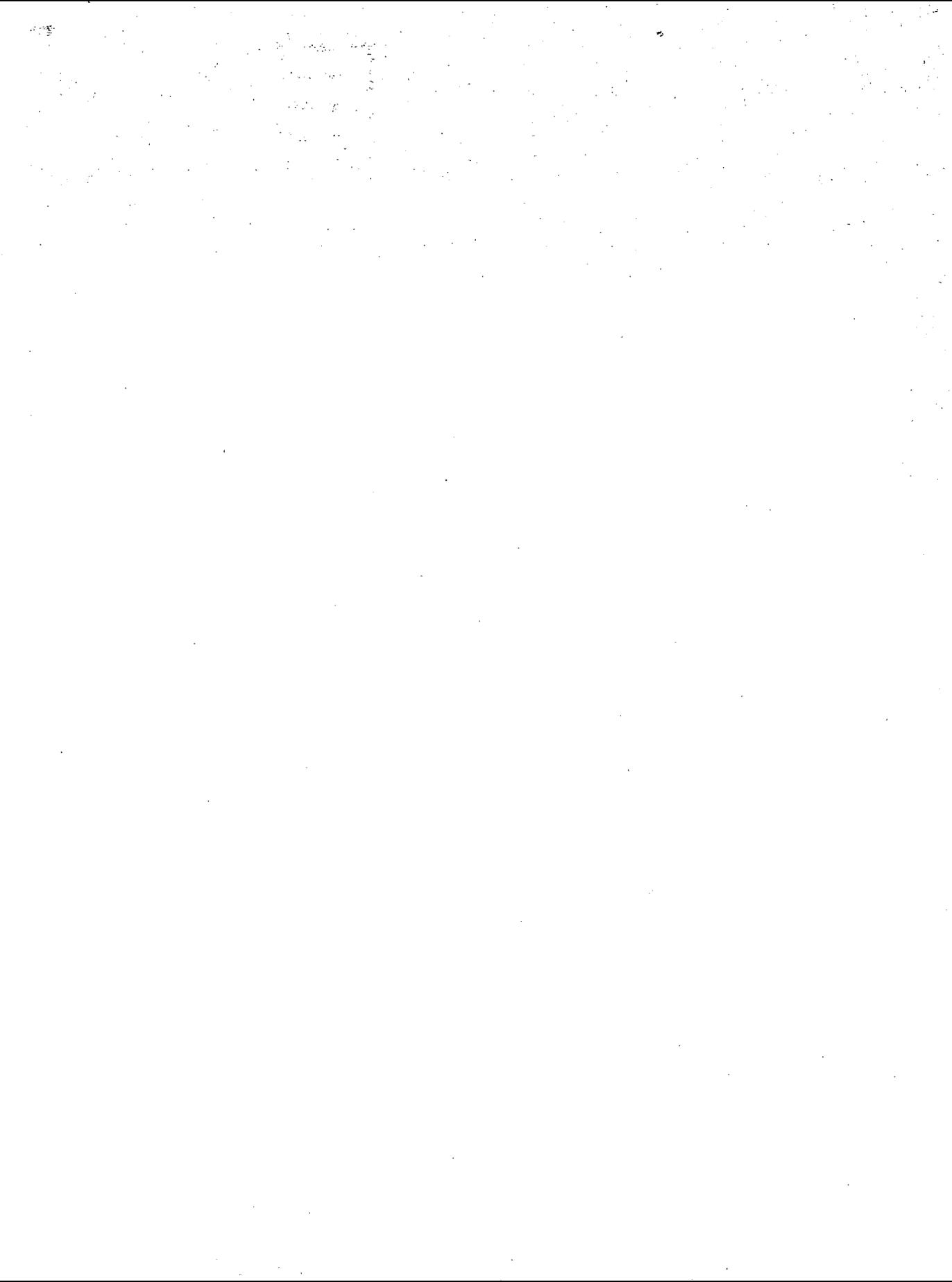
Les vérifications expérimentales de la Relativité Générale, por *Marie-Antoinette Tonnelat*

Teoria e prática da ponte de Wheatstone, por *Rómulo de Carvalho*

Progressos recentes em Física Corpuscular, por *Max Hovaus e Paul Gans (continuação)*

Noticiário

Boletim bibliográfico





VOL. 14 • FASC. 2 • JUNHO 1991

## SUMÁRIO

<b>Propriedades termo-eléctricas da hematite de Moncorvo . . . . .</b>	<b>41</b>
<i>F. Machado, J. M. Serra, A. M. Correia e L. Serrano</i>	
<b>Inovações na Educação Científica e Tecnológica. II. Modelos Curriculares. Formação e Actualização de Professores de Ciência e Tecnologia . . . . .</b>	<b>46</b>
<i>Anabela Martins</i>	
<b>Uma experiência didáctica com um sistema de refrigeração . . . . .</b>	<b>61</b>
<i>J. F. M. Azevedo e Silva</i>	
<b>Sobre a Radiação Cerenkov . . . . .</b>	<b>67</b>
<i>M. João Martins</i>	
<b>Olimpíadas de Física SPF . . . . .</b>	<b>73</b>
<b>Noticiário da Sociedade Portuguesa de Física . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>Um pouco de história... . . . .</b>	<b>80</b>