



**Observações de planetas extra-solares no Observatório  
Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira)**

**Os 50 anos do laser em Portugal - Parte II**

**Experimentar com corantes**

## Índice

## artigo geral

- 2 **Observações de planetas extra-solares no Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira)**  
Nuno Pereira Santos, Mourad Bezzeghoud, Bento Caldeira, Nuno Cardoso Santos, Mário Santana
- 8 **Aplicação do Radar de Penetração no Solo (GPR) na deteção de estruturas no âmbito nas Ciências Forenses**  
Vânia Lourenço, Bento Caldeira, João Rocha, Mourad Bezzeghoud, José Borges
- 14 **Procura de local para um radiotelescópio na Ilha da Madeira**  
Pedro Augusto
- física e sociedade
- 20 **Os 50 anos do laser em Portugal - Parte II**  
M. Ribau Teixeira, G. Figueira, J. Mendanha Dias, D. Liang, A. Pereira Leite, H. Crespo
- crónicas
- 26 **Átomo observado fica envergonhado**  
Jim Al-Khalili
- 27 **Teorias de tudo e teorias para tudo**  
Carlos Fiolhais
- notícias
- 28 **O Encontrão**  
Horácio Fernandes
- 29 **Simpósio “Frontiers of Physics” - 25 anos da Europhysics Letters**  
Flávio de Sousa Coelho, Manuel Jorge Marques
- 29 **5ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa**  
Pedro Abreu
- 30 **Workshop de fusão nuclear para professores do secundário**  
Bruno Gonçalves

Publicação Trimestral Subsidiada

## gazeta ao laboratório

- 31 **Simular uma** combustão explosiva  
Carlos Saraiva

- 34 **Estas moedas** que nos enganam  
Luís Peralta, Florbela Rêgo, Maria do Anjo Albuquerque

## vamos experimentar

- 37 **Porque é que** se espalha o corante?  
Constança Providência

## sala de professores/alunos

- 40 **Utilização de sensores no ensino das ciências**  
Adriano Sampaio e Sousa, Paulo Simeão Carvalho

- 46 **O efeito “Lucas-Spielberg” e o ensino da Física**  
Guilherme de Almeida

- 49 **Datação Radiométrica no Secundário**  
Ana Marta G. Cunha, Mário D. Cunha

## estórias e histórias

- 52 **Norman Robert Pogson e a escala de magnitudes estelares**  
Guilherme de Almeida

## onda e corpúsculo

- 58 **Sugestões para** uma aula de filosofia  
António Brotas

- 59 **Proposta-base de Revisão da Estrutura Curricular dos Ensino Básico e Secundário** apresentada pelo Ministério da Educação e Ciência (MEC)  
Carlos Portela

## livros

- 62 **O Grande Desígnio** de Hawking e Mlodinow  
Paulo Crawford

- 64 **Física para** Engenheiros  
Teresa Peña

## Física: sem fronteiras e com muita cor

A variedade de comentários e o interesse gerado pelo último número da Gazeta de Física, que foi temático versando aspectos da Física em Portugal no século XX, confirmou a nossa convicção de ser importante realizá-lo. Pela controvérsia e não só. Fomos surpreendidos pela variedade de pessoas que leram essa Gazeta, e assim, constatámos que muitos são os que se interessam pela física, mesmo não sendo profissionais da física. A conclusão retirada de todo o *feedback* obtido é que no futuro mais ou menos próximo vamos ter de visitar esse projecto para o ampliar e consolidar.

Mas neste número regressamos ao enquadramento editorial das secções usuais da Gazeta de Física, sem nos limitar apenas a um tema. Construímos assim um mosaico de artigos variados, como o que relata observações de planetas extra-solares em Portugal. Salientamos um outro, sobre a aplicação à ciência forense do Radar de Penetração nos solos, uma ferramenta tradicionalmente da geofísica. Esta utilização ilustra exemplarmente a migração de métodos científicos de um domínio para outro. A física não tem fronteiras e a sua metodologia é bem poderosa.

Neste número voltam de novo a voz e os pensamentos dos nossos dois cronistas habituais, Carlos Fiolhais e Jim Al-Khalili. O primeiro compara os dois paradigmas metodológicos da investigação em física para compreender a emergência da complexidade. Um é o método analítico-reducionista da decomposição de um sistema em elementos, de que a experiência de Rutherford é exemplo histó-

rico. O outro é o método sintético-integrador que parte de propriedades abrangentes e colectivas, exemplificado nos estudos de supercondutividade. A crónica de Jim Al-Khalili por sua vez remete-nos para a paradoxidade e o inesperado no comportamento mecânico-quântico de um átomo.

Temos também uma colecção de artigos motivadores com boas sugestões para o ensino da Física. O artigo de Constança Providência, gerou a nossa capa. Com a imaginação imagem-de-marca da autora, o artigo é feito, como sempre no *Vamos Experimentar*, para os mais pequenos. Leva-os desta vez ao mundo abstracto das moléculas, como a da água, com receitas para experiências concretas, com muita cor. A física não tem fronteiras e para as crianças muito menos.

Dada a passagem de mais um ano juntamos a tudo isto uma pitada de sugestões de mais leituras, nas escolhas de livros que coligimos para os *Top 10*. Finalmente, em *Onda e Corpúsculo*, tornamos conhecida a posição da Divisão de Educação sobre a proposta recentemente apresentada pelo Governo, e em discussão pública, sobre a revisão da estrutura curricular do ensino básico e secundário. Melhor ensino de física a esperar para o futuro?

Teresa Peña

### Ficha Técnica

#### Propriedade

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

#### Equipa

Teresa Peña (Directora Editorial)  
Gonçalo Figueira (Director Editorial Adjunto)  
Carlos Herdeiro (Editor)  
Filipe Moura (Editor)

#### Secretariado

Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

#### Colunistas e Colaboradores regulares

Ana Simões, Carlos Fiolhais, Constança Providência, Jim Al-Khalili

#### Colaboraram também neste número

A. Pereira Leite, Adriano S. Sousa, Ana Marta G. Cunha, António Brotas, António Piedade, Bento Caldeira, Bruno Gonçalves, Carlos Fiolhais, Carlos Portela, Carlos Saraiva, Dawei Liang, Flávio de Sousa Coelho, Florbela Rego, Guilherme de Almeida, Hélder Crespo, Horácio Fernandes, João M. Dias, João Rocha, Jorge Buescu, José Borges, Luís Peralta, M. Anjo Albuquerque, M. Ribau Teixeira, Manuel J. Marques, Mário D. Cunha, Mário Santana, Mourad Bezzeghoud, Nuno Cardoso Santos, Nuno Pereira Santos, Paulo Crawford, Paulo S. Carvalho, Pedro Abreu, Pedro Augusto, Vânia Lourenço

#### Design / Produção Gráfica

Dossier, Comunicação e Imagem  
www.dossier.com.pt  
NIPC 501094628

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1.800 Ex.

Publicação Trimestral Subsidiada

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Preço N.º Avulso €5,00 (inclui I.V.A.)

Assinatura Anual €15,00 (inclui I.V.A.)

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

# Observações de planetas extra-solares no Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira)

Nuno Pereira Santos<sup>1</sup>, Mourad Bezzeghoud<sup>1</sup>, Bento Caldeira<sup>1</sup>, Nuno Cardoso Santos<sup>2</sup>, Mário Santana<sup>1</sup>

1. Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora

2. Centro de Astrofísica e Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

mourad@uevora.pt

## Resumo

O estudo dos planetas extra-solares tem sido uma das áreas em maior actividade na Astronomia e inclusivamente tem impulsionado estudos em áreas como a Geofísica, para uma melhor compreensão da origem e evolução dos planetas. O projecto TRANSIT, do Centro de Geofísica de Évora, desenvolve uma campanha de acompanhamento de trânsitos de planetas extra-solares, utilizando o Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira), cujos resultados apresentamos neste trabalho. Este tipo de campanhas, ainda que com equipamento modesto (pelos padrões actuais), permitem refinar os elementos orbitais dos planetas já descobertos.

## Introdução

A confirmação da existência de planetas extra-solares (planetas em órbita de outras estrelas que não o Sol) viria a dar origem a uma das áreas de maior actividade na Astronomia actual. A investigação nesta área tem inclusivamente impulsionado estudos em outras áreas, tais como o desenvolvimento de novos equipamentos e técnicas para detecção de planetas extra-solares ou a Geofísica interna – esta última, na tentativa de explicar a relação massa-raio para planetas e a sua composição. São actualmente conhecidos mais de 700 planetas, na sua maioria em sistemas com apenas um planeta. Existem no entanto vários sistemas multiplanetários identificados.

Para a maioria destes planetas, que foram descobertos através do método das velocidades radiais, apenas temos estimativas para a sua massa mínima:

$M_{P-obs} = M_p \sin i$ , onde  $M_{P-obs}$  é a massa do planeta observada,  $M_p$  a massa real do planeta e  $i$  a inclinação da órbita relativamente ao plano do céu. A massa real do planeta  $M_p$

é igual à massa mínima no caso de  $i = 90^\circ$  e nesta situação o planeta exibiria trânsitos centrais, ou seja, o planeta passaria em frente ao disco da estrela como visto por nós. A partir das velocidades radiais não temos assim informação directa sobre o raio do planeta  $R_p$  e conseqüentemente sobre a sua densidade média, que nos forneceria pistas acerca da constituição do planeta. É aqui que o método dos trânsitos planetários se torna uma ferramenta crucial para o estudo de planetas extra-solares, permitindo obter estimativas dos parâmetros acima referidos, e desta forma é possível estabelecer já modelos da estrutura interna desses planetas. Recentemente foi realizada uma campanha de observação de trânsitos de planetas extra-solares, recorrendo ao Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira).

## O Observatório de Fronteira

O Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira) (Fig. 1), inaugurado a 4 de Julho de 2008, tem como principal objectivo a divulgação da Astronomia, quer junto das escolas, quer do público em geral, procurando também servir como ponto de atracção turística no conselho de Fronteira. Na lista dos vários equipamentos disponíveis para actividades de divulgação, encontra-se o telescópio principal do observatório, de 35 cm de diâmetro, e sendo certo que é um diâmetro pequeno pelos padrões actuais da Astronomia moderna, é já um equipamento muito utilizado em aplicações de Astronomia amadora avançada e perfeitamente capaz de observar as pequenas diminuições de fluxo nas estrelas enquanto um planeta gigante as transita. Este telescópio é suportado por uma montagem ParamountME

computorizada, sendo as imagens obtidas através de um sensor CCD SBIG ST-10XME. A focagem é também assistida por um focador automático (Figs. 2 e 3).



Fig. 1 - Observatório Astronómico da Ribeira Grande (Fronteira).



Fig. 2 - Telescópio e montagem computadorizada do Observatório Astronómico de Fronteira utilizados no projecto TRANSIT (FCT).



Fig. 3 - Sensor CCD utilizado na obtenção de dados de trânsitos planetários.

## O método dos Trânsitos

Suponhamos que em torno de uma estrela existe um planeta que a orbita, e que o plano orbital do planeta é tal que, periodicamente, o planeta passa em frente ao disco da estrela. Tal situação acontece quando o plano da órbita está muito próximo da perpendicular ao plano do céu. Certamente, muitos leitores recordar-se-ão do trânsito de Vénus, a 8 de Junho de 2004, em que foi possível observar a passagem deste planeta pelo disco solar, e que serve de certa forma para ilustrar o fenómeno dos trânsitos planetários.

Contudo, a enorme distância que nos separa das estrelas não nos permite observar directamente a travessia do planeta pelo disco estelar, pois a dimensão angular desta é muitíssimo inferior à capacidade de resolução de qualquer telescópio actual. Ainda assim, quando o planeta se encontra em frente ao disco estelar, irá obstruir parte da luz da estrela e consequentemente irá ocorrer uma diminuição do fluxo estelar. Este fenómeno vai-se repetir periodicamente, com um período igual ao da órbita do planeta. Se a estrela fosse representada por um disco de brilho uniforme de raio  $R_s$  e o planeta por um disco opaco de raio  $R_p$ , um modelo para descrever as quedas de fluxo da estrela teria apenas que ter em conta a distância  $z$  entre o centro da estrela e o centro do planeta (em raios da estrela) e a razão  $p$  dada por  $p = R_p / R_s$  (Fig. 4).

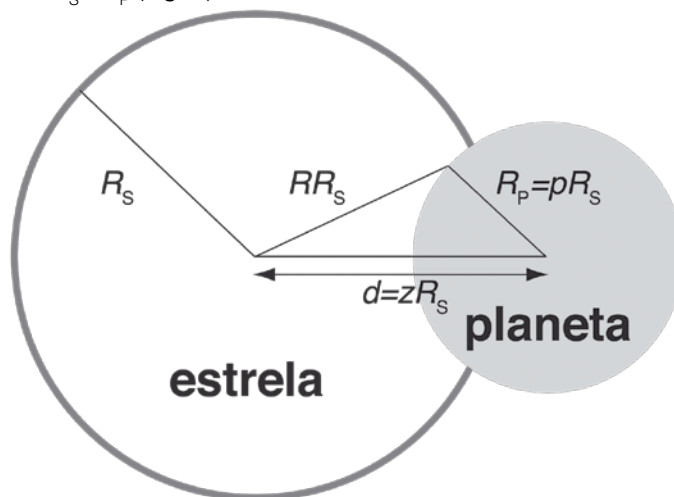


Fig. 4 - Perspectiva de um trânsito a partir do ponto de vista do observador. (Mandel & Agol, 2002 [2])

Mas na realidade, as estrelas não são discos uniformes, e para uma melhor descrição dos trânsitos, deve ser tido em conta o escurecimento do bordo estelar. Este escurecimento é descrito por várias leis empíricas, mas nos nossos modelos utilizamos apenas uma lei quadrática que utiliza dois coeficientes  $y_1$  e  $y_2$  [1] relacionados com as propriedades físicas da estrela observada. Estes permitem-nos determinar a intensidade de um dado ponto no disco estelar com precisão suficiente.

A curva de luz que descreve a queda de fluxo [2] durante o trânsito é parametrizada em função de  $p$  e da distância entre os centros do planeta e da estrela,  $z$  (Fig. 5). No entanto, os dados referentes às observações de trânsitos não tem informação sobre o parâmetro  $z$ , tem apenas informações



sobre o instante  $t$  em que cada observação foi adquirida. É então necessário modelar também a órbita planetária que para cada instante  $t$  gera o parâmetro  $z$ , que melhor descreve a queda de fluxo observada. Se se utilizar apenas dados de trânsitos planetários somente podemos obter informação acerca do valor  $p$ , do instante em que ocorre o meio do trânsito e da inclinação  $i$  da órbita em relação ao plano do céu.

A grande vantagem do método é que, quando utilizado em simultâneo com observações de velocidades radiais das estrelas, permite descrever completamente o sistema, obtendo a sua massa e, por exemplo, informações acerca da excentricidade do planeta.

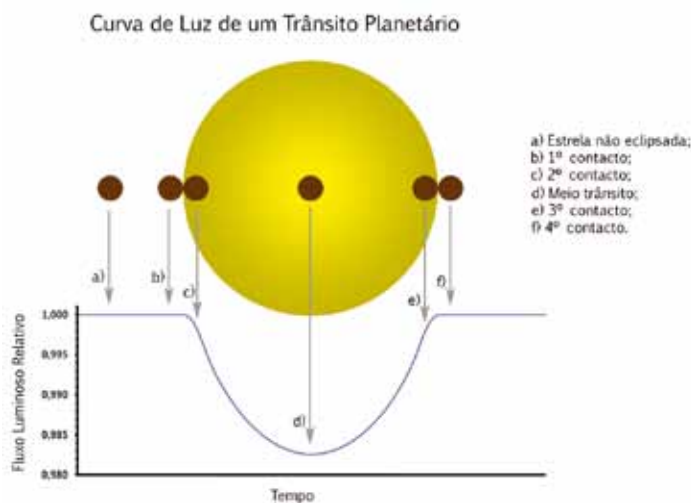


Fig. 5 - As diferentes fases de um trânsito planetário e correspondente curva de fluxo estelar normalizado.

### Observações em Fronteira

A primeira observação de um trânsito planetário no Observatório de Fronteira foi realizada a 27 de Agosto de 2009, após a realização de uma sessão de “Astronomia no Verão” (programa anual da FCT). Esta observação realizou-se após meses de espera enquanto se resolviam problemas técnicos, e por esse motivo, embora o trânsito já tivesse começado, decidimos tentar uma observação da estrela HD189733. Foi obtida uma sequência de 280 exposições do campo em redor da estrela e em cada uma destas imagens foi realizada fotometria diferencial entre a HD189733 e algumas estrelas de calibração próximas. Desta observação resultou a curva de luz da Fig. 6, onde se pode observar a queda de fluxo ao longo do trânsito, ainda que este tenha sido captado apenas parcialmente.

Os trânsitos observados têm durações típicas entre 1 e 3 horas com quedas de fluxo da ordem de 1 a 3% do fluxo estelar, o que torna as observações destes susceptíveis a erros nas medições, provenientes quer de variações de visibilidade por motivos atmosféricos, quer devido à variação de altura da estrela em relação ao horizonte. Esta variação de altura ao longo do trânsito significa que a luz da estrela atravessa diferentes massas de ar, e à semelhança do Sol que parece menos brilhante ao pôr-do-sol do que quando alto no céu, também as estrelas apresentam este comportamento. Este pode conduzir a situações de extinção

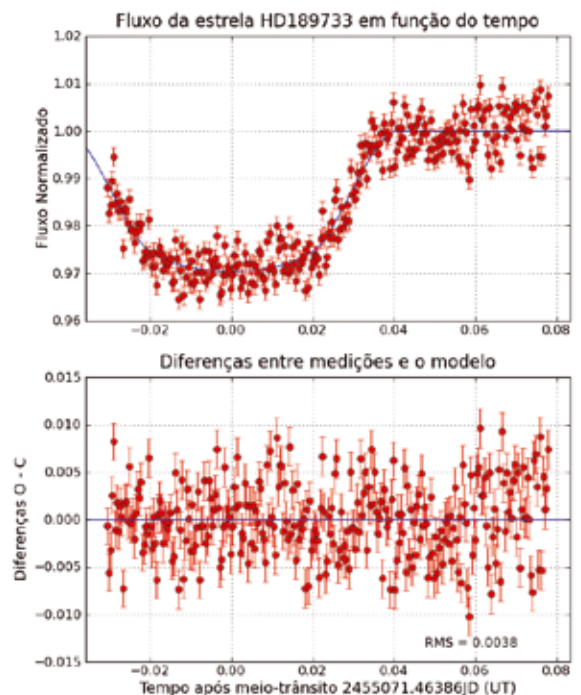


Fig. 6 - Trânsito parcial do planeta HD189733b na noite de 27-28 de Agosto de 2009 e correspondente curva ajustada.

diferencial entre as estrelas de calibração e a estrela medida, resultando em maiores erros na medição. No total foram obtidos 21 trânsitos de planetas extrassolares dos quais se destacam o trânsito do planeta WASP-10b e do planeta CoRoT-1b (figuras 7 e 8, respectivamente). Nas figuras a linha azul representa a curva de luz resultante do modelo que melhor descreve o planeta em questão. Na Tabela 1 encontram-se resumidos os parâmetros do modelo para cada planeta.

Os parâmetros obtidos podem ser comparados com os dados disponíveis na “Enciclopédia dos Planetas Extra-solares” [4]. Verifica-se uma ligeira diferença entre os valores obtidos e publicados, que se deve muito provavelmente ao ruído existente nas observações resultante do relativamente modesto diâmetro do telescópio de Fronteira.

A ocorrência de trânsitos é prevista com base na página da Associação Astronómica Checa “Extrasolar Planet Database” [5], que serve igualmente de base de dados para observações realizadas por astrónomos amadores de todo o mundo. Mais recentemente, a previsão de trânsitos foi também implementada numa rotina em linguagem Python, a qual tem igualmente servido para a previsão e comparação com os tempos obtidos.

O ajuste é feito recorrendo ao método Nelder-Mead Simplex [3] e as rotinas foram programadas em linguagem Python, tendo por base modelos já desenvolvidos para a descrição de trânsitos planetários. Os cálculos dos erros nos parâmetros obtidos estão igualmente implementados nas rotinas de ajuste.

Dos trânsitos registados destacam-se ainda dois

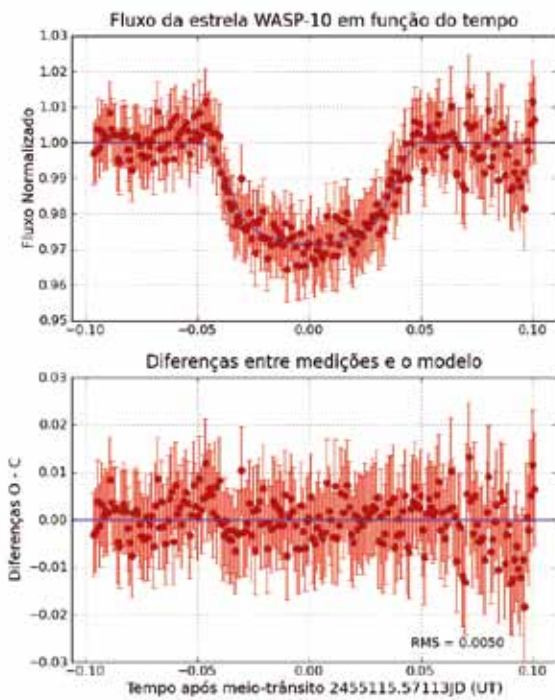


Fig. 7 - Trânsito do planeta WASP-10b na noite de 10-11 de Outubro de 2009 e correspondente curva ajustada.

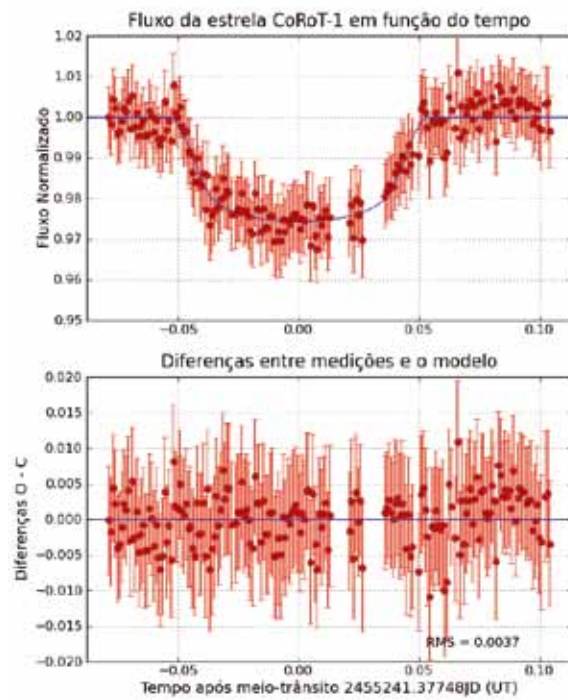


Fig. 8 - Trânsito do planeta CoRoT-1b na noite de 13 de Fevereiro de 2010 e correspondente curva ajustada.

Planeta	HD189733 b	WASP-10 b	CoRoT-1 B
Período (dias)	2.2185733	3.0927616	1.508969
Massa ( $M_{Jup}$ )	1.130	3.060	1.0300
Raio ( $R_{Jup}$ )	1.2276	1.2045	1.6021
$\rho$	0.1602	0.1582	0.1485
Inclinação (°)	85.3156	86.6855	85.6134
Duração do trânsito (minutos)	113.09	139.40	154.71
Meio-trânsito	2455071.46495 JD 2009/8/27 23:09:31 TU	2455115.57141 JD 2009/10/11 01:42:50 TU	2455241.37827 JD 2010/2/13 21:04:42 TU
Filtro	R	V	V
N.º exposições	280	222	184

Tabela 1 - Parâmetros do modelo ajustados para cada um dos trânsitos observados. Os valores de período e massa do planeta foram retirados de [4].

obtidos com recurso a um Filtro I (infravermelho próximo) das estrelas HD189733 e GJ1214 (figuras 9 e 10, respectivamente). Realçamos que, em virtude do trânsito da HD189733 ter sido captado completamente nesta observação, o ajuste já determinou os parâmetros orbitais em concordância com os valores publicados (comparar com resultados da Tabela 1). Notamos ainda que o planeta que orbita a estrela GJ1214 é possivelmente uma Super-Terra (em contraste com todos os outros que são gigantes gasosos) e também obtivemos resultados em concordância com os valores publicados. Para os leitores interessados em saber mais sobre a

campanha fotométrica e sobre o Projecto TRANSIT, podem consultar a página na internet onde estão publicados os resultados das observações<sup>1</sup>.

#### Referências

- [1] A. Claret, *Astronomy and Astrophysics* 363, 1081 (2000).
- [2] K. Mandel, E. Agol, *Astrophysical Journal*, 580, L171 (2002).
- [3] W. H. Press et al. "Numerical Recipes in FORTRAN77", Cambridge University Press (1992).
- [4] "Enciclopédia dos Planetas Extra-solares" <http://exoplanet.eu/>
- [5] "Extrasolar Planet Database" <http://var2.astro.cz/ETD/>
- [6] João Gregório, "Página pessoal de João Gregório", <http://www.atalaia.org/gregorio/exoplanetas.php>

<sup>1</sup> <http://www.transit.cge.uevora.pt>

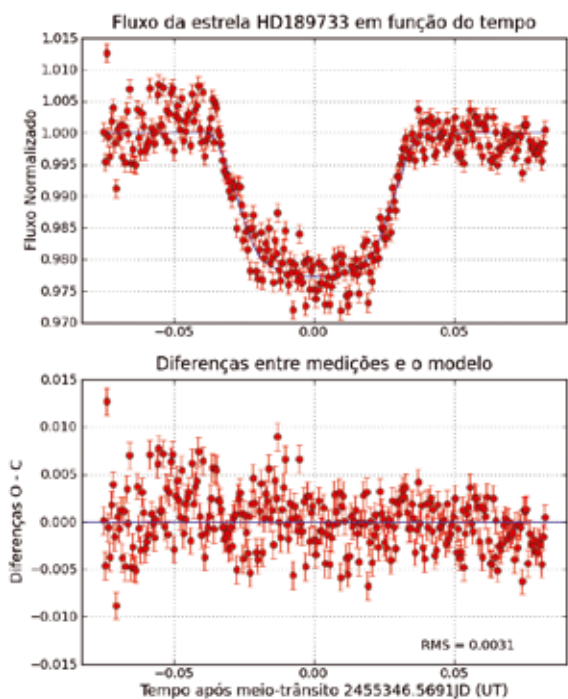


Fig. 9 - Trânsito do planeta HD189733b na noite de 29-30 de Maio de 2010 e correspondente curva ajustada.

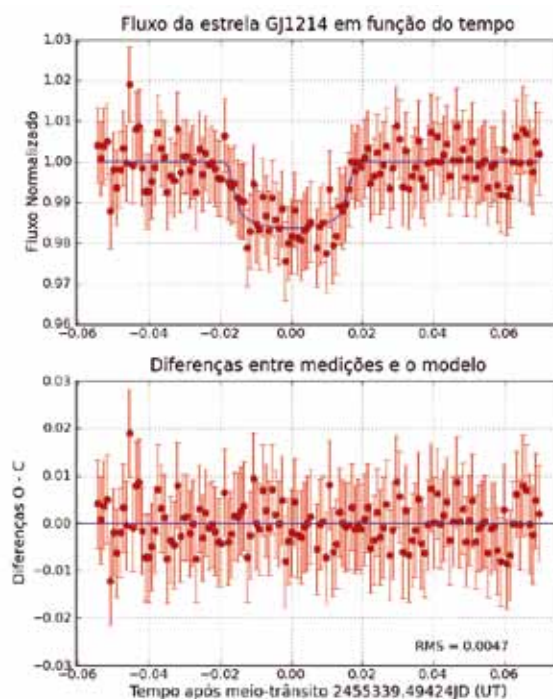


Fig. 9 - Trânsito do planeta GJ1214b na noite de 22-23 de Maio de 2010 e correspondente curva ajustada.

Planeta	HD189733 b	GJ1214 b
Período (dias)	2.2185733	1.580393
Massa ( $M_{Jup}$ )	1.130	0.0179
Raio ( $R_{Jup}$ )	1.1240	0.2454
$p$	0.1467	0.1196
Inclinação (°)	85.1323	88.9128
Duração do trânsito (minutos)	108.62	54.16
Meio-trânsito	2455346.56912 JD 2010/5/30 01:39:32 TU	2455339.49418 JD 2010/5/22 23:51:37 TU
Filtro	I	I
N.º exposições	290	139

Tabela 2 - Parâmetros do modelo ajustados para cada um dos trânsitos observados recentemente. Os valores de período e massa do planeta foram retirados de [4].

## Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (MCTES, Portugal) no âmbito do projecto TRANSIT (PTDC/CTE-AST/66643/2006). Agradecemos a colaboração prestada pela Câmara Municipal de Fronteira ao ceder o Observatório Astronómico da Ribeira Grande, para utilização na campanha fotométrica do projecto. Agradecemos ainda a João Gregório [6], astrónomo amador português, cuja experiência na observação de trânsitos planetários e conselhos úteis foram de grande utilidade para a melhoria da fotometria realizada. O Observatório Astronómico da Ribeira Grande (OARG), em Fronteira tem as portas abertas para visitas e sessões de divulgação no domínio da Astronomia.





**Nuno Pereira Santos** é finalista da licenciatura em Física na Universidade de Évora (2011). Bolseiro da FCT, integrou a equipa do projeto TRANSIT, financiado

pela FCT e liderado pelo Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora onde desenvolveu investigação na área de Astronomia, tendo desenvolvido as observações de planetas extra-solares no Observatório de Fronteira com financiamento do Município de Fronteira. Desde muito cedo se interessou pela Astronomia, tendo sido o vencedor das Olimpíadas de Nacionais Astronomia 2006-2007.



**Bento Caldeira** é licenciado em Física pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Mestre e Doutoramento em Física pela Universidade de Évora, é professor no Departamento de Física da Universidade de Évora e investigador

no Centro de Geofísica de Évora. Integra vários projetos de investigação nacionais e internacionais na área da Geofísica Interna (Sismologia, Risco sísmico e aplicação de métodos geofísicos à Arqueologia). Em complemento à atividade no ensino superior e na investigação desenvolve trabalho com professores e estudantes de Física do Ensino Secundário.



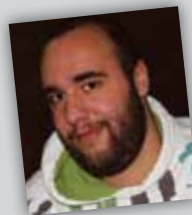
**Mourad Bezzeghoud** é licenciado em Eng. Geofísica pelo Inst. Nat. des Hydrocarbures et de la Chimie (Argélia, 1981), possui um mestrado (DEA) em Geofísica interna e Geoquímica e um doutoramento na área da Sismologia (U. Denis Diderot, Paris, 1987).

Realizou a agregação em Ciências da Terra e do Espaço (2011) na U. de Évora. Foi docente na U. Pierre et Marie Curie (Paris, 1986-88), investigador e Diretor de Depto. no Centre en Astronomie, Astrophysique et Géophysique de Argel (1988-94) onde fundou o Depto. de Sismologia e liderou a instalação das primeiras redes sísmica telemétrica e geodésica em Argélia. Foi professor/investigador convidado na École National des Mines de Paris (1985), na U. Complutense de Madrid (1996 e 2010) e na École Normal Supérieure de Paris (2011). É investigador no CGE desde 1997 e professor associado no Depto. de Física da U. Évora desde 2003, onde desempenha vários cargos de coordenação e de direção. É vice-diretor do CGE desde 2003 e lidera o grupo de investigadores no domínio da Terra Sólida do mesmo centro. Dedica a sua investigação à Geofísica/Sismologia, nomeadamente ao estudo do fenómeno sísmico e ao risco a ele associado. Tem publicado vários trabalhos na área da Sismologia e Sismotectónica, nomeadamente estudos sobre os processos de rutura sísmica na região Ibero-magrebina.



**Nuno C. Santos** é licenciado em 1996 em Física pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e mestre em Astronomia e Astrofísica pela mesma Universidade (1998).

Doutorado (2002) na área da procura estudo de planetas extra-solares e na Universidade de Genebra, Suíça. Entre 2003 e 2007 integrou o Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa e o Centro de Geofísica de Évora (2006-2007). Desde 2007 é investigador no Centro de Astrofísica da Universidade do Porto e no Departamento de Física e Astronomia da FCUP, liderando um grupo com 7 doutorados e 9 estudantes de doutoramento a trabalhar na procura e estudo de exoplanetas.



**Mário Santana** é licenciado em Física pela Universidade de Évora em 2010. Bolseiro da FCT, integrou a equipa do projeto TRANSIT, financiado pela FCT e liderado pelo Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora onde desenvolveu investigação

na área de Astronomia, com resultados apresentados em congressos. Atualmente frequenta o Mestrado de Astrofísica e Instrumentação para o Espaço na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Coimbra.

# Aplicação do Radar de Penetração no Solo (GPR) na detecção de estruturas no âmbito nas Ciências Forenses

Vânia Lourenço, Bento Caldeira, João Rocha, Mourad Bezzeghoud, José Borges

Centro de Geofísica de Évora e Departamento de Física da Universidade de Évora

vanielou@hotmail.com

## Resumo

Na base do fulgurante desenvolvimento da ciência forense está a incorporação do conhecimento e técnicas de várias especialidades científicas, onde a física ocupa lugar de relevo. Um exemplo desta articulação é o GPR (*Ground Penetrating Radar*, Radar de Penetração no Solo), que assume hoje grande importância na detecção de objectos e cadáveres enterrados. Este trabalho descreve um estudo sobre os limites de aplicabilidade do GPR em investigação forense. Foram concebidos e desenvolvidos ensaios laboratoriais (para aferir parâmetros físicos e técnicas de tratamento de dados) e de campo (onde se estudaram as condições de detectabilidade de artefactos metálicos e cadáveres de porcos enterrados). Os resultados mostram o potencial de aplicação da técnica para este fim e a possibilidade de se estimar o estado de decomposição dos cadáveres.

## Introdução

Um dos domínios de aplicação das ciências forenses prende-se com a localização de provas ocultadas no subsolo. Quando as buscas através de escavações são inviáveis por razões funcionais, tais como a presença de estruturas cujo desmantelamento é complexo; risco de destruição de provas ou; grande extensão da áreas de investigação, a resposta só pode vir por intervenção das técnicas da Geofísica. À aplicação da Geofísica neste campo dá-se o nome de Geofísica Forense. Qualquer método não invasivo, capaz de reduzir o tempo dispendido em pesquisas e escavações ou que aumente a probabilidade de localização física das provas, tem interesse relevante em Geofísica Forense. Um dos métodos que se enquadra nesse domínio é o GPR, que ultimamente tem vindo a dar provas da sua eficácia num largo espectro de aplicações geotécnicas e geológicas [1], e também, dada a sua natureza versátil, encontra nas ciên-

cias forenses um domínio importante de utilização. Diferencia-se dos demais métodos geofísicos por fornecer uma visualização detalhada das camadas próximas da superfície, possibilitada pela análise das ondas electromagnéticas reflectidas nessas camadas, e pela enorme flexibilidade de operação (equipamento leve e portátil) o que permite a cobertura rápida de grandes áreas [2].

Neste trabalho, é apresentado um estudo sobre o potencial de aplicação da técnica GPR para procurar corpos enterrados, feito em condições similares às encontradas em investigação forense. Para tal concebemos e implementámos um conjunto de situações experimentais que envolveram o enteramento de artefactos metálicos e cadáveres de animais para posterior detecção por GPR, mediante diferentes propriedades do terreno e das amostras enterradas. O trabalho surgiu no âmbito da unidade curricular “Projecto de Física” da licenciatura em Física da Universidade de Évora, onde se pretende que o estudante tenha um primeiro contacto com a investigação científica. Para isso deve propor e desenvolver um tema de investigação. Neste caso o trabalho foi também apoiado com uma bolsa BII no âmbito do Projecto de investigação SISMOD/LIS-MOT em curso no Centro de Geofísica de Évora.

## Fundamentos do GPR

A tecnologia GPR é constituída por um gerador que emite impulsos de ondas electromagnéticas através de uma antena transmissora (Tx). Essas ondas electromagnéticas são difundidas a partir da antena Tx para o meio em estudo onde se propagam com velocidade determinada principalmente pela permi-

tividade do meio ( $\epsilon$ ). Quando encontram no seu percurso objectos com diferentes propriedades eléctricas, sofrem desvios (refracção, reflexão e difracção). Parte da radiação emitida retorna à superfície onde é captada por uma antena receptora (Rx) (Figura 1), digitalizada e gravada num dispositivo de armazenamento digital para posterior interpretação.

O fundamento da aplicação de GPR para visualizar o interior das estruturas está na relação entre a velocidade das ondas e as propriedades do material. Tal como na sísmica de reflexão, a informação que se obtém das estruturas é conseguida a partir da interpretação dos intervalos de tempo que as ondas demoram a viajar desde que são emitidas até serem detectadas, depois de reflectidas nas descontinuidades que encontram – interfaces [4]. A ordem de grandeza típica dos tempos de viagem das ondas electromagnéticas observados é o nanosegundo. O principal factor que determina a profundidade de penetração das ondas emitidas pelo GPR é a frequência de operação. Em geral os equipamentos de GPR podem operar em diversas frequências, porém a cada frequência que se utilize corresponde uma

antena diferente. A escolha da frequência/antena a utilizar depende do objectivo do levantamento (dimensões e profundidade do alvo) assim como dos parâmetros físicos do meio, isto é, das condições geológicas locais. Quanto maior for a frequência das ondas usadas, maior será a definição das imagens a produzir; porém, menor é a penetração. A Tabela 1 apresenta a frequência/profundidade para cada antena.

A velocidade das ondas electromagnéticas  $v$  em qualquer meio é função da velocidade da luz no vácuo ( $c=0,3$  m/ns), da permissividade relativa (ou constante dieléctrica)  $K$ , cujos valores são tabelados [6], da permeabilidade magnética relativa  $\mu$ , e do factor de perda  $P$ ,

$$v = \frac{c}{\sqrt{\frac{K\mu}{2} (1 + \sqrt{1 + P^2})}} \quad (1)$$

em que  $P$  é dado por  $P = \sigma/\omega\epsilon$ , sendo  $\sigma$  a condutividade,  $\omega=2\pi f$  a frequência angular, e  $\epsilon = K\epsilon_0$  a permissividade do meio, sendo  $\epsilon_0$  a permissividade do vácuo ( $\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12}$  F/m).

Para materiais não magnéticos ( $\mu = 1$ ), com factores de perda baixo ( $P \approx 0$ ), como areias ou outros solos comuns, a velocidade das ondas electromagnéticas (1) reduz-se a

$$v = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (2)$$

As equações (1) e (2), atendendo aos valores dos parâmetros das constantes dieléctricas típicos dos solos, mostram que a velocidade de propagação das ondas electromagnéticas no solo é menor que no ar.

Em grande parte das utilizações de GPR, e também neste estudo, os dados são adquiridos mediante uma técnica denominada por perfil de reflexão de radar (*radar reflection profiling*), em que uma ou mais antenas de radar são deslocadas ao longo da superfície do solo em simultâneo. À medida que são registadas pelo equipamento, as leituras são representadas graficamente no ecrã; os tempos de percurso até ao reflector são representados no eixo vertical e a distância percorrida pela antena é mostrada no eixo horizontal.

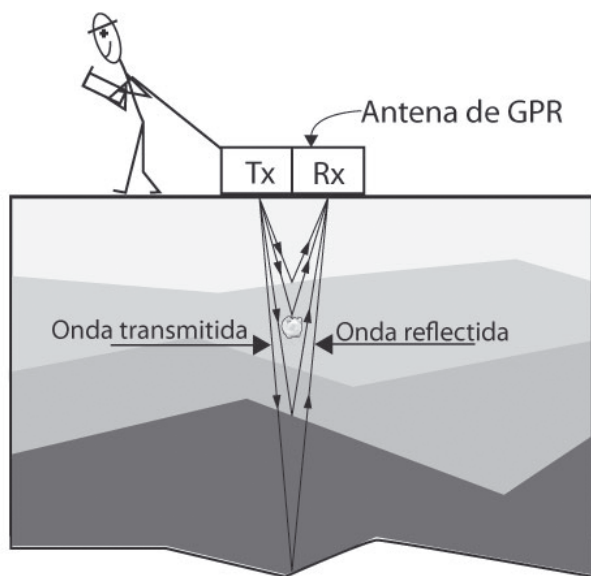


Fig. 1 - Diagrama que esquematiza a aquisição de dados por GPR.

Frequência	Aplicações	Profundidade de penetração aproximada (m)
2,6 GHz	Inspecções em cimento	0 - 0,30
1,5 / 1,6 GHz	Inspecções em cimento	0 - 0,50
900 MHz	Inspecções em cimento, identificação de vazios, arqueologia	0 - 1
400 MHz	Engenharia, meio ambiente, identificação de vazios, arqueologia	0 - 4
270 MHz	Geologia, engenharia, meio ambiente, arqueologia	0 - 6
200 MHz	Geologia, engenharia, mineração, meio ambiente, arqueologia	0 - 9
100 MHz	Geologia, meio ambiente, mineração, arqueologia	0 - 15
16 - 80 MHz	Geologia	0 - 50

Tabela 1 - Frequências utilizadas por várias antenas, aplicações mais frequentes e alcance em profundidade [8].

	Constante dielétrica	Condutividade (mS/m)	Velocidade (m/ns)	Atenuação (dB/m)
Ar	1	0	0,3	0
Água destilada	80	0,01	0,033	0,002
Água doce	80	0,5	0,033	0,1
Água do mar	80	30000	0,01	1000
Areia seca	3-5	0,01	0,15	0,01
Areia saturada	20-30	0,1-1,0	0,06	0,03-0,3
Calcário	4 - 8	0,5-2	0,12	0,4-1
Xisto	5 - 15	1-100	0,09	1-100
Lodo	5 - 30	1-100	0,07	1-100
Argila	4 - 40	2-1000	0,06	1-300
Granito	4 - 6	0,01-1	0,13	0,01-1
Sal (seco)	5 - 6	0,01-1	0,13	0,01-1
Gelo	3 - 4	0,01	0,16	0,01

Tabela 2 - Propriedades eléctricas do meio [3]

Para pequenas distâncias entre o receptor e o emissor relativamente à profundidade total, o tempo de percurso pode ser convertido em profundidade  $d$  através do produto da velocidade média de propagação da radiação  $v$  do meio em estudo (Tabela 2) por metade do tempo de percurso  $t$  (Fig. 1). Considerando que o receptor se encontra afastado do emissor por uma distância  $x$  (*offset*) então a equação exacta é:

$$d = 0.5(v^2 t^2 + x^2)^{1/2} \quad (3)$$

Os dados registados são posteriormente tratados através de software específico, que aplica algoritmos desenvolvidos para a produção de imagens radar (radargramas) cuja interpretação permite “ver” o interior das estruturas [5].

### Situações em análise

Para vencer a limitada experiência que detínhamos sobre a técnica no princípio do projecto, foi desenvolvida uma metodologia de treino para colmatar a falha. Assim, na fase inicial do projecto, o GPR foi utilizado em ambiente laboratorial, de forma a permitir ganhar prática na utilização desta

técnica geofísica, tanto ao nível das técnicas de aquisição de dados, como de leitura e tratamento desses dados para obtenção de resultados. Para os ensaios laboratoriais foram criadas situações experimentais de fácil manuseamento e interpretação. Por fim planearam-se e desenvolveram-se um conjunto de ensaios com situações próximas da realidade da investigação forense.

O equipamento usado foi um sistema GPR, SIR System-3000 (equipamento da GSSI), com as antenas de frequência 1,5/1,6 GHz e 400 MHz, tudo disponibilizado pelo Centro de Geofísica de Évora (CGE). O tratamento dos dados foi feito com a utilização do software RADAN 6.5.

### Ensaio laboratoriais

Os ensaios laboratoriais foram feitos sobre uma estrutura de areia da praia, depositada no interior de uma caixa acrílica transparente com aproximadamente 45 cm de comprimento, 25 cm de largura e 25 cm de altura. Esta estrutura de areia era composta por duas camadas com granulagens diferen-



Fig. 2 - Experiência laboratorial. À esquerda: cilindro utilizado; ao centro: caixa de acrílico com cilindro metálico enterrado; à direita: panorâmica de todo o equipamento utilizado.





Fig. 3 - Radargramas do cilindro metálico. Esquerda: leitura em tempo real, sem qualquer tratamento; direita: depois de analisados através do software RADAN.

tes: a inferior de areia mais fina (~2 mm) e a superior de areia grossa (~5-6 mm). No interior da estrutura de areia foi enterrado um cilindro de ferro com 5 cm de diâmetro e massa 1 kg. Devido às reduzidas dimensões da caixa e à baixa profundidade a que o cilindro pode ser enterrado, optámos por utilizar a antena de 1,5/1,6 GHz que tem um alcance padrão máximo de 0,5 m (ver Figura 2). A partir desta disposição foram feitas leituras mediante várias configurações do equipamento, diferentes profundidades do cilindro e vários estados de humidade da areia. Com este conjunto de ensaios foi possível analisar quais as configurações que produzem melhores resultados para cada situação.

A Figura 3 (esquerda) mostra uma fotografia do ecrã do GPR no momento da aquisição de dados sobre a estrutura descrita, com o cilindro enterrado a 7 cm da superfície, conforme mostrado na Figura 2. É uma imagem obtida sem qualquer tratamento. A Figura 3 (direita) corresponde a uma imagem obtida, por processamento dos mesmos dados, com o software RADAN 6.5.

### Ensaio de campo

A definição dos ensaios de campo teve subjacente a ideia de se criarem condições próximas das encontradas pela investigação forense. Para isso foi contactado o Instituto de Investigação Forense da PJ no sentido de nos prestar ajuda na definição das situações a simular: sepulturas clandestinas com cadáveres em vários estados de decomposição e armas enterradas. Para os ensaios com sepulturas usámos dois cadáveres de porco. A razão da escolha reside no facto da constituição dos seus tecidos biológicos de superfície responderem às ondas de radar de forma similar aos tecidos da superfície do corpo humano [7]. O local escolhido para os enter-



Fig. 4 - Fotografias captadas no dia do enterramento dos porcos. Esquerda: cova aberta; direita: enterramento de porco (~0,80 m).

ramentos foi a Herdade da Mitra, pertencente à Universidade de Évora, em terreno identificado pela geologia com a designação de granito alterado.

#### a) Sepulturas

A primeira fase do trabalho de campo destinou-se ao reconhecimento do terreno, à escolha do sítio e sua marcação para escavação. Após a escolha foi feita uma primeira leitura com GPR no local escolhido para o enterramento dos porcos.

Seguidamente, uma retroescavadora abriu a cova a uma profundidade de 1,6 m tendo em vista um cenário de sepultura clandestina. Dias mais tarde foram cedidos pelo Hospital Veterinário da Universidade de Évora dois cadáveres de pequenos porcos, com cerca de 80 cm de comprimento, que após submetidos a experiências de laparoscopia tiveram que ser abatidos. Como a sepultura aberta nos pareceu demasiado funda, colocámos terra até se atingir uma profundidade de 1,15 m onde foi depositado o primeiro cadáver; o outro depositado um pouco mais acima, a 0,80 m da superfície (Figura 4).

Para a aquisição de dados nesta experiência foi seleccionada a antena de 400 MHz, por ser a que garante melhor relação alcance/resolução nesta situação. Tem um alcance padrão da ordem dos 4 m e permite obter imagens nestas condições experimentais, com definição suficiente para a identificação dos objectos procurados.

Foi definido um programa de leituras, durante as 12 semanas após o enterramento, para acompanhar a evolução da imagem GPR durante a decomposição. Para garantir o mesmo posicionamento dos perfis de leitura durante todo o programa e assegurar a definição exacta da posição das medidas, foi inscrita uma grelha sobre um tapete que foi fixado sobre a sepultura (Figura 5).

#### b) Armas

Para conseguirmos objectos que produzissem radargramas semelhantes aos produzidos por armas, usámos vários objectos metálicos com os quais montámos dois artefactos, um com a forma e dimensão próximas de uma pistola (20 cm), que designamos por “pistola” (Figura 6); o outro, maior (~40 cm), com uma forma que faz lembrar um lança-morteiros, que denominamos “bazuca”. Estas armas foram enterradas a uma profundidade de 0,30 m, num local próximo da sepultura. Nestes ensaios, como os objectos foram enterradas muito à superfície, foi possível serem usadas as antenas de 400 MHz e a de 1,5/1,6 GHz.

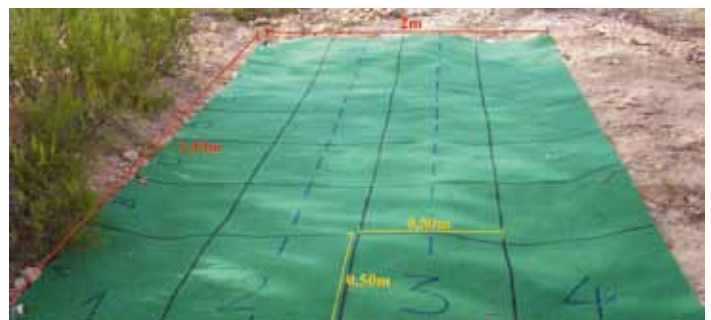


Fig. 5 - Tapete a cobrir a sepultura, onde foi inscrita uma malha quadrada de 0,50 m para guiar a antena.



Fig. 6 - Fotografias captadas durante o enterramento das armas. A da esquerda mostra a "pistola" e a da direita a "bazuca". Foram ambas enterradas à profundidade de 30 cm.

## Resultados

Os dados adquiridos com o GPR foram analisados utilizando o software RADAN 6.5. A primeira fase consistiu na procura da paleta de cores que permitisse o melhor contraste dos radargramas registados; seguidamente foram testados e aplicados os filtros que permitiram a melhor leitura: 1) desconvolução; 2) "stacking" para potenciar o sinal; 3) migração Kirchhoff.

A interpretação dos radargramas obtidos durante todo o período de leituras, tanto no caso da sepultura como no das armas, revela com clareza a presença dos objectos enterrados (Figuras 7 e 8), permite determinar a localização superficial exacta e ainda estimar tanto as suas dimensões como a profundidade a que se encontram. No caso dos cadáveres consegue-se uma boa visualização do limite da sepultura, assim como uma nítida assinatura do local onde estes foram depositados. Ao longo da decomposição assistimos a uma alteração nos contornos dos cadáveres, que consideramos dever-se à libertação de fluidos que alteram as propriedades dieléctricas do meio envolvente.

No caso da detecção das armas, a comparação dos radargramas obtidos com antenas de 400 MHz e de 1,5/1,6 GHz (Fig. 8) evidencia a diferença nos detalhes conseguidos com as duas antenas. Os radargramas obtidos com a antena de 400 MHz revelam a presença de um reflector, com localização difusa, sem qualquer possibilidade de definição de contornos; já os obtidos, nas mesmas condições, com a antena de 1,5/1,6 GHz permitem uma boa indicação da profundidade e mesmo uma avaliação aproximada da dimensão e forma do objecto escondido.

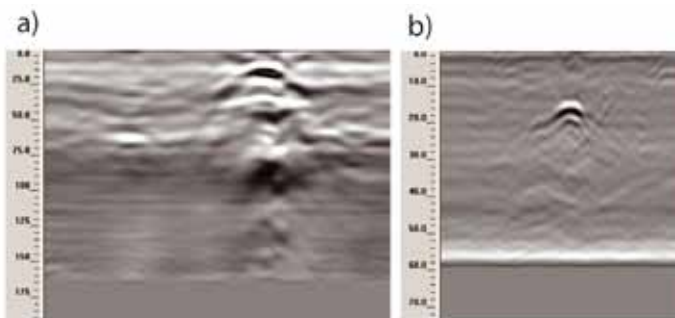


Fig. 8 - Radargramas das armas obtidos com as diferentes antenas: (a) 400 MHz; (b) 1,5/1,6 GHz.

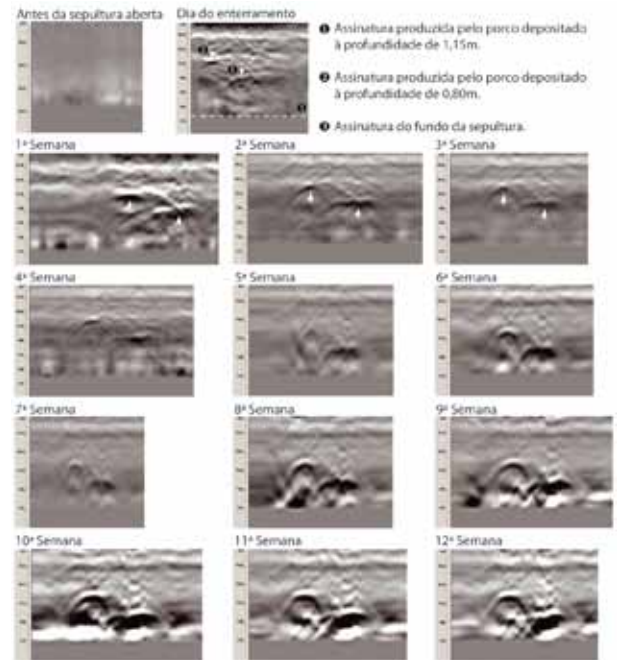


Fig. 7 - Radargramas obtidos nas várias fases do trabalho, no mesmo local e nas mesmas condições experimentais. Começando quando a sepultura ainda não tinha sido aberta, imediatamente após o enterramento e semanalmente durante as primeiras 12 semanas de decomposição.

## Discussão e conclusão

Os resultados mostram que o GPR encontra na investigação criminal um fértil campo de aplicação. Através desta técnica é possível cobrir grandes áreas em pouco tempo e detectar com precisão objectos mesmo de dimensões reduzidas (da ordem de grandeza da dimensão de uma pistola), proeza impossível de alcançar pelos meios tradicionais. Relativamente à sua aplicação para a detecção de cadáveres, permite proceder à detecção imediatamente a seguir ao enterramento, contrariamente às também utilizadas técnicas eléctricas que só o conseguem fazer após estado avançado de decomposição.

As experiências realizadas levam-nos a concluir que o método é bastante eficiente e rápido na aquisição e tratamento de dados. Um operador experiente consegue interpretar os dados em tempo real à sua aquisição. Com uma boa parametrização do equipamento, é inclusivamente possível fazer-se uma estimativa do estado de decomposição do corpo, tendo um bom conhecimento do terreno.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), através da bolsa BII no âmbito do projecto SISMOT/LISMOT PTDC/CTE-GIN/82704/2006. Agradecemos as colaborações: da Sociedade Agrícola ZEA pela disponibilização do campo de ensaios e abertura das sepulturas; do hospital Veterinário da Universidade de Évora pela cedência dos cadáveres dos porcos; da Dra. Fátima Machado do Laboratório da Polícia Científica pelas sugestões para a definição dos ensaios.



## Referências

- [1] N. Blindow, "Ground Penetrating Radar" in "Environmental Geology: Handbook of field methods and case studies" (K. Knödel, G. Lange, e H. J. Vight, eds.); Springer-Verlag 283-336 (2007).
- [2] D. J. Daniels, "Ground Penetrating Radar" (Cap. 12: Forensic Applications), 423-436; IET (Londres, 1997)
- [3] J. L. Davis, e A. P. Annan, "Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy", *Geophysical Prospecting* 37, 531-551 (1989).
- [4] O. C. Gandolfo, L. A. Sousa, M. G. Tessler, M. Rodrigues, "Estratigrafia Rasa da Ilha Comprida (SP): Um exemplo de aplicação do GPR", *Rev. Brasileira de Geofísica* 19(3), 251-262 (2001).
- [5] GSSI, RADAN 6.5 User's Manual, GSSI, Estados Unidos (2007).
- [6] J. M. Reynolds, "An Introduction To Applied and Environmental Geophysics" (Cap. 12: Ground Penetrating Radar ), 681-749; Wiley (Toronto, 1997).
- [7] K. Powell, "Detecting buried human remains using near-surface geophysical instruments", *Exploration Geophysics* 35, 88-92 (2004).
- [8] Referências em <http://www.alphageofisica.com.br/gssi/gpr.htm>



### Mourad Bezzeghoud

é licenciado em Eng. Geofísica pelo Inst. Nat. des Hydrocarbures et de la Chimie (Argélia, 1981), possui um mestrado (DEA) em Geofísica interna e Geoquímica e um doutoramento na área da Sismologia (U. Denis Diderot, Paris, 1987). Realizou a agregação em Ciências da Terra e do Espaço (2011) na U. de Évora. Foi docente na U. Pierre et Marie Curie (Paris, 1986-88), investigador e Diretor de Depto. no Centre en Astronomie, Astrophysique et Géophysique de Argel (1988-94) onde fundou o Depto. de Sismologia e liderou a instalação das primeiras redes sísmica telemétrica e geodésica em Argélia. Foi professor/investigador convidado na École National des Mines de Paris (1985), na U. Complutense de Madrid (1996 e 2010) e na École Normal Supérieure de Paris (2011). É investigador no CGE desde 1997 e professor associado no Depto. de Física da U. Évora desde 2003, onde desempenha vários cargos de coordenação e de direção. É vice-diretor do CGE desde 2003 e lidera o grupo de investigadores no domínio da Terra Sólida do mesmo centro. Dedicar a sua investigação à Geofísica/Sismologia, nomeadamente ao estudo do fenómeno sísmico e ao risco a ele associado. Tem publicado vários trabalhos na área da Sismologia e Sismotectónica, nomeadamente estudos sobre os processos de rutura sísmica na região Ibero-magrebina.



**Vânia Lourenço** é licenciada em Física pela Universidade de Évora em 2009. Foi bolseira da FCT onde desenvolveu investigação na área da geofísica forense no Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora, com resultados apresentados em congressos. Atualmente frequenta o Mestrado de Física Médica na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.



**Bento Caldeira** é licenciado em Física pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Mestre e Doutoramento em Física pela Universidade de Évora, é professor no Departamento de Física da Universidade de Évora e investigador no Centro de Geofísica de Évora. Integra vários projetos de investigação nacionais e internacionais na área da Geofísica Interna (Sismologia, Risco sísmico e aplicação de métodos geofísicos à Arqueologia). Em complemento à atividade no ensino superior e na investigação desenvolve trabalho com professores e estudantes de Física do Ensino Secundário.



**João Pedro Rocha** é licenciado em Eng. Geológica e mestre em Geofísica pela Universidade de Évora, respetivamente, em 2007 e 2010. Bolsista da FCT, integrou a equipa de geofísica interna no Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora (CGE/

UE) onde desenvolveu investigação na área da sismologia e geofísica aplicada, com resultados apresentados em congressos e publicados em revistas internacionais. Faz parte duma equipa do CGE/UE que integra a maior expedição de investigadores portugueses à Antárctida Marítima para estudar o *permafrost* e suas reações com as alterações climáticas.



**José Fernando Borges** é licenciado e mestre pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e doutorado em Física pela Universidade de Évora, é professor no Departamento de Física desta última Universidade e investigador no Centro de Geofísica

de Évora. Integra equipas de investigação em diversos projetos nacionais e internacionais em áreas como a sismologia, Risco sísmico, Fonte sísmica, Arqueometria, tendo vindo a dedicar especial atenção nos últimos anos à predição de movimentos sísmicos intensos na região do Vale Inferior do Tejo. Presentemente desempenha as funções de coordenador do grupo de investigação na área da Geofísica Interna/Sismologia do Centro de Geofísica de Évora.

# Procura de local para um radiotelescópio na ilha da Madeira

Pedro Augusto<sup>1,2</sup>

1. Centro de Competências das Ciências Exactas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Caminho da Penteada, 9000-390 Funchal

2. Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa, Observatório Astronómico, Tapada da Ajuda, 1349-018 Lisboa

augusto@uma.pt

## Resumo

Um radiotelescópio na ilha da Madeira é uma grande oportunidade para aumentar a qualidade das observações em *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), as do European VLBI Network (EVN) em particular. Permitirá reduzir a antiga e infame “falha do meio-Atlântico” que está presente em observações atuais com o VLBI. Entre 2003 e 2007 estudámos em detalhe a meteorologia, interferência rádio e horizonte de três locais candidatos. Dois destes têm um excelente potencial para a instalação de uma antena VLBI.

## 1. Introdução

Ainda antes do advento da radioastronomia, descobriram-se as ondas rádio, como parte do espectro eletromagnético. Maxwell, em 1864, previu a existência de ondas eletromagnéticas, as quais, entre outras (e.g. visível), incluem as ondas rádio. A produção e deteção destas foram conseguidas por Hertz (entre 1885 e 1889) – e.g. [1].

### 1.1 Os primórdios

A radioastronomia (e.g. [2]) é uma área técnica da astronomia iniciada “por acidente” por Karl Jansky em 1931 ([3]) quando este detetou o centro da galáxia (comprimento de onda  $\lambda=15$  m), ao tentar minimizar o ruído (interferência de rádio-frequência, RFI) em comunicações rádio transatlânticas<sup>1</sup>. Foi a primeira vez que sinais fora da Terra foram detetados, mais de 40 anos depois das experiências de Hertz, graças a equipamentos de receção rádio bem mais sensíveis e à escancarada “janela rádio” de mais de três ordens de grandeza em comprimento de onda (1 cm a 20 m; cf. ótico apenas 400–700 nm; Figura 1). As restantes bandas do espectro eletromagnético teriam de esperar mais meio

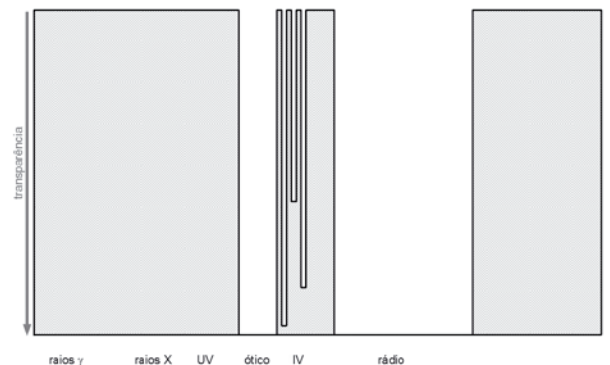


Fig. 1 – A opacidade da atmosfera da Terra ao espectro eletromagnético só permite observar, da sua superfície (linha inferior), as bandas do ótico (visível, 400 a 700 nm) e do rádio (1 cm a 20 m); em montanhas altas é também possível observar algumas bandas dentro do infravermelho. Quanto ao resto, só do espaço, acima da atmosfera.

século para serem exploradas, através de satélites no espaço – e.g. [1,4].

A forte ligação da radioastronomia à tecnologia de ponta levou a mais “acidentes”, o mais famoso dos quais deu direito a um Prémio Nobel: a descoberta do ruído cósmico de fundo por Penzias e Wilson em 1965 [5]. Aliás, quatro Prémios Nobel já foram atribuídos à radioastronomia.

Nas bandas rádio do espectro eletromagnético há fenómenos não detetáveis em nenhuma outra banda<sup>2</sup>. Por isso, a descoberta do “rádio Universo” abriu novas fronteiras à Física. A primeira publicação em radioastronomia data de 1940 [6], mas esta só se afirmou como uma nova ciência em 1951 aqun-

<sup>1</sup> A Física homenageia-o com a unidade fundamental de densidade de fluxo, o Jansky (Jy) que vale  $10^{-26}$  W/m<sup>2</sup>/Hz.

<sup>2</sup> A radioastronomia é, por excelência, a ciência dos objetos não-térmicos do Universo (por oposição ao ótico (visível), por exemplo, onde o domínio é térmico, sendo o Sol o objeto mais eloquente) – e.g. [1].



do da publicação da primeira detecção da risca de hidrogénio atómico (21 cm) [7].

## 1.2 Radiotelescópios

Um radiotelescópio consiste em três partes: antena<sup>3</sup>, detetor e linha de transmissão (que os liga) – e.g. [1,2]. A antena mais simples é o dipolo de Hertz (e.g. antenas de automóvel; [8]) mas só permite a detecção num único comprimento de onda. Um pouco mais complicada é uma antena do tipo Yagi, como as que ainda se vêem nos telhados de muitas casas, definitivamente “mortas” pela Televisão Digital Terrestre. Estas já detetam vários comprimentos de onda, por disporem de dipolos a variadas distâncias entre si. Redes de milhares/milhões de dipolos são adequadas para a observação em comprimentos de onda longos (Figura 2). O pico de complexidade teórico atinge-se com uma antena de forma parabólica<sup>4</sup>. Mas esta permite detetar quaisquer comprimentos de onda, tão pequenos quanto 20 vezes as imperfeições da sua superfície (a “regra  $\lambda/20$ ”, que no ótico corresponde a 92% da radiação chegar ao foco – critério de Rayleigh) – e.g [8]. Hoje em dia é o tipo de radiotelescópio mais comum, devido à sua enorme versatilidade.

Uma parabólica explora o céu em mais detalhe do que os outros tipos pois concentra as ondas rádio incidentes num foco (Figura 3). À capacidade com que o faz chama-se *resolução*, aproximadamente dada (em radianos) pela divisão do comprimento de onda observado ( $\lambda$ ) pelo diâmetro ( $D$ ) da antena parabólica (e.g. [1,8,9]). Como temos  $2\pi$  radianos numa volta completa, também medida como  $360^\circ$ , obtemos a resolução, em segundos de arco ( $''$ ), dada por  $\alpha \approx 206265 \lambda/D$ . Este ângulo  $\alpha$  é a mínima separação angular que devem ter dois objetos pontuais<sup>5</sup> no céu para que o radiotelescópio os possa ver separados. O olho humano no seu melhor, com cerca de 8 mm de diâmetro máximo da pupila, resolve objetos no verde (550 nm) desde que  $\alpha \geq 14''$ . Um telescópio com 8 cm de diâmetro, requer  $\alpha \geq 1,4''$ . Um dos telescópios do VLT (8 m) com  $\alpha \geq 0,014''$ . Mas uma parabólica de 8 m, a observar em  $\lambda = 5,5$  cm, será cem mil vezes pior, com  $\alpha \geq 1400'' \approx 0,4^\circ$ . Foi este, durante quase 50 anos, o dilema da radioastronomia, até à chegada em pleno da interferometria (Secção 1.3).

A *sensibilidade* de um radiotelescópio está relacionada com o ruído do sistema (antena, detetor e linha-de-transmissão), e resulta da soma de três ruídos. O detetor e o grosso da linha-de-transmissão colocam-se a temperaturas muito baixas para minimizar os seus ruídos (4 K nos melhores



Fig. 2 - Uma rede de dipolos do observatório de Puschino (Rússia), com 70000 m<sup>2</sup> de área coletora.

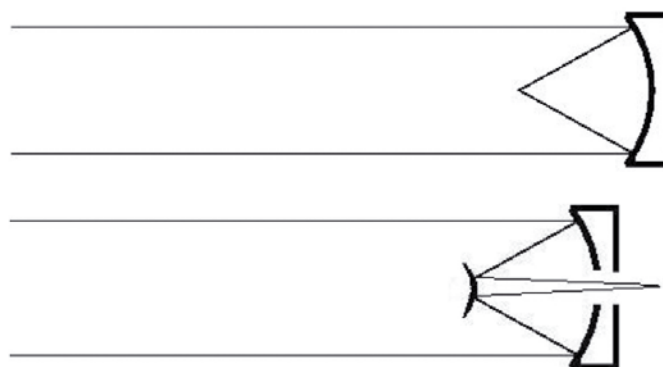


Fig. 3 - Embora nos seus primórdios quer os telescópios parabólicos óticos (séc. XVII, até Newton perto do seu final), quer os radiotelescópios (boa parte da segunda metade do séc. XX) utilizassem o foco primário (ilustração de cima), por questões práticas é hoje bem mais popular refletir a radiação via um sub-refletor hiperbólico colocado perto do foco e enviá-lo para um detetor, atrás do disco parabólico (ilustração de baixo) que tem de ser furado. A este tipo de foco chama-se Cassegrain, o nome do seu primeiro construtor em 1672, embora já antes idealizado por Merseenne, em 1636.

sistemas) e, assim, o valor crítico é o ruído da antena – e.g. [2,9]. A sensibilidade é diretamente proporcional à largura de frequência de banda e ao poder coletor (e.g. [1,2,8,9]). Este, por sua vez, é proporcional ao quadrado do diâmetro da antena (ou seja, à sua área).

## 1.3 Interferometria e interferómetros

As ondas eletromagnéticas emitidas por uma fonte pontual propagam-se sob a forma de frente de onda esférica. No entanto, quando a fonte está muito distante (como é o caso de quase todos os objetos astronómicos), a curvatura é quase nula e assume-se, por aproximação, que as ondas incidentes em (rádio) telescópios são planas. Se a onda encontra um obstáculo com dois ou mais orifícios, comporta-se como se cada um destes constituísse uma nova fonte, alterando as frentes de onda (tornando-as mais curvas) e fazendo com que interfiram. Nos pontos do espaço onde duas cristas de onda coincidem há um reforço de onda (interferência construtiva); nos pontos onde uma crista e um

<sup>3</sup> Uma antena é um dispositivo de transição entre uma onda que se propaga livremente e uma onda guiada (e.g. [2]).

<sup>4</sup> O primeiro radiotelescópio com intenções astronómicas foi construído por Grote Reber em 1937: era uma antena parabólica com 9,5 m de diâmetro.

<sup>5</sup> Em radioastronomia, o antónimo de “objeto pontual” é “objeto estendido” no sentido em que tem estrutura visível, por muito pequena que seja: um objeto pontual para um radiotelescópio não está resolvido por este, por definição.

mínimo coincidem ocorre uma anulação mútua (interferência destrutiva) – Young descobriu estes efeitos em 1803 (e.g. [1,10]). A técnica que recorre a este princípio é a interferometria. Os aparelhos que a concretizam são os interferómetros.

No caso da astronomia, utilizam-se vários telescópios (“orifícios”) para observar uma mesma fonte de luz (e.g. uma estrela). A primeira aplicação astronómica, no ótico, foi feita por Michelson em 1891 [11]. Mas foi o rádio que trouxe os primeiros grandes resultados para a Astronomia, utilizando esta técnica: dez anos antes do Telescópio Espacial Hubble ir para o espaço, resoluções de 0,001” eram já rotina com o VLBI<sup>6</sup> (cf. Hubble com 0,05”). Aliado a uma boa sensibilidade, a deteção de fontes rádio de todos os tipos, inclusive até ao ruído cósmico de fundo, tornou-se, desde então, possível. Só em 2001 chegou a técnica da interferometria ao ótico em grande escala (no VLT e no Keck).

Na interferometria os vários telescópios unidos são, em *resolução*, equivalentes a outro com o diâmetro da distância máxima entre eles (linha-de-base máxima). De facto, o diâmetro das antenas individuais que compõem o interferómetro não é relevante para tal. No entanto, é relevante para a *sensibilidade*. Esta é agora bem mais complexa do que num radiotelescópio único mas, essencialmente, é proporcional às áreas das antenas que o compõem e também ao número de linhas-de-base. Este é simplesmente dado por  $n(n-1)/2$  para  $n$  antenas (e.g. [1]; Tabela 1).

A inclinação da fonte observada em relação ao interferómetro tem também um importante papel. De facto, a *resolução* pode ser representada por um “feixe” elíptico que está relacionado com a distribuição geográfica dos radiotelescópios, conforme vistos pela fonte (e.g. [1]). Por exemplo, se estes estão numa linha este-oeste, a resolução vai ser muito má segundo a direção norte-sul, o que quer dizer que a elipse terá o seu eixo menor (melhor resolução) segundo este-oeste. É por isso que os interferómetros têm uma distribuição na Terra sem direção preferencial (e.g. Figura 4). E esta distribuição é também muito relevante para a *sensibilidade*, pela forma como as linhas-de-base rodam consoante a Terra roda como vista da fonte, enquanto esta é observada. O conjunto das elipses assim traçadas retrata, na sua fronteira, exatamente o feixe que nos dá a resolução do interferómetro – e.g. [1]. A sensibilidade, no entanto, virá da percentagem de enchimento de todo o espaço interior à elipse. Quanto mais cheio, mais sensível é o interferómetro. E a largura de frequência de banda das observações, francamente melhorada nos últimos anos com a ligação por fibra ótica dos elementos dos interferómetros, “alarga” os percursos das linhas-de-base dentro da elipse. Foi desenvolvida a técnica da “síntese de abertura” para fazer, precisamente, todas estas contas em pormenor (e.g. [1,9,12]).

O primeiro interferómetro rádio (ou “radiotelescópio de elementos múltiplos”, como antes era chamado – e.g. [4])

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Nome	Local	Ants.	D (m)	L.b.	L.b.m (km)	Res. (")
VLA	EUA	27	25	351	36	0,04
MERLIN	Inglaterra	7	25-76	21	230	0,02
GMRT	Índia	30	45	435	45	1,4
VLBI	Terra	20-30	25-300	190-435	12 756	0,0005

Tabela 1 - Aqui resumimos os mais importantes rádio-interferómetros atuais: (1) nome; (2) localização; (3) número de antenas; (4) diâmetro das antenas; (5) número de linhas-de-base; (6) linha-de-base máxima; (7) melhor resolução.

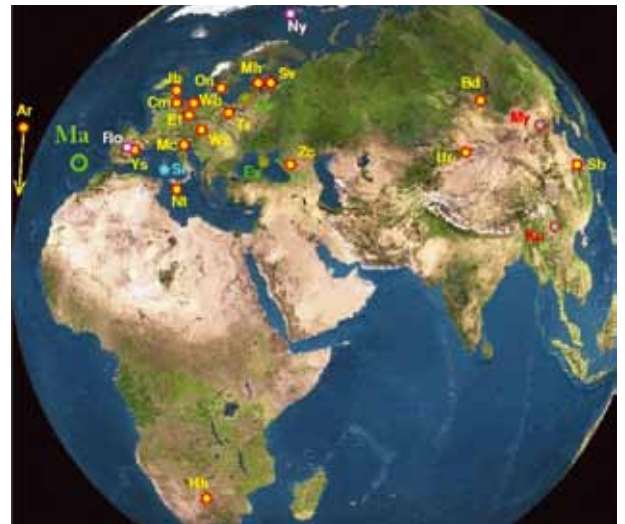


Fig. 4 - O EVN tem o grosso das suas 18 antenas na Eurásia. A mais ocidental destas está em Madrid (Ro). Para se chegar à seguinte para oeste tem de se “saltar” o Atlântico, até Porto Rico (Ar). Existe uma antena no Hemisfério Sul, na África do Sul (Hh). Seria muito útil colocar uma antena na Madeira (Ma) para reduzir a infame *mid-Atlantic gap*. (Figura adaptada de [http://www.evlbi.org/intro/evn\\_map\\_rmc.jpg](http://www.evlbi.org/intro/evn_map_rmc.jpg).)

foi utilizado pelo seu construtor, Ryle, em 1946 em Cambridge (e.g. [1,10]). Mas muito se avançou desde então (Tabela 1).

## 1.4 European VLBI Network

A rede European VLBI Network (EVN) cobre quase todo o diâmetro terrestre (e.g. [13]; Fig. 4). Está a transformar-se no e-EVN, quando todas as linhas-de-base estarão unidas por fibra ótica permitindo a aquisição de dados em tempo real e o seu processamento quase imediato. Até agora, os dados tinham de ser guardados em cada radiotelescópio e mais tarde correlacionados, por exemplo na Holanda ou nos Estados Unidos.

## 2. A Madeira

A Madeira é um excelente local para a astronomia ótica (e.g. [14]). No que respeita à radioastronomia, o interesse também é antigo mas mais discreto<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> A técnica de Very Long Baseline Interferometry (VLBI) foi a primeira a “unir” radiotelescópios a centenas ou milhares de km de distância (com o correspondente ganho em resolução – ver Tabela 1). Cada um gravava os seus dados em fita magnética, com marcações de tempo dadas por um relógio atómico. Mais tarde, os dados eram correlacionados em conjunto, correndo as fitas magnéticas juntas como se fosse em tempo real.

<sup>7</sup> Para o VLBA – Ken Kellermann, comun. priv. Para além do EVN (Secção 1.4) existe uma outra antiga rede integrada na Terra que funciona em VLBI: o *Very Long Baseline Array* (VLBA), consistindo em 10 antenas de 25 m cada, oito das quais espalhadas pelo território continental dos EUA, uma no Havai e outra nas Ilhas Virgens.



Mesmo sem radiotelescópio, em 1999, durante a tempestade de meteoros das Leónidas, fizeram-se observações no rádio na Madeira (utilizando antenas de automóveis!), com resultados publicados em [15-17].

A razão principal para o interesse na Madeira é geográfica: as ilhas atlânticas são especialmente adequadas para encher o feixe de resolução do VLBI, uma vez que entre os EUA (ilhas Virgem – VLBA) e a Europa (Madrid – EVN) não existem radiotelescópios. Essa ausência, já com décadas de VLBI, até levou ao estabelecimento de um “monstro”: a infame *mid-Atlantic gap* que se vê no feixe do VLBI. Uma grande vantagem da Madeira, por exemplo em relação aos Açores, é ser sismicamente estável e vulcanicamente inativa. Além disso, está virtualmente imune a furacões.

O EVN tem, em geral, uma tendência de orientação este-oeste sobre o hemisfério norte da Terra (Fig. 4) o que é especialmente infeliz, tendo em conta que os futuros instrumentos de topo das próximas décadas (ALMA, E-ELT e SKA) se situarão todos no hemisfério sul. A Madeira está em localização privilegiada para ajudar o EVN a aproximar-se mais dos objetos a observar por esses instrumentos.

### 3. O local ideal para um radiotelescópio

Os radiotelescópios, por serem tão sensíveis, devem ser colocados em locais remotos, longe de interferência (*radio frequency interference*, RFI, causada pela actividade humana). Estes praticamente já só existem em parques naturais ou nacionais. Minimiza-se o impacto ambiental nesses locais<sup>8</sup> ocupando uma pequena área, mantendo-a com vegetação e vedada com redes de malha grande; fazendo os acessos em gravilha seguindo a orografia e limitando o acesso motorizado.

O local ideal para colocar um radiotelescópio é um vale em altitude, não muito cavado, longe de RFI e pouco exposto a ventos fortes (médias superiores a 50 km/h ou rajadas superiores a 70 km/h obrigam ao estacionamento do radiotelescópio). Deve ter um horizonte amplo (obstáculos visuais com altura inferior a 10° a toda a volta). Outros dados, por exemplo sobre a humidade e precipitação, podem ajudar a decidir entre locais, mas nunca são impeditivos. No mesmo sentido, informação sobre a coluna de vapor de água (*precipitable water vapour*, PWV) pode motivar a montagem de um radiotelescópio capaz de observar  $\lambda > 1$  mm (o caminho do futuro – e.g. ALMA). Para tal propósito, valores de PWV menores que 5 mm são bons e inferiores a 1 mm são excelentes.



Fig. 5 - O comité de inspeção aos sete locais num momento de repouso (três famosos radioastrónomos: Richard Davis, Roy Booth e Gavril Grueff).

### 4. Tem a Madeira algum local ideal?

Inicialmente selecionámos sete locais na ilha da Madeira mas, após uma cuidadosa inspeção no terreno em Maio de 1999 (Figura 5), três foram eliminados e dois juntaram-se num. Assim, sobraram três locais designados por A, D e F/G para estudos detalhados posteriores: meteorologia, RFI e perfis de horizonte. A PWV obter-se-ia por dados de satélite.

#### 4.1 Meteorologia

Munidos de uma Estação Meteorológica Automática (EMA – Fig. 6) corremos os três locais, de 2003 a 2007, um ano contínuo em cada, para medir, entre outros, o vento (velocidade e direção), a humidade relativa do ar e a precipitação. Estes dados foram correlacionados com os conhecidos para as seis estações meteorológicas da ilha da Madeira com dados de clima ( $\geq 30$  anos), de forma a normalizarmos os valores obtidos. Recolhemos os (poucos) dados de satélite sobre a PWV.

Como exemplo, os resultados preliminares de vento sugerem que os três locais são excelentes, pois nunca se



Fig. 6 - A EMA no seu último local (D).

<sup>8</sup> Um rádio-telescópio não é um radar: não emite radiação, apenas a mede.

ultrapassaram sequer os 36 km/h em rajadas. Os resultados são ainda mais poderosos para o local D (o último estudado), onde a EMA esteve durante 4,5 anos. Os três locais têm uma média anual de 80-90% de humidade relativa do ar e elevada precipitação (2,0-2,5 m anuais), embora com céu limpo a maior parte do tempo. Finalmente, os poucos resultados de PWV medidos por satélite (MODIS/TERRA) são encorajadores (entre 1 e 9 mm).

## 4.2 Medições de RFI

Em Setembro de 2005 medimos a RFI nos três locais, num dia (e hora) útil aleatório para cada um. Um total de 30 varrimentos foi feito para cada, de 15 cm a 3,75 m, em passos inferiores a 5 mm. A duração total das medições foi de 64 minutos para cada local. Os resultados médios deram-nos < -80 dBm para o local A (máximo -40 dBm) e < -90 dBm (máximo -60 dBm) para os locais D e F/G. Estes são 20 vezes melhores que as recomendações mínimas da IAU para um rádio-observatório. Apesar de mais ruidoso, o local A ainda consegue os mínimos da IAU.

## 4.3 Horizonte

Com um teodolito medimos os perfis de horizonte para cada local ao nível do chão, em Janeiro de 2005. Os locais D e F/G têm o horizonte a toda a volta inferior a 10°, en-

quanto o local A atinge 10°-15° em 1/6 de volta completa.

## 5. Conclusão

Especialmente devido aos resultados de RFI e horizonte, o local A foi removido da nossa lista. No entanto, sobram-nos dois excelentes locais (D e F/G) e não é claro qual o melhor dos dois. O primeiro localiza-se a 1300 m de altitude, enquanto o segundo está nos 1000-1100 m (encosta virada a oeste). Ambos estão no concelho do Porto Moniz. Vamos mantê-los a ambos no passo que se segue: o estabelecimento de um consórcio nacional e internacional para a submissão de uma proposta de financiamento para a instalação de uma antena VLBI na Madeira.

## Agradecimentos

Richard Schillizzi, pela nomeação do comité inspetivo e, claro, ao comité (Figura 5). Don Lawson, pelas medições de RFI. Direção Regional de Cartografia e Cadastro, pelo empréstimo do teodolito. Projeto POCTI/FNU/43733/2001 (Fundação para a Ciência e a Tecnologia).

### Referências

- [ 1 ] K. Rohlfs, T. L. Wilson, "Tools of Radio Astronomy", 4th ed., Springer (2004).
- [ 2 ] J. D. Kraus, "Radio Astronomy", 2nd ed., Cygnus-Quasar books (1986).
- [ 3 ] K. Jansky, Nature 132 (no. 3323), 66 (1933).
- [ 4 ] R. H. Baker, "Astronomia", Fundação Calouste Gulbenkian (1971).
- [ 5 ] A. A. Penzias, R. W. Wilson, Astrophysical Journal 142, 419-421 (1965).
- [ 6 ] G. Reber, Astrophysical Journal 91, 621-624 (1940).
- [ 7 ] H. I. Ewen, E. M. Purcell, Nature 168 (no. 4270), 356 (1951).
- [ 8 ] K. R. Lang, "Astrophysical Formulae" (I and II), 3rd ed., Springer (1999).
- [ 9 ] R. C. Smith, "Observational Astrophysics", Cambridge University Press (1995).
- [ 10 ] J. S. Hey, "The Radio Universe", Pergamon (1971).
- [ 11 ] A. A. Michelson, Publications of the Astronomical Society of the Pacific 3(16), 217-220 (1891).
- [ 12 ] A. R. Thompson, J. M. Moran, G. W. Swenson, "Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy", 2nd ed., Wiley-VCH (2004).
- [ 13 ] R. W. Porcas, Proceedings of Science, (10th EVN Symposium) 011 (2011).
- [ 14 ] B. McInnes, Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society 22, 266-271 (1981).
- [ 15 ] P. Augusto, N. Gizani, Astronomy & Geophysics 41, 1.4 (2000).
- [ 16 ] A. McBeath, Journal of the International Meteor Organization 28, 64-69 (2000).
- [ 17 ] N. Gizani, P. Augusto, European Astronomical Society Newsletter 19, 11 (2000).



O autor nasceu no Porto em 29 de Junho de 1971, licenciou-se em 1993 em Física-Matemática Aplicada (ramo de Astronomia) pela Universidade do Porto, doutorou-se em 1996 em Rádio Astronomia pela Universidade de Manchester (Inglaterra) e agregou-se em Física (Rádio Astronomia) em 2007 pela Universidade da Madeira. É, desde 1998, Professor Auxiliar da Universidade da Madeira, após um semestre como Professor Auxiliar Convidado na Universidade do Porto. É, desde 2007, investigador do Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa.



<b>Para saber mais:</b>	
www.nrao.edu	National Radio Astronomy Observatory (EUA)
www.evlbi.org	European VLBI Network
www.merlin.ac.uk	Interferómetro MERLIN
www.atnf.csiro.au	Australia Telescope National Facility
www.gmrt.ncra.tifr.res.in	Giant Metrewave Radio Telescope
www.asc.rssi.ru/radioastron	Space VLBI Mission (RadioAstron)
www.eso.org/projects/alma	Atacama Large Millimeter Array (ESO)
www.skatelescope.org	Square Kilometre Array
www.uma.pt/astro	Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

<b>Acrónimos</b>	
ALMA	Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
E-ELT	European-Extremely Large Telescope
EMA	Estação Meteorológica Automática
ESO	European Southern Observatory
EVN	European VLBI Network
GMRT	Giant Metrewave Radio Telescope
IAU	International Astronomical Union
MERLIN	Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network
SKA	Square Kilometer Array
VLA	Very Large Array
VLBA	Very Long Baseline Array
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VLT	Very Large Telescope

### **Termos relevantes em radioastronomia**

**Comprimento de onda** – Usualmente designado com a letra  $\lambda$ , corresponde à distância entre duas cristas de uma dada onda eletromagnética.

**Dipolo (antena)** – O mais simples tipo de antena consiste em dois fios alinhados, com um pequeno espaço entre eles, onde se aplica uma voltagem elétrica.

**Feixe** – Área elíptica que corresponde à resolução de um interferómetro; nunca é completamente “cheio” e quanto mais espaço vazio houver, pior a sensibilidade.

**Largura de frequência de banda** – A largura de uma banda do espectro eletromagnético como medida entre duas frequências, cada uma correspondendo a um comprimento de onda.

**Linha-de-base** – É a tradução literal do termo inglês *baseline* que define a ligação (distância) entre cada par de telescópios num interferómetro.

**Poder coletor** – Capacidade que tem um telescópio para captar fotões, usualmente proporcional à sua área.

**Ruído Cósmico de Fundo** – a radiação produzida cerca de 300 mil anos depois do *Big Bang*, quando os fotões se dissociaram da matéria.

# Os 50 anos do laser em Portugal – Parte II:

M. Ribau Teixeira<sup>1</sup>, G. Figueira<sup>2</sup>, J. Mendanha Dias<sup>2</sup>, D. Liang<sup>3</sup>, A. Pereira Leite<sup>4</sup>, H. Crespo<sup>4</sup>

1. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

2. Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico

3. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

4. Faculdade de Ciência, Universidade do Porto

*Publicamos nesta edição da Gazeta de Física a segunda e última parte de um artigo, coordenado por M. Ribau Teixeira, onde se revêem os principais desenvolvimentos na história do laser em Portugal ao longo dos últimos 50 anos.*

## iv) Universidade do Porto (UP)

Em 1973, na Universidade do Porto, foi construído e posto a funcionar um laser de CO<sub>2</sub> [17], como projecto de fim de curso de José António Salcedo. Este foi o primeiro laser construído em Portugal.

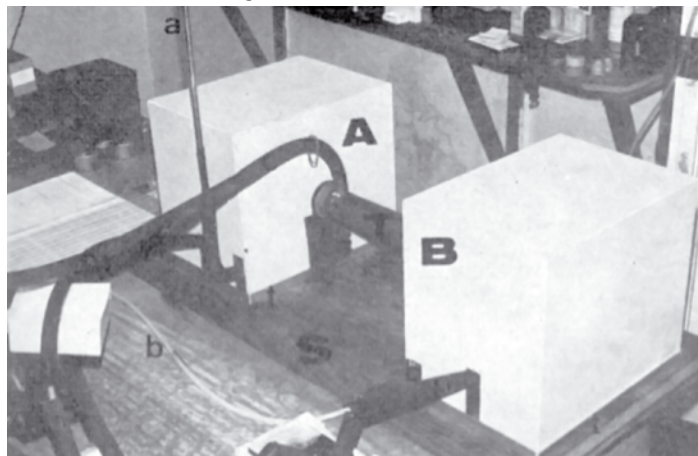
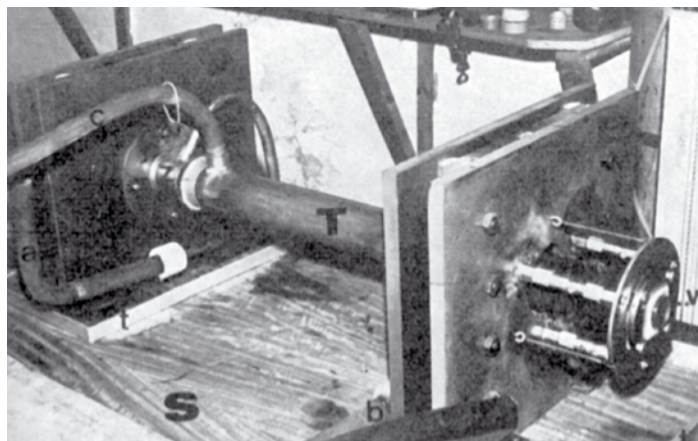


Fig. 1 - O primeiro laser construído em Portugal (cortesia de J. Salcedo).



No início da década de 70 foi adquirido, por Manuel de Barros, Professor do Departamento de Física da Universidade do Porto, um laser de He-Ne de 1 mW de potência, após o regresso do seu Doutoramento em Inglaterra. Nesta época, a possibilidade de fazer trabalhos em Óptica e Lasers era muito reduzida. O contacto com o laser era sobretudo pela leitura de revistas e de alguns livros. No período de 1973 a 1975, ainda o contacto com lasers era demasiado reduzido – e não só com lasers, mas também com a tecnologia óptica, dadas as estruturas praticamente inexistentes, em particular no Porto. No final dos anos 70, e início dos anos 80, após ter terminado o seu doutoramento, Olivério Soares, Professor do Departamento de Física da Universidade do Porto, iniciou a sua actividade na área dos lasers, acompanhado por jovens que com ele trabalhavam, desenvolvendo actividades em holografia e noutras áreas que envolviam o laser.

Em Julho de 1981, os professores do Departamento de Física da Universidade do Porto Manuel de Barros, António Pereira Leite, e José António Salcedo, regressados do estrangeiro onde efectuaram os seus doutoramentos, foram convidados pela Direcção do Instituto de Engenharia de Sistemas e Comunicações (INESC) de Lisboa, a iniciar a sua actividade no âmbito da aplicação de fibras ópticas nos sistemas de telecomunicações, por esta área ser considerada muito importante pela Direcção do INESC.

Entre finais de 1981 e 1985, montaram laboratórios no Departamento de Física para caracterização de fibras ópticas e componentes associadas, desen-

volveram *know-how*, tecnologias de comunicação e também, em paralelo, alguns sistemas de transmissores e receptores, para ligações de curta distância e débito relativamente baixo, na zona de 8 Mbits/segundo, e também um projecto para o Centro de Estudos de Telecomunicações da Portugal Telecom, em que trabalharam já em transmissores e receptores ópticos para transmissão em fibra, para comunicação a cadências de 34 Mbits/s. Esta experiência foi muito importante na época, pois terá sido o primeiro grupo, em Portugal, a desenvolver sistemas de comunicação óptica e a endogeneizar conhecimentos de tecnologia óptica que serviram de base a um projecto mais extenso de utilização de lasers nas comunicações, designado por Serviços Integrados por Fibra Óptica (SIFO). Este projecto foi desenvolvido de 1985 a finais de 1990, por José António Salcedo e António Pereira Leite, pelos seus jovens colaboradores e também por Professores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Isto permitiu montar no Porto um laboratório do INESC, com uma dimensão já apreciável, com uma boa infra-estrutura em equipamentos, em particular para trabalhar com fibras ópticas e comunicação.

Desde cerca de 1982, e de forma continuada ao longo dos anos, foram também desenvolvidas investigações, lideradas por J.A. Salcedo, sobre lasers de impulsos e óptica não linear, em que o primeiro jovem investigador foi Manuel Joaquim Marques.

Entre 1984 e 1990, houve também uma preocupação forte desta equipa, ligada à comunicação óptica e aos lasers, em formar quadros técnicos superiores no País, desde quadros de empresas de telecomunicações, até ao sector militar e industrial, assim como jovens investigadores, muitos actualmente docentes em Instituições do Ensino Superior, particularmente no Norte do País. Nesta altura foi também iniciada alguma formação a nível avançado, nas Faculdades da Universidade do Porto, em particular com a criação de um programa de Mestrado na Faculdade de Engenharia, cujo plano de estudos incluía a área de Tecnologia e Sistemas de Comunicação Óptica. Aproveitando esta infra-estrutura, criada no INESC-Porto, em 1985, foi possível iniciar o trabalho na área dos sensores ópticos, envolvendo fibras ópticas [18], lasers e outras fontes ópticas.

Em 1991/1992, o Centro de Optoelectrónica do INESC-Porto iniciou a sua actividade sob a responsabilidade de José António Salcedo. O trabalho de investigação deste Centro foi orientado para domínios muito diversificados, nomeadamente, tecnologia laser, óptica integrada, sensores de fibra óptica e também aspectos relacionados com a aplicação de lasers na fabricação de materiais avançados, como é o caso da tecnologia de ablação laser para deposição de filmes finos com controle a nível de camada atómica.

A partir de 1992/1993 foi continuado e desenvolvido o trabalho na área dos sensores, com muito sucesso, por José Luís Santos, que veio a assumir a coordenação do Centro de Optoelectrónica do INESC-Porto e onde constituiu uma equipa jovem, com forte massa crítica, activa em inúmeras publicações internacionais. Através dos seus programas de Doutoramento, consolidou fortes conhecimentos que levaram até à criação de uma empresa, na área dos sensores ópticos: a FiberSensing. Esta empresa, orientada por dois doutorados deste grupo, tem produzido e colocado no mercado soluções para, nomeadamente, a monitorização de grandes estruturas de construção civil (tais como pontes e túneis) e o controle de estruturas de eólicas e aplicações na indústria aeroespacial, para as quais esta empresa tem soluções muito interessantes, mesmo no mercado mundial.

Um dos primeiros trabalhos desenvolvidos por este Centro de Optoelectrónica foi numa área de operação de lasers ultravioleta pulsados na produção de filmes supercondutores de alta temperatura. Esta actividade prosseguiu com outro tipo de aplicações, nomeadamente a produção de filmes piezoeléctricos e a deposição em alto vácuo de filmes com características muito bem controladas. Uma outra linha de investigação levou à criação local de condições para a investigação na área da Óptica Integrada [19]. Este trabalho, iniciado cerca de 1990 por A. Pereira Leite com uma pequena equipa (em que se incluíram J. Manuel Almeida, Paulo Marques e J. Longras Figueiredo), tem decorrido com sucesso e deverá registar num futuro próximo avanços significativos, através da instalação, na Universidade do Porto, de novas infra-estruturas de micro/nano-fabricação e caracterização.

Todo este trabalho inicial, nomeadamente nas áreas já referidas de sensores de fibra óptica integrada e também nas de tecnologia laser propriamente dita, em lasers de estado sólido, em lasers de fibra óptica e áreas relacionadas de óptica não linear, exigiu a formação inicial de equipas a nível avançado de mestrados e doutoramentos que ocorreram entre os anos de 1995 a 2000. A título de exemplo e no domínio dos dispositivos integrados ópticos, foi investigado niobato de lítio dopado com lantanídeos, de modo a obter-se a amplificação óptica assim como dispositivos laser e amplificadores ópticos integrados em tecnologia de sílica sobre silício.

Esta actividade foi apoiada quer através de projectos da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), quer através de projectos Europeus e programas COST sobre fibras ópticas e dispositivos fotónicos, incluindo consórcios com a participação de indústrias europeias nas áreas dos dispositivos integrados ópticos em materiais poliméricos, e no desenvolvimento de sensores para a indústria aviónica.

A investigação do Departamento de Física da Universidade do Porto e no Centro de Optoelectrónica do INESC-Porto beneficiou, ao longo dos anos, de diversificadas colaborações com instituições internacionais. Foram também acolhidos, em número crescente ao longo dos anos, investigadores que contribuíram para a expansão das actividades locais. É de sublinhar a forte contribuição do investigador



Oleg Okhotnikov no desenvolvimento da tecnologia de lasers em fibra óptica e óptica não linear, em colaboração com J. Salcedo e uma jovem equipa (Francisco Araújo, Luís Ferreira, Luís Gomes, João Sousa).

Um aspecto importante diz respeito à formação de jovens investigadores que contribuíram para a criação de empresas que trabalham e aplicam lasers. É o caso, já referido anteriormente, da FiberSensing, cujo trabalho se desenvolve na área dos sensores ópticos, assim como o de uma outra empresa de alta tecnologia, a Multiwave Photonics, focada no desenvolvimento e comercialização de lasers e amplificadores ópticos, em fibra óptica, com recursos portugueses e *know-how* português. Esta empresa, criada por José António Salcedo, tem recorrido a jovens investigadores formados no programa de mestrados e doutoramentos do Departamento de Física da Universidade do Porto e está a operar com sucesso no mercado mundial, projectando, produzindo e comercializando fontes ópticas sofisticadas, baseadas em fibras ópticas dopadas.

Uma investigação experimental muito recente centrou-se na aplicação de dispositivos ópticos integrados na área de instrumentação para a Astronomia. Foram projectados e construídos “*chips* ópticos” com recurso a escrita directa em filmes finos por laser, que permitem combinar as radiações provenientes de vários telescópios, de modo a atingir-se grande resolução angular nas observações.

Outras actividades de investigação e de docência muito relevantes foram desenvolvidas por outros investigadores do Departamento de Física da Universidade do Porto, sob a orientação de Olivério Soares e de Luís Bernardo. Os domínios em que se centraram e que vieram a expandir ao longo do tempo incluem, nomeadamente, a holografia e suas aplicações, o processamento óptico de informação, a óptica não-linear e a colorimetria.

Em meados de 2003, o oscilador laser de safira dopada com titânio (Ti:safira) que tinha sido construído no Instituto Superior Técnico (IST) de Lisboa por Hélder Crespo, foi transferido para a Universidade do Porto. Quando foi contratado para esta Universidade, H. Crespo montou um laboratório de lasers de impulsos ultra-curtos, a que foi dado o nome de Femtolab, para a realização de experiências na área da óptica não linear ultra rápida. Este laser, que foi o primeiro a ser instalado neste laboratório, gera impulsos ultra-curtos, de baixa energia, alta potência, e é fácil de operar.

Nos diversos estágios que efectuou no Laboratoire d’Optique Appliquée, LOA, em França, integrados na sua Tese de Doutoramento, H. Crespo trabalhou com um laser de corantes com cinco andares de amplificação, de alta energia (alguns mJ) e impulsos de curta duração (dezenas de fs). Embora esta tecnologia já começasse a estar em desuso, este sistema possuía características únicas, nomeadamente a capacidade de gerar dois impulsos absolutamente sincronizados mas de comprimentos de onda diferentes, mais concretamente um impulso de 4 mJ a 618 nm e 80 fs de duração, e outro a 516 nm e 40 fs, com a frequência de repetição de 10 Hz. Neste laser de corantes

efectuou experiências de mistura altamente não-degeneradas de quatro ondas, em meios isotrópicos e na escala de tempo dos femtosegundos, onde foi demonstrado experimentalmente pela primeira vez o fenómeno não linear da geração em cascata de múltiplos feixes de radiação ultra curta, cobrindo a gama do infravermelho ao ultravioleta [20].

No mesmo laboratório, estavam a ser usados como alternativa lasers de Ti:safira emitindo impulsos com durações típicas de alguns femtosegundos. Assim, esta foi a escolha da tecnologia a utilizar, em Portugal, para a construção de um oscilador (laser inicial numa cadeia de amplificação). Com os conhecimentos adquiridos durante os estágios realizados no LOA, neste domínio, e aproveitando muito do *know-how* existente neste laboratório, foi possível realizar este trabalho, integrado na sua Tese de Doutoramento.

Este oscilador laser é um sistema feito de raiz, baseado num desenho inicialmente desenvolvido pelo grupo de Kapteyn e Murnane nos EUA e que já tinha sido ensaiado; tem um cristal dopado e uma óptica específica, com um sistema de compensação de dispersão por prismas, mandados fazer por encomenda. O cristal de Ti:safira tem de ser bombeado na região espectral do verde ao azul. A escolha inicial foi um laser de árgon de cerca de 5 Watt. Este foi mais tarde substituído por um laser de estado sólido, bombeado por díodos e duplicado em frequência, o qual é muito mais fiável, possuindo um ruído óptico muito baixo e potência comparável à de um laser de árgon.

Para se obterem impulsos de 5 fs, valor próximo do mínimo actual, é preciso utilizar a técnica de bloqueamento de modos (*mode-locking*) por efeito de Kerr, que é a única capaz de produzir estes impulsos. Tanto quanto sabemos, este laser instalado no Femtolab foi o primeiro a emitir impulsos ultra-curtos de 10 fs, no nosso país. Integrado numa Tese de Mestrado, realizada no Femtolab, acrescentou-se a este oscilador um sistema amplificador de oito passagens, para aumentar a energia em seis ordens de grandeza, desde os nJ até aos mJ. Este laser com amplificador, gerando impulsos de 2 mJ e <40 fs foi também o primeiro em Portugal com estes parâmetros. Com o trabalho de laboratório e projectos nele realizados, criaram-se as condições para adquirir outro sistema complementar do anterior. Este, apesar de ter como base um laser comercial, tem algumas características únicas: gera um impulso ultra-curto amplificado, a uma taxa de 1 kHz, com fase absoluta estabilizada, cerca de 1 mJ de energia e menos de 5 fs de duração.

De entre os vários trabalhos efectuados, referem-se apenas dois recentes, ambos relacionados com a geração e a medição destes impulsos extremamente curtos.

Um deles é um problema que tinha sido previsto e estudado teoricamente em 2007, chamado compressão solitónica, e que foi realizado experimentalmente em 2009 [1]. Hoje em dia, é mais ou menos fácil construir um laser que produza impulsos de 100 fs, adquirindo os componentes. Mas criar um impulso laser de 5 fs é ainda um desafio considerável – esta duração corresponde a menos de dois ciclos ópticos, e representa o limiar da tecnologia actual. Há muito poucos lasers destes a funcionar no mundo. Num pós-doutoramento efectuado nos EUA, H. Crespo construiu um laser de 1 nJ e 4,9 fs. Já no Femtolab, utilizou-se um sistema laser tradicional de 100 fs para criar um outro sistema com impulsos de poucos ciclos ópticos, apoiado na compressão solitónica, e que se encontra presentemente a funcionar.

A tecnologia utilizada consistiu num dispositivo baseado num cristal fotónico em fibra (tipo de fibra óptica especial com “buracos”) com cerca de 4 mm de comprimento e um núcleo muito pequeno com 1,5 micron de diâmetro (onde a luz se propaga) rodeado por buracos de ar. Ao introduzir-se impulsos de 100 fs, obtêm-se na saída impulsos de 4,9 fs. Graças à elevada intensidade óptica na fibra, a radiação que se propaga no núcleo é sujeita a fortes efeitos não-lineares (auto-modulação de fase) de tal modo que a “cor” do impulso alarga-se no espectro electromagnético, passando de infravermelho àquilo que se pode designar como “laser branco”. Como a dispersão desta fibra é negativa, simultaneamente com o alargamento espectral dá-se uma compressão temporal, dando origem a um impulso com poucos ciclos ópticos. Este resultado tinha sido obtido teoricamente com uma simulação numérica em 2007, mas após algum tempo e esforço, em 2009 foi obtido por via experimental [21].

Outro projecto em desenvolvimento no Femtolab tem a colaboração de investigadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), os quais são especialistas em óptica dispersiva especial – espelhos que conseguem compensar a dispersão dos materiais ópticos. Uma característica muito importante de um impulso ultra-curto é a sua potência, porque a sua energia está concentrada num instante curtíssimo. Por exemplo, com a energia de 1 mJ concentrada em 10 fs, obtém-se uma potência de  $10^{11}$  W, ou seja, 100 GW. Por outro lado, apesar de serem intensos e potentes, tais impulsos são frágeis: ao propagar-se através de um simples vidro com 1 cm de espessura, um impulso de 10 fs emerge com uma duração dez vezes maior, por causa da dispersão. Um impulso curto requer obrigatoriamente uma banda espectral larga, com componentes de frequência mais altas (“azuis”) e mais baixas (“vermelhas”) relativamente à sua frequência central. Num material dispersivo, o azul atrasa-se e o vermelho adianta-se, pelo que o impulso se estica e

adquire *chirp*, ou trinado: as diversas cores vêm separadas no tempo, em vez de sobrepostas, originando um impulso alargado. Este é um problema que surge sempre que o impulso tem que atravessar uma óptica, tal como uma lente – a duração no foco é à partida superior à duração à entrada, o que pode ser indesejável.

Há várias formas de compensar esta dispersão, mas como os materiais ópticos têm dispersão normal, ou seja, os “azuis” atrasam-se sempre em relação aos “vermelhos”, é preciso criar pseudo-materiais que introduzam uma dispersão negativa. A forma mais eficiente de o conseguir consiste nos chamados espelhos com *chirp*, que são essencialmente espelhos dieléctricos com várias camadas sobrepostas, de índices de refração alternadamente mais altos e mais baixos, e de espessura variável. Esta possibilidade apresenta a grande vantagem de se poder “desenhar” o espelho de modo a compensar exactamente a dispersão de um dado material óptico numa grande largura de banda e, assim, conseguir preservar ou recuperar as durações ultra-curtas.

Na prática, esta técnica é aplicada no Femtolab em dois passos. Primeiro, impulsos com 25 fs, 1 mJ, à cadência de 1 kHz, são enviados através de uma fibra oca cheia de um gás nobre, a fim de se alargar a sua banda espectral, através da auto-modulação de fase (efeito de Kerr óptico). Esta técnica foi criada por um grupo do Politécnico de Milão, e é presentemente a única capaz de criar impulsos amplificados com durações inferiores a dois ciclos ópticos. O que acontece é que a variação da intensidade do impulso no tempo induz uma variação no índice de refração do gás, associada a uma variação de fase no tempo. Se esta variação for muito rápida, provoca uma variação na frequência – fenómeno que está na origem do “laser branco”, mas, desta vez, numa fibra com gás de maior tamanho, dada a energia mais elevada. No entanto, não deixa de ser interessante que, apesar da diferença de escala ( $10^6$ ) entre as duas fibras, os resultados são muito semelhantes: o espectro alarga na mesma proporção e a duração final do impulso é cerca de 4 fs. Se tivermos em conta que, para um comprimento de onda de 800 nm, um ciclo óptico dura uns meros 2,7 fs, aquele resultado corresponde claramente a menos que dois ciclos. Estes impulsos ultra-curtos têm aplicações muito importantes, porque a forma como interagem com a matéria é muito diferente da de um impulso com muitos ciclos.

Neste momento, o Laboratório Femtolab tem, por um lado, os sistemas de baixa energia (nanojoule) que produzem impulsos extremamente curtos e irão ser usados em experiências de espectroscopia de materiais; por outro lado, possui também sistemas de alta energia (millijoule), com caracterís-



Fig. 2 - Sistema de alta energia (compressor de fibra oca)

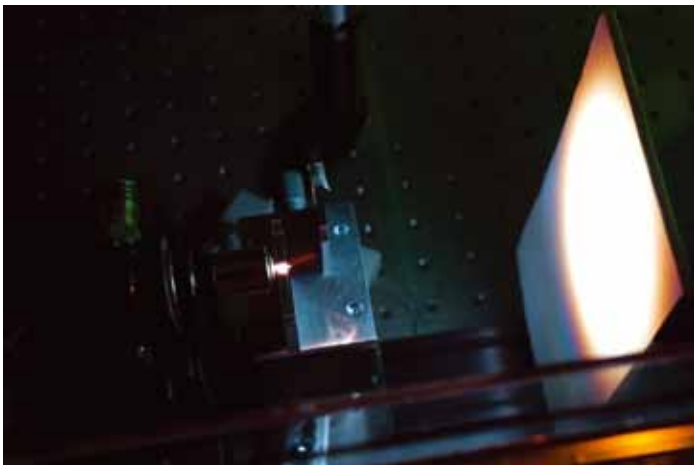


Fig. 3 - Um feixe de luz infravermelha (proveniente do lado esquerdo, e invisível) é acoplado num segmento de cerca de 5 mm de cristal fotónico de fibra óptica (a meio da imagem) usando uma objectiva de microscópio. À saída obtém-se um feixe de luz branca gerado por compressão solitónica (direita).

ticas temporais semelhantes, que poderão ser usados para geração de harmónicas de ordem muito elevada e produção de radiação coerente nos raios X.

Segundo A. Pereira Leite, o estado presente do ensino avançado, da investigação e do desenvolvimento em lasers e suas aplicações na Universidade do Porto, apesar de todas as dificuldades de financiamento e outras, é incomparavelmente mais avançado do que o que se verificava quando se iniciou esta actividade, há mais de 35 anos. Hoje existem laboratórios bem equipados e estruturas significativas, *know-how* acumulado e grupos relativamente numerosos; portanto, massa crítica que permite encarar trabalhos de investigação e desenvolvimento em áreas já bastante diversificadas, que vão desde a aplicação de sensores e tecnologia óptica na medição de parâmetros físicos, químicos e ambientais (em colaboração com empresas e Universidades europeias e americanas), ao desenvolvimento de tecnologia de fabricação de filmes finos sofisticados, à exploração de tecnologia laser e implementação de sistemas laser muito sofisticados, no regime de femtosegundo e attosegundo.

Os 50 anos do laser permitem, também, olhar para trás e verificar os enormes avanços e o impacto que os lasers tiveram e têm nas nossas vidas no dia a dia, nomeadamente nas comunicações ópticas, no processamento, armazenamento e recuperação de informação (gravação óptica de alta densidade) e em muitas outras áreas nos domínios médico, industrial e de manipulação de materiais. Comemoraram-se no Porto os 25 anos do laser com intervenções de variados investigadores activos na época, nesta área. Se fosse realizada hoje a comemoração dos 50 anos do laser, a audiência seria certamente muito mais vasta, provavelmente por um factor de dez ou mais, e a diversidade de experiências seria certamente multiplicada por um factor ainda maior. É com alguma satisfação que se vê, olhando para trás, que o caminho percorrido, com algumas dificuldades, foi um caminho que valeu a pena e que permite hoje, reposicionar grupos de investigação do Departamento de Física da Universidade do Porto, num contexto internacional, em

particular europeu. As interações em colaboração, em projectos e em formação de jovens investigadores, têm sido muito positivas, e estes últimos, através da sua actividade em centros de investigação estrangeiros com os quais existem colaborações sustentadas, têm sempre recebido bom acolhimento e boas referências por parte dos seus orientadores nesses centros, muito satisfeitos com o nível de desempenho e as suas capacidades. Consideramos que esta é talvez a nota mais importante, olhando para os jovens e para o futuro.

### Agradecimentos

Agradeço à Maria Manuela, minha mulher, todo o apoio e ajuda que me deu na preparação dos manuscritos obtidos das gravações efectuadas pelos intervenientes, nas correcções dos textos parciais e na revisão final do documento que redigi como coordenador.

### Referências

- [17] J. R. Salcedo, "Projecto e construção de um laser em fase gasosa", *Gazeta de Física*, Vol.V, Fasc. 8, pp. 237-243.
- [18] A. B. Lobo Ribeiro, J. L. Santos, J. M. Baptista, F. M. Ferreira, A. P. Leite, F. M. Araújo, "Optical Fiber Sensor Technology in Portugal", *Fiber and Integrated Optics* 24, 171-199 (2005).
- [19] P. V. S. Marques, R. Muenzner, D. Alexandre, A. M. P. Leite, M. Melo, T. E. A. Schmit, e J. S. Aitchison, "Photosensitive Materials for Integrated Optic Applications", *Fiber and Integrated Optics* 24, 149-169 (2005).
- [20] H. Crespo, J. T. Mendonça, e A. Dos Santos, "Cascaded highly non-degenerate four-wave-mixing phenomenon in transparent isotropic condensed media", *Optics Letters* 25, 11 (2000).
- [21] A. A. Amorim, M. V. Tognetti, P. Oliveira, J. L. Silva, L. M. Bernardo, F. X. Kartner e H. M. Crespo, "Sub-two-cycle pulses by soliton self-compression in highly nonlinear photonic crystal fibers", *Optics Letters* 34, 24 (2009).

Conversas gravadas com Gonçalo Figueira, J. Mendanha Dias, Hélder Crespo, e A. Pereira Leite. Comunicação Privada.





**Manuel Ribau Teixeira**, Aposentado, Doutorado em Física pela Universidade de Lisboa em 1984. Como Investigador foi responsável pelo Grupo de Investigação de Desenvolvimento e Aplicações de Lasers, de 1984 a 1996, no Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. Professor Convidado do Departamento de Física da Universidade Nova de Lisboa, de 1985 a 2000, foi responsável pelas disciplinas de Óptica e Optoelectrónica, da Licenciatura em Engenharia Física desta Universidade.



**Gonçalo Figueira** é Investigador Auxiliar do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico (IST). É licenciado em Eng. Física Tecnológica (1994) e doutorado em Física (2001) pelo IST. Trabalha em física e tecnologia de lasers de alta potência e impulsos curtos, incluindo a sua geração, manipulação, e caracterização. É coordenador da investigação e desenvolvimento em lasers do Laboratório de Lasers Intensos do IST. Desde 2007 é também director editorial adjunto da Gazeta de Física.



**João Mendanha Dias** é Professor Auxiliar do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico desde 2001. É licenciado em Eng. Física Tecnológica (1992), mestre em Física e Engenharia dos Plasmas (1995) e doutorado em Física (2001) pelo IST. Trabalha em física dos plasmas na área de novas fontes de radiação relativistas por interação laser-plasma, em particular, aceleração de partículas (fótons, electrões e iões). Na engenharia biomédica tem orientado vários alunos de pós-graduação na área da modulação óptica do olho humano, simulação da acuidade visual e sua aplicação clínica.



**Dawei Liang** obteve o bacharelato (1984) e mestrado (1986) na Universidade de Tianjin, China. Concluiu o doutoramento em optoelectrónica na Universidade de Chongqing, China, em 1990. Em 1995 obteve a equivalência deste grau em optoelectrónica e microelectrónica pela Universidade Nova de Lisboa, em cujo Departamento de Física é actualmente Professor Auxiliar. É autor de mais de 50 publicações em revistas internacionais e actas das conferências CLEO e SPIE.



**António Pereira Leite** é Professor Associado e Director do Mestrado Integrado em Engenharia Física do Departamento de Física e Astronomia da FCUP. A sua actividade docente e de investigação centra-se na Óptica, em particular em fibras ópticas e suas aplicações, e em dispositivos micro-ópticos.



**Hélder Crespo** é Doutorado em Física pelo Instituto Superior Técnico (2006) e Professor Auxiliar no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Recebeu o Prémio Gulbenkian de Ciência (1998) por trabalho na área da óptica não-linear ultra-rápida. Foi investigador visitante no Massachusetts Institute of Technology (2007-2008) onde trabalhou no desenvolvimento e construção de lasers de impulsos com menos de dois ciclos ópticos de duração e estabilizados em fase. Colaborou na criação e construção do laboratório de impulsos ultra-curtos da Universidade do Porto, onde coordena e realiza trabalho nas áreas da óptica não-linear, fotónica e espectroscopia ultra-rápidas. É responsável pelas disciplinas de Lasers e de Óptica não-linear e Ultra-rápida do mestrado integrado em Engenharia Física da mesma Universidade.

# Átomo observado fica envergonhado

Jim Al-Khalili

Em 1977, os físicos George Sudarshan e Baidyanath Misra, da Universidade do Texas, publicaram um artigo surpreendente, intitulado “O paradoxo de Zenão na teoria quântica”. Físicos de todo o mundo ficaram intrigados. Alguns acharam que aquele trabalho não passava de uma tolice, enquanto outros desataram a fazer experiências para testar a ideia. O artigo, publicado no *Journal of Mathematical Physics*, descreve uma situação surpreendente: um átomo radioactivo, se for observado de perto e continuamente, nunca decai! A ideia pode ser resumida perfeitamente pelo ditado “panela vigiada não ferve”, que foi usado pela primeira vez, tanto quanto sei, no romance “Mary Barton” (1848), da escritora vitoriana Elizabeth Gaskell – embora eu imagine que seja provavelmente muito mais antigo. A noção tem as suas origens, claro, no paradoxo da seta de Zenão e na nossa incapacidade de detectar o seu movimento ao considerar um “retrato” parado num dado instante de tempo.

Mas no mundo real, como – e porquê – pode isto acontecer? Obviamente, o ditado sobre a panela não é mais que uma simples lição sobre a paciência: uma chaleira não vai ferver mais depressa só por estarmos a olhar para ela. No entanto, o que Mishra e Sudarshan pareciam sugerir é que, quando se trata de átomos, é realmente possível influenciar o modo como se comportam. Mais: que essa interferência é inevitável – o acto de observar altera o estado da coisa que estamos a observar. Era como se um átomo que, quando deixado ao acaso, acabasse por espontaneamente emitir uma partícula num dado momento, de alguma forma ficasse envergonhado por fazê-lo quando alguém está a espia-lo.

Embora a conclusão do artigo de Mishra e Sudarshan permaneça algo controversa, hoje podemos afirmar que para a maioria dos físicos quânticos ela deixou de ser um paradoxo. Na literatura actual é costume referir-se como “Efeito Zenão Quântico”, e concluiu-se ser muito mais geral e disseminado do que o previsto. Um físico quântico dirá com todo o prazer que o efeito pode ser explicado através do “colapso constante da função de onda no estado inicial



Cortesia de Jim Al-Khalili

não decaído”, que é o tipo de linguagem incompreensível que se espera de um físico quântico – sei do que falo, sou um deles.

Esta recém-descoberta onnipresença do Efeito Zenão Quântico permitiu aos físicos quânticos uma melhor compreensão sobre como um átomo responde ao que está à sua volta – o que é conhecido como descoerência. Um grande passo foi dado quando os cientistas do National Institute of Standards and Technology (NIST), no Colorado, confirmaram o Efeito Zenão Quântico numa famosa experiência, em 1990. Esta teve lugar na Divisão de Tempo e Frequência – uma designação maravilhosa. O cientista coordenador foi Wayne Itano, e a experiência foi concebida para testar se o Efeito Zenão Quântico poderia realmente ser detectado. Consistiu em aprisionar vários milhares de átomos num campo magnético, e de seguida bombardeá-los delicadamente com lasers, obrigando-os a revelar os seus segredos. E sem dúvida encontraram provas claras do efeito: observando constantemente os átomos, eles comportam-se de uma forma muito diferente da esperada.

Numa reviravolta final, agora há indícios de um efeito oposto: algo chamado o “Efeito Anti-Zenão”, que é o equivalente quântico de ficar a olhar para uma chaleira e fazê-la ferver mais depressa. Embora ainda um pouco especulativa, esta investigação vai ao cerne de algumas das áreas mais profundas e possivelmente mais importantes da ciência deste século, tais como conseguir construir o que se chama um computador quântico.



## Teoria de tudo e teorias para tudo

Carlos Fiolhais

Há entre os físicos aqueles que preferem confrontar-se com grandes questões fundamentais, como as de saber quais são as partículas últimas do mundo e as suas interações, e aqueles que optam antes por investigar fenómenos complexos observados no mundo que resultam de processos de organização sobre os quais as teorias ditas fundamentais nada dizem porque nada podem dizer. O primeiro grupo segue uma linha que se pode chamar reducionista, que procura desmontar o Universo nos seus blocos, ao passo que o segundo grupo se interessa pela auto-organização da matéria e propriedades dela emergentes que se perdem completamente quando os blocos são separados.

As duas visões são complementares. A invocação de duas efemérides recentes da história da Física ajuda a perceber essa complementaridade. Há um século, mais precisamente a 7 de Março de 1911 o britânico (nascido na Nova Zelândia) Ernest Rutherford apresentava à Sociedade Literária e Filosófica de Manchester uma comunicação intitulada “A dispersão dos raios alfa e beta e a estrutura do núcleo” na qual anunciava a sua descoberta do núcleo atómico partir do embate de partículas alfa numa fina película de ouro: “É considerada a dispersão de partículas electrizadas para um tipo de átomo que consiste de um carga eléctrica central concentrada num ponto e rodeada por uma distribuição esférica uniforme de electricidade oposta igual em grandeza.” Era mais um passo, e desta vez um passo de gigante, no esforço incessante da humanidade de compreender os constituintes da matéria. Passados poucos dias, a 8 de Abril de 1911, num laboratório de Leiden, o físico holandês Heike Kamerlingh Onnes escrevia, em má caligrafia, no seu caderno de notas um apontamento sobre a supercondutividade do mercúrio escassos quatro graus acima do zero absoluto: “Temperatura medida com êxito. (Resistivi-

dade do) mercúrio praticamente zero”. Desta vez era matéria que se julgava bem conhecida – o mercúrio já era usado pelos antigos egípcios e chineses e foi manipulado pelos alquimistas com o nome que ainda hoje mantém – que revelava a surpreendente propriedade de anular a resistência eléctrica a uma temperatura bastante baixa.

A descoberta do núcleo atómico lançou a Física Nuclear, que por sua vez lançou a Física de Partículas, trazendo as duas vagas sucessivas de saberes novos, por vezes surpreendentes, sobre a constituição da matéria. Muitos físicos trabalham hoje na esteira de Rutherford bombardeando com violência a matéria para conhecer os seus segredos mais íntimos. Por seu lado, a descoberta da supercondutividade lançou, durante longos anos, a perplexidade entre os maiores cérebros da Física. Tardou até 1957 para três físicos, os norte-americanos John Bardeen, Leon Cooper e Robert Schriffer, conseguirem explicar o estranhíssimo fenómeno: devido à intermediação da rede atómica um electrão aliava-se a outro e os dois podiam fazer coisas que nenhum faria sozinho. Bardeen foi até à presente data o único laureado com dois Prémios Nobel da Física, o primeiro pela invenção do transistor e o segundo pelo esclarecimento da supercondutividade. Em 1986, há um quarto de século, algo inesperado voltou a bater à porta dos físicos da matéria condensada: o alemão Johannes Bednorz e o suíço Karl Alexander Mueller anunciaram a descoberta da supercondutividade a altas temperaturas em materiais cerâmicos, que a teoria de Bardeen, Cooper e Schriffer (BCS) não conseguia explicar. Ainda hoje, não obstante a publicação de mais de cem mil artigos sobre a supercondutividade a altas temperaturas, nenhuma teoria o consegue fazer de forma satisfatória...

Os exemplos mostram que, quando menos se espera, a experiência se encarrega de trazer grandes novidades aos físicos. E mostram que maneiras diferentes de ver e fazer física têm encontrado novos desafios, que não raro se cruzam e iluminam mutuamente. Os físicos de partículas discutem actualmente a possibilidade de uma teoria de tudo. Mas os físicos da matéria condensada sabem que não há nem pode haver uma só teoria que dê conta de tudo...



## Aconteceu

### O Encontro

Horácio Fernandes

Tesoureiro da Sociedade Portuguesa de Física

Realizou-se de 6 a 9 de Junho na Foz do Iguaçu, o 1º grande encontro de toda a Física Brasileira, reunindo mais de 3000 investigadores, professores e alunos, de todas as áreas da Física. Pela primeira vez a SBF reuniu conjuntamente as suas divisões em vez dos encontros sectoriais tradicionais. O resultado foi um grande impacto mediático e social.

Em português de Portugal “Encontrão” não é associado a um mega-encontro de pessoas, muito menos de saberes, ao contrário do seu significado em português do Brasil. Em português de Portugal “Encontrão” referir-se-ia normalmente a uma “colisão”, entre pessoas ou objectos com violência. Na Foz do Iguaçu, de 5 a 9 de Junho, o “Encontrão” foi o novo acordo ortográfico, foi a fusão dos dois significados, foi um mega-encontro violento. A junção num só ponto, por sinal uma fronteira de três países (Argentina, Paraguai e Brasil), no espaço e no tempo das principais divisões de física da sociedade Brasileira de Física foi uma iniciativa empolgante. A visibilidade da Física na sociedade brasileira veio ao de cima e sentiu-se ciência num dos mais belos locais do Planeta.

O “Encontrão” seguiu um modelo pouco convencional em conferências. Com um forte apoio governamental ao nível da subsídio das viagens e hospedagem de professores do secundário e estudantes, conseguiu mobilizar 3062 participantes (metade dos sócios activos da SBF) e publicar 2776 trabalhos. Apesar duma participação esmagadoramente brasileira, contou contudo com participantes de mais de 28 países. Surpreendentemente (ou não...) 60% são oriundos da divisão de Física da Matéria Condensada de entre as cinco principais divisões da SBF. Mesmo no Brasil poucas eram as cidades com capacidade para realizar tal evento, uma vez que mais de 20 hotéis foram mobilizados, esgotadas as viagens aéreas e rodoviárias e reforçadas as rotas regionais para fazer convergir no principal centro de conferências de Foz do Iguaçu esta imensidão de físicos.

Foz do Iguaçu foi uma opção política clara para demonstrar a agenda da SBF de buscar uma maior integração com as comunidades de Física da América Latina e da internacionalização da ciência brasileira. Daí a escolha das “três fronteiras” local que albergará a UNILA – Universidade

Comunicações	n.º trabalhos
Oral - curta	378
Oral	43
Palestras Plenárias	9
Poster	2140
Sessão Coordenada	7
Sessões de Simpósios	199

Número de comunicações por categoria apresentadas no Encontro de Física da SBF

Federal da Integração Latino-Americana e fez anteceder o “Encontrão” do encontro o workshop “World Cooperation in Physics” onde esteve representada a SPF.

Uma potência mundial nos dias de hoje afirma-se pelos laços diplomáticos que estabelece e pela influência sociopolítica que exerce. Contudo o esboço geoestratégico mundial deixou há muito de ser representado por um mapa rosa. A imersão cultural precede essa expansão e dela faz parte inevitavelmente a ciência e a educação. Sente-se hoje que o Brasil já se apercebeu disso e tem em marcha há longa data um processo de formação de recursos que inicialmente se consubstanciou no envio de estudantes de pós-graduação para o estrangeiro e no recrutamento de profissionais graduados igualmente no estrangeiro para hoje liderarem e multiplicarem o saber nas universidades brasileiras.

A Física é um bom exemplo dessa estratégia, principalmente em campos aplicados, onde o financiamento aparentemente nunca faltou. O Brasil tem hoje tecnologia endógena à custa dum crescimento interno das suas competências científicas e dominam um rol de campos científicos desde a energia nuclear à indústria aeroespacial passando pela construção naval e muitas outras.

Acima de tudo o “Encontrão” foi uma grande festa de Física. Permitiu a quem quisesse assistir a va-

riadíssimos tópicos de física actualíssimos e “miscigenar” conhecimento. Conseguiu vencer distâncias equivalentes de Lisboa a Paris e reunir um país num lugar comum.

Mas o “Encontrão” é acima de tudo uma clara mensagem política do governo brasileiro. Uma mensagem de que acredita nos seus cientistas e professores. Uma mensagem de que o presente do Brasil a eles se deve. E sobretudo que o futuro do país, enquanto super-potência económica e política, só o será com eles.

E é a partir daqui que começamos a ter certezas. Percebemos que o Brasil está num ponto de viragem para o exterior. Percebemos que foi bom descobrir novos mundos para ver um admirável novo mundo surgir.

No Fausto, Goethe discute a origem do princípio e, contrariando o evangelho de João, conclui que no princípio era a acção e não a palavra. Precisamente. Apesar do Brasil ser um país onde a palavra possa ser a ordem do dia, há acção!

## Simpósio “Frontiers of Physics”

- 25 anos da *Europhysics Letters*

**Flávio de Sousa Coelho,  
Manuel Jorge Marques**

A Academia das Ciências da Baviera acolheu, entre 2 e 4 de Maio, o simpósio “Frontiers of Physics”, organizado pela Sociedade Europeia de Física (EPS) e que teve como principal intuito comemorar os 25 anos da criação da revista *Europhysics Letters*.

Este evento juntou na cidade alemã de Munique estudantes e investigadores na área da Física. Os estudantes provinham de níveis de ensino muito diversos, desde alunos do Ensino Secundário da Baviera a estudantes de pós-graduação de países europeus membros da EPS.

O programa do simpósio incluiu palestras de distintos oradores convidados, todos eles autores de artigos publicados na EPL, abrangendo diversas áreas da Física, desde a Cosmologia à Física Médica. Os estudantes participantes tiveram ainda a oportunidade de visitar alguns laboratórios da Universidade Técnica de Munique e da Universidade Ludwig-Maximilians, onde abordaram temas desde Biofísica à Nanotecnologia. Os jantares, que tiveram lugar em restaurantes típicos da cidade, proporcionaram uma excelente oportunidade de convívio intergeracional e troca de experiências.

Na nossa opinião, esta foi uma excelente iniciativa da EPS, a qual congratulamos pela excelente organização. Aproveitamos ainda para agradecer à SPF pela oportunidade de tomar parte neste evento.

## 5ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa

**Pedro Abreu**

Realizou-se no CERN, Genebra, Suíça, entre 4 e 9 de Setembro de 2011, a 5ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa.

O CERN – Organização Europeia de Física de Partículas – sediado em Genebra, Suíça, lançou em 2000 programas de formação para professores, com o objectivo de aproximar a Física de Partículas das escolas e abrir a possibilidade de contacto mais directo com a ciência actual num dos locais onde ela se faz diariamente.

Neste programa os professores têm contacto directo com as experiências de vanguarda e tecnologias de ponta que se desenvolvem no CERN, e com os cientistas envolvidos nas mesmas, nas visitas ao Laboratório e nas palestras introdutórias.

Em 2006 propôs aos países a organização conjunta de programas de uma semana na língua do país, tendo-se logo associado o LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, com o apoio financeiro da Agência Ciência Viva.

Sendo originalmente um programa de formação em Física de Partículas e áreas associadas destinado a professores portugueses, desde 2009 tem sido estendido a professores de outros países de língua portuguesa, sendo o primeiro programa de um país aberto a países não membros do CERN. Em 2011 participaram pela primeira vez professores de todos os países da CPLP – Comunidade dos Países de Língua Portuguesa, com a presença de 41 professores portugueses, 20 brasileiros, 4 moçambicanos, 4 angolanos, 1 cabo-verdiano, 1 santomense, 1 guineense e 1 professor timorense, fazendo deste um dos maiores programas para professores no CERN.

A participação dos professores portugueses e as viagens dos professores de Moçambique, Cabo-Verde, Guiné-Bissau, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste, teve o apoio financeiro da Agência Ciência Viva (Portugal), o alojamento e estadia dos professores africanos e do professor timorense teve o apoio financeiro do CERN. A participação dos professores brasileiros foi financiada pelo CNPq e CAPES (Brasil), e foi organizada pelo CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e pela Sociedade Brasileira de Física, e a participação dos professores angolanos foi organizada e financiada pelo Governo de Angola.

Durante esta semana, os professores visitam vários locais do CERN, da produção e aceleração dos vários feixes de partículas, aos detectores que registam os dados de colisões, quer do LHC quer noutras das várias experiências a decorrer, passando pelo grande centro de cálculo onde está centralizada a GRID. Nas visitas estão sempre acompanhados por investigadores portugueses e brasileiros, permitindo uma contacto muito próximo para troca de experiências e esclarecimento de dúvidas. Durante as manhãs há palestras de introdução à física de partículas e áreas associadas, que preparam os conteúdos das visitas durante a tarde. Ao fim do dia, os participantes dividem-se em grupos heterogéneos para uma revisão do dia e preparação de perguntas para as sessões de perguntas e respostas. É um programa muito intenso – a agenda e todos os conteúdos estão disponibilizados a partir de [http://www.lip.pt/cern\\_em\\_portugues/programa.php](http://www.lip.pt/cern_em_portugues/programa.php) – que oferece uma visão geral do CERN e da participação portuguesa e brasileira nas experiências e demais atividades do CERN.



Grupo de Participantes dos 8 países da CPLP na 5ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa, junto ao Globe of Innovation do CERN, Genebra, Suíça.

## Workshop de fusão nuclear para professores do secundário

**Bruno Gonçalves**

O Instituto Superior Técnico, através do seu Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), organizou uma acção de formação sobre Fusão Nuclear destinada a professores do ensino secundário.

A acção de formação contou com a participação de 12 professores do ensino secundário, provenientes de vários pontos do país e seleccionados entre cerca de 75 candidatos. Durante três dias os professores assistiram a várias aulas proferidas por investigadores do IPFN e do JET focadas nos vários aspectos da física, tecnologia e engenharia da Fusão nuclear. O programa da acção de formação contou com uma visita ao tokamak JET (Oxford, Reino Unido) patrocinada pelo IPFN, onde os professores tiveram a oportunidade de visitar o dispositivo experimental e vários dos sistemas auxiliares.

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

As reacções de fusão nuclear são semelhantes ao processo que fornece a energia ao sol e às outras estrelas. A investigação em fusão nuclear visa a produção de energia eléctrica com base no aproveitamento energético da energia libertada nestas reacções. A fusão nuclear é potencialmente uma fonte de energia capaz de fornecer electricidade de base sem emissão de gases causadores do efeito de estufa, com combustível abundante (o deutério extrai-se da água do mar, assim como o lítio, do qual se produz o trítio necessário) e incomparavelmente mais segura e limpa que os reactores actuais, baseados em fissão nuclear.

O IPFN tem tido uma participação cada vez mais significativa nas várias componentes do uso colectivo do JET pelos Associados do EFDA: operação, exploração científica, desenvolvimento de hardware e gestão do programa experimental. Actualmente estão também em curso vários projectos para o desenvolvimento de sistemas de controlo e aquisição de dados e diagnósticos de microondas, áreas nas quais as competências do IPFN são amplamente reconhecidas na Europa.



Participantes no workshop de fusão nuclear - visita ao JET.



# Simular uma combustão explosiva

Carlos Saraiva

Agrupamento de escolas de Trancoso, Escola EB 2,3 de Vila Franca das Naves, 6420-707, Trancoso, Portugal

carlos.saraiva1@gmail.com

Neste trabalho vou explicar como se pode construir um dispositivo para simular uma combustão explosiva, usando materiais muito simples e que podem ser reaproveitados.

O material utilizado é muito simples e fácil de obter. Inclui um recipiente de plástico (que se usa para guardar os rolos fotográficos), combustível (hidrogénio, butano ou álcool etílico), um isqueiro piezoelétrico, parafusos, porcas, madeira e fios condutores (Figura 1).

Procedimento: Fizemos dois furos numa superfície plástica, afastados cerca de 1,5 cm e introduzimos dois parafusos. Depois, fizemos também dois furos na tampa do recipiente de plástico e fixámos com porcas a tampa à superfície, de modo que, ao fechar o recipiente, as extremidades superiores dos parafusos fiquem no interior do tubo. Na ponta superior de um parafuso ligámos um fio de cobre, de modo a que a outra extremidade do fio fique próxima da ponta do outro parafuso, mas não lhe toque.



Fig. 1 - Material necessário: butano, álcool etílico, dois fios condutores, recipiente plástico, sistema piezoelétrico, porcas e parafusos.

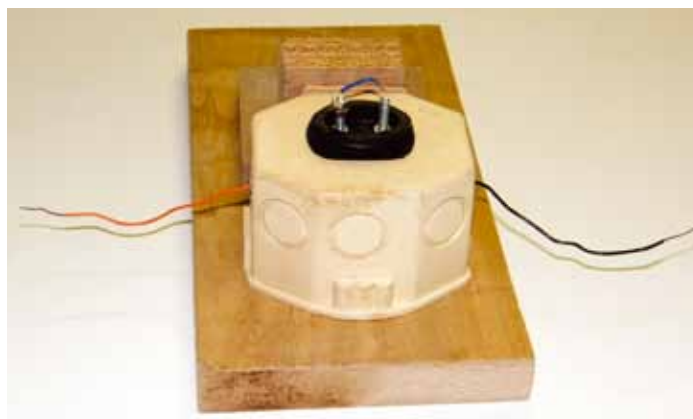


Fig. 2 - Dispositivo preparado.

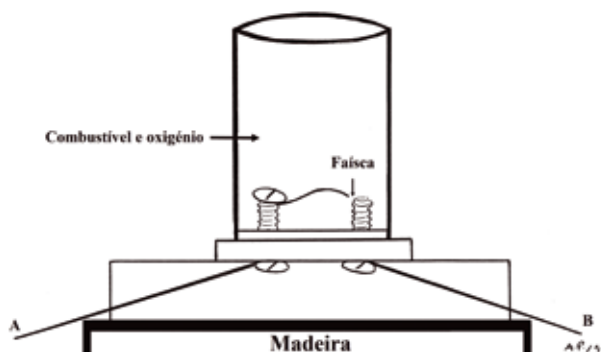


Fig. 3 - Esquema do dispositivo.

Nas extremidades inferiores dos parafusos ligámos dois fios de cobre e fixámos a superfície plástica a uma base de madeira. A Figura 2 representa o dispositivo preparado e na Figura 3 está o esquema.

Produzimos hidrogénio (através da electrólise da água) de modo a armazená-lo no recipiente de plástico. Tapámos o recipiente com a respectiva tampa e colocámos o dispositivo numa mesa. Ligámos os dois fios de cobre (A e B) a um sistema piezoelétrico e carregámos para produzir uma faísca

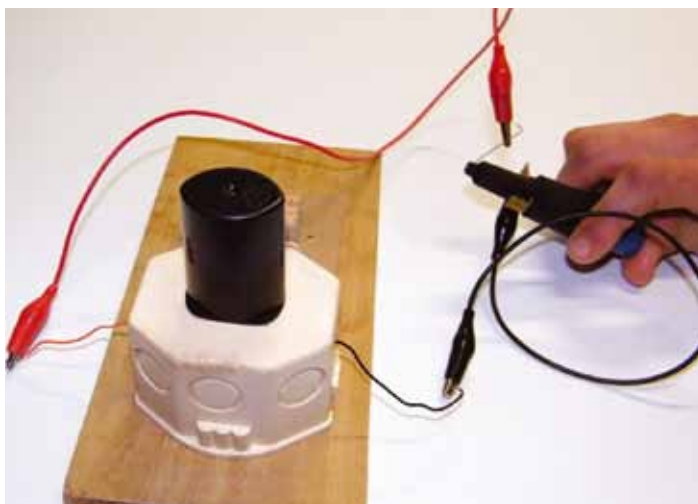


Fig. 4 - Ignição do gás.

entre os contactos que estão no interior do tubo (Figura 4). Estes sistemas piezoelétricos produzem tensões elevadas ao serem pressionados, o que dá origem a uma faísca. Esta faísca serve de ignição para activar a combustão, que dá origem à formação de gases (dióxido de carbono e/ou vapor de água), o que faz aumentar a pressão. O tubo é projectado na vertical com grande velocidade.

Também experimentámos com álcool etílico e com gás butano de um isqueiro e também nestes casos ocorreu uma explosão violenta.

### Considerações práticas

Não devemos colocar mais do que 2 a 3 gotas de álcool etílico, porque depois da projecção do tubo, se houver mais combustível, vai continuar a arder.

A temperatura ambiente tem influência na activação da reacção. Se a temperatura for muito baixa (em dias muito frios) é preferível usar combustíveis gasosos (hidrogénio ou butano). Se usarmos álcool etílico é conveniente esperar alguns minutos para ocorrer vaporização e pode ser necessário aquecer o recipiente se a temperatura ambiente for baixa.

### Exploração didáctica

Esta experiência serve para simular o princípio de funcionamento dos motores de explosão nos carros, aviões, foguetões, etc. Nas aulas também pode ser usada para explicar a terceira lei de Newton (lei da acção-reacção).

Esta actividade serve para abordar o uso de hidrogénio como combustível. Esta tecnologia já está disponível em carros e é um tema que aparece com frequência nos meios de comunicação. Nas aulas de Físico-Química, quando os professores abordam a electrólise da água, podem recolher algum hidrogénio para provocar a sua combustão explosiva.

### Cristais piezoelétricos

O funcionamento dos cristais piezoelétricos desperta bastante interesse nos alunos, em especial porque não usam uma pilha para produzir a faísca. Estes cristais, quando su-



Fig. 5 - Isqueiros piezoelétricos para gás: de bolso (esquerda), doméstico (centro) e aquecedor (direita).

jeitos a uma deformação, geram uma tensão muito elevada. Por isso, é necessário exercer uma força com os dedos, o que provoca um pequeno estalido que é o resultado do som produzido ao deformar o cristal. É um exemplo em que há transformação de energia mecânica em eléctrica. A elevada tensão produzida dá origem a uma faísca se os contactos estiverem próximos. Estes sistemas são usados para activar a combustão do gás em isqueiros de bolso e domésticos, nos fogões, esquentadores e aquecedores, etc. Na Figura 5 podemos ver vários isqueiros piezoelétricos. Todos foram reaproveitados de equipamentos em desuso e qualquer um deles pode ser usado para esta actividade.

No entanto, o efeito inverso também ocorre nos cristais piezoelétricos. Se forem ligados a uma pilha sofrem uma deformação (vibram) com uma frequência constante que não depende de factores externos (temperatura, pressão, humidade, etc.). Qualquer relógio é, basicamente, constituído por um oscilador que pode ser mecânico e por um mecanismo que conta as oscilações e as converte numa unidade de tempo. Os cristais piezoelétricos são usados nos relógios digitais (que geralmente têm a inscrição “Quartzo”) o que faz com que sejam muito “certinhos” e não precisem de manutenção – basta mudar a pilha. Com o desenvolvimento da electrónica, os relógios digitais tornaram-se baratos e têm uma exactidão extraordinária. Hoje é possível comprar um relógio destes por alguns euros e com uma margem de erro inferior a um segundo durante um ano! Pelo contrário, os relógios mecânicos estão sujeitos a factores externos que provocam variações na medida do tempo. Por exemplo, a variação da temperatura provoca variações no comprimento das peças metálicas e o movimento das peças provoca desgaste, devido ao atrito. Para um aprofundamento deste assunto, consultar a obra que indico nas referências [1].

Os cristais piezoelétricos têm outras aplicações práticas. São também usados em impressoras e sensores de pressão. Outra aplicação, muito usada, consiste nos sistemas para gerar sons com frequências constantes. Estes sistemas, vulgarmente

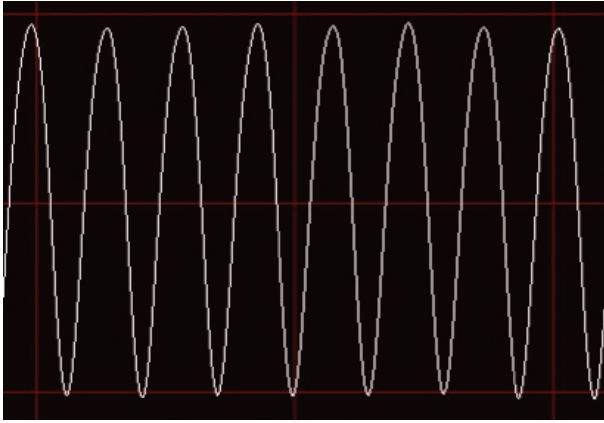


Fig. 6 - Onda sinusoidal de um besouro piezo.



Fig. 7 - Besouro de frequência igual a 3500 Hz.

conhecidos como “besouros piezo” (*Buzzer-Piezo*), ao serem ligados a pilhas, produzem sons puros. A Figura 6 foi obtida com um software que transforma um PC num osciloscópio virtual, usando um besouro de frequência igual a 3500 Hz (Figura 7). A onda obtida é sinusoidal.

Este dispositivo foi construído com a colaboração dos meus alunos do clube de ciência da Escola EB 2,3 de Vila Franca das Naves (Figura 8).

Um dos objectivos deste clube é envolver os alunos na construção de Modelos/Materiais didácticos para visualizarem alguns fenómenos. Os modelos, depois de construídos, servem de recursos materiais para as aulas para simular e demonstrar fenómenos físicos [2-3-4].

Fizemos um filme onde se observa a projecção do tubo com grande velocidade, quando se dá a explosão. O autor deste trabalho pode enviar o filme e outras informações aos colegas que lhe pedirem. Tanto o filme como o dispositivo são exemplos de como se pode aproveitar um clube de ciência para produzir materiais que podem ser aproveitados para as aulas.



Fig. 8 - Alunos do clube de ciência da minha escola. Em pé da esquerda para a direita: Flávio Mendes, Filipe Almeida, Adriano Abade, Pedro Correia, Beatriz Vaz, Diogo Martins, Bruno Maceiras e Filipe Zuzarte. Em baixo: Joel Lages, Tiago Morgado, Francisco Condeso, Dany Simal e Tiago Santos.

### Agradecimento

O autor agradece à colega Ana Paula Camilo por ter desenhado a Figura 3 e também ao colega António José Ferreira pelas sugestões críticas.

### Referências

- [1] David S. Landes, “A revolução no tempo”, Gradiva (2009).
- [2] Carlos Saraiva, “Recycling makes colour clear”, *Physics Education* 43, 252-253 (2008).
- [3] Carlos Saraiva, “Um dispositivo para demonstrar a levitação magnética”, *Gazeta de Física* 32 (1), 45-48 (2009).
- [4] Carlos Saraiva, “An apparatus to simulate an amusement park Rotor”, *The Physics Teacher* 48, 265-266 (Abril 2010).



# Estas moedas que nos enganam

Luis Peralta<sup>1</sup>, Florbela Rêgo<sup>2</sup>, Maria do Anjo Albuquerque<sup>3</sup>

1. Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências

2. Escola Secundária de Vendas Novas

3. Escola Secundária de Casquilhos, Barreiro

“Nem tudo o que luz é ouro”, lá diz o ditado popular. A superfície pode esconder um interior bem diferente. Se perguntarmos a alguém se sabe de que são feitas as moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos de euro é provável que nos respondam que são de cobre. De facto, a sua superfície é coberta com esse metal, mas o seu interior esconde uma realidade diferente. Uma peça em cobre não será atraída por um vulgar íman, e contudo as moedas de cêntimos são atraídas pelos ímanes. A partir de uma experiência simples de medição da densidade (massa volúmica) das moedas podemos tentar inferir a sua verdadeira composição, se dispusermos da informação de que a superfície das moedas é bastante fina e que estas são fabricadas com um único metal. Para confirmarmos a suspeita de que as moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos são fabricadas em ferro (de facto em aço) [1,2] e não em cobre ou numa liga, necessitamos que a nossa medição da densidade seja feita com uma incerteza pequena (digamos 1% a 2%).



Fig. 1 - Proveta graduada e moedas.

Se é fácil obter uma medida da massa de um conjunto de moedas com uma incerteza inferior a 1%, já o mesmo não é verdade para a medida do volume das moedas. Para um corpo com uma forma irregular (as moedas não são exactamente cilindros por causa do relevo) o método mais simples é o conhecido método da determinação do volume de um corpo sólido pela sua imersão num líquido. Esta é uma experiência que, em geral, pode ser realizada por alunos do ensino básico ou secundário, conduzindo normalmente a valores aproximados do volume do corpo. Nas escolas dispomos habitualmente de uma proveta graduada com diâmetro suficiente para a introdução de pequenos corpos, onde colocamos uma quantidade conhecida de um líquido, que em geral será água. De seguida, mergulhamos cuidadosamente o corpo, para evitar os salpicos de água e conseqüente perda de volume inicial, e medimos na escala da proveta o volume final obtido. A diferença entre os valores dos volumes final e inicial fornece-nos o valor do volume do corpo.

Esta é uma técnica simples, mas que tem limitações óbvias no que diz respeito à forma como são obtidos os valores dos volumes. A determinação do volume é feita a partir da leitura da posição do menisco formado na superfície do líquido. Se admitirmos que o volume inicial é conhecido com uma incerteza pequena – por exemplo, igual ou menor que metade da menor divisão da escala da proveta – dado que podemos acertar a posição do menisco com razoável rigor com um dos traços da escala, já o mesmo não se passa com o valor do volume final. Nesse caso, a posição do menisco ficará geralmente situada entre dois traços, dificultando a medição. A incerteza na medida do volume do corpo poderia diminuir de uma forma significativa se conseguíssemos obter uma melhor leitura do valor do volume final, o que seria conseguido se o menisco coinci-

disse com uma marca da proveta. E é este pequeno pormenor que nos propomos a melhorar. Vamos admitir que dispomos de uma pipeta graduada com um volume pelo menos igual ao volume correspondente à menor divisão da escala da proveta, e que a enchemos com um volume conhecido do mesmo líquido que se encontra na proveta. Se a posição do menisco na proveta se situar entre duas marcas da escala, poderemos descarregar um pouco do conteúdo da pipeta até que o menisco atinja a marca mais próxima, tornando a medida efectuada na proveta mais rigorosa. O volume que teremos que descontar ao valor final é-nos dado pela pipeta, onde temos uma incerteza menor. Podemos de certa forma dizer que acrescentámos uma escala secundária (uma espécie de nónio) à proveta. A incerteza sobre a medida do volume do corpo introduzido na proveta depende, no essencial, da incerteza na posição do menisco e que, numa medida efectuada de forma cuidadosa, admitiremos ser igual ou da ordem do valor do volume subentendido pela espessura do traço na proveta. Essa incerteza será contada duas vezes dado que colocamos o menisco sobre um traço da proveta no início e no final do procedimento (numa leitura vulgar seria contabilizado apenas uma vez, quando começamos por colocar o líquido na proveta).

Para testarmos o método escolhemos material de laboratório relativamente vulgar. Para medir a massa das moedas usámos uma balança digital com uma precisão de 0,01 g; para medir o volume, uma proveta de 50 ml, cuja menor divisão da escala era de 1 ml; e uma pipeta de 1 ml, cuja menor divisão da escala era de 0,01 ml. Reunimos um conjunto de 30 moedas de 2 cêntimos mais 15 moedas de 5 cêntimos, cuja massa total medida foi de  $150,95 \pm 0,01$  g. Usando o método descrito, obtivemos para as moedas um volume medido de  $19,2 \pm 0,2$  ml, onde admitimos que o volume correspondente à espessura do traço da proveta corresponde a 1/10 da menor divisão da escala, ou seja 0,1 ml. Conseguimos assim uma incerteza pelo menos três vezes menor do que o que seria expectável numa medida de volume com esta proveta. O valor obtido da densidade foi assim igual a  $7,86 \pm 0,08$  g/cm<sup>3</sup>.

Comparando o valor obtido para a densidade com o valor da densidade de metais de uso corrente (Tabela 1), concluímos que ele é completamente compatível com o valor da densidade do ferro, ou da maioria dos aços. Claro que o revestimento em cobre é a forma de impedir que a moeda enferruje, permitindo que o relevo da moeda permaneça visível. Podemos contudo perguntar: por que não é então a moeda exclusivamente feita em cobre? A resposta parece ser meramente económica. Em Dezembro de 2010, o preço do cobre era aproximadamente de 6,9 euros por quilograma [3]. Por exemplo, uma moeda de 2 cêntimos em cobre, com uma massa aproximada

de 3,5 g, teria um preço de 2,4 cêntimos, maior que o valor facial da moeda.

Tabela 1 - Densidade (em g/cm<sup>3</sup>) de alguns metais de uso corrente.

Elemento	Densidade	Elemento	Densidade
Alumínio	2,70	Níquel	8,91
Zinco	7,13	Cobre	8,96
Estanho	7,23	Prata	10,49
Manganésio	7,44	Chumbo	11,35
Ferro	7,87	Tungsténio	19,25

No programa do ensino secundário uma das actividades práticas obrigatórias é o estudo das propriedades físicas das substâncias, em que a densidade é uma dessas propriedades analisadas [4].

No caso de corpos sólidos irregulares, são abordados diversos métodos para a determinação da densidade, como por exemplo a determinação com uma balança e uma proveta, a determinação com um picnómetro (para sólidos), e a determinação pelo método de Arquimedes usando a balança hidrostática.

O método mais simples e menos rigoroso é o da determinação com a balança e a proveta, sendo geralmente elevadas as incertezas obtidas nas medidas feitas pelos alunos. Relativamente aos picnómetros para sólidos, que permitem determinações mais rigorosas, os existentes nas escolas normalmente só permitem medir a densidade de pequenos corpos, o que limita o tipo de objecto que pode ser analisado.

Para verificarmos que o método proposto funciona em sala de aula, realizámos a actividade numa turma do 10º ano da Escola Secundária de Vendas Novas e numa turma do 10º ano da Escola Secundária de Casquilhos, Barreiro. Começou-se por colocar aos alunos a questão do que eram feitas as moedas de 1, 2 e 5 cêntimos de euro. Na maioria dos casos, a reacção foi a esperada: a resposta era óbvia, elas eram feitas de cobre. Assim, foi-lhes proposto que através da determinação da propriedade densidade (propriedade conhecida e tabelada), chegassem a uma conclusão quanto à constituição das moedas.



Fig. 2 - Grupo de alunas usando uma pipeta para ajustar a posição do menisco na proveta.

A primeira tarefa foi a de procurarem nas tabelas existentes *online* quais as densidades dos metais mais comuns, incluindo o cobre. Depois, as turmas foram divididas em grupos que utilizavam moedas de 1, 2 ou 5 cêntimos de euro e aplicavam a técnica anteriormente descrita para a determinação do seu volume e, posteriormente, a sua densidade. Utilizaram-se balanças com incertezas de 0,01 g, provetas em que a menor divisão da escala era 1 ml e pipetas cuja menor divisão da escala era de 0,01 ml. Os valores obtidos por vários grupos de alunos oscilaram entre 7,8 e 8,0 g/cm<sup>3</sup> para a densidade das moedas, variação esta que mostra que, com este método, os alunos são capazes de extrair um resultado dentro da incerteza prevista. Confrontados com os resultados, os alunos verificavam que o valor obtido não correspondia ao valor da densidade do cobre, mas aproximava-se muito da densidade de um metal de uso corrente – o ferro. Só então lhes era explicado que as moedas são constituídas no seu interior por ferro e que depois são revestidas com uma fina camada de cobre.

Foi ainda proposto aos alunos que determinassem a densidade de moedas de 1 e 2 cêntimos utilizando o picnómetro para sólidos [5] com capacidade para 500 ml, instrumento que, teoricamente, permite obter um resultado com uma incerteza menor. Os resultados obtidos por vários grupos de alunos oscilaram entre 7,64 e 7,88 g/cm<sup>3</sup> – na prática, uma variação da mesma ordem de grandeza que a obtida com o método proveta mais pipeta.

Concluimos assim que, do ponto de vista prático, em sala de aula, o método da medição da densidade com proveta mais pipeta é competitivo com o método mais rigoroso da medição da densidade através da utilização do picnómetro. Acresce ainda que, do ponto de vista pedagógico, o método da proveta mais pipeta apresenta vantagens adicionais. Desde logo, permite a determinação da densidade de objectos de uso corrente de maiores dimensões que as permitidas pelos picnómetros. O valor da densidade é directamente obtido a partir da sua definição, enquanto que com o picnómetro obtém-se uma densidade relativa. E, finalmente, não é menos importante a fácil manipulação pelos alunos dos instrumentos de medida.

#### Referências

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Euro\\_coins](http://en.wikipedia.org/wiki/Euro_coins)
- [2] [http://www.incm.pt/site/area\\_euro\\_moedas.html](http://www.incm.pt/site/area_euro_moedas.html)
- [3] <http://www.metalprices.com/FreeSite/metals/cu/cu.asp>
- [4] H. Caldeira e I. P. Martins, Programa de Física e Química A, 10º ou 11º anos, Ministério da educação: Departamento do ensino secundário (2001) [http://www.dgidec.min-edu.pt/recursos/Lists/Repositrio%0Recursos2/Attachments/224/fisica\\_quimica\\_A\\_10.pdf](http://www.dgidec.min-edu.pt/recursos/Lists/Repositrio%0Recursos2/Attachments/224/fisica_quimica_A_10.pdf)
- [5] Caderno de Actividades Laboratoriais, Jogo de Partículas, Química 10º ano, L.S. Mendonça, M.C. Dantas e M.D. Ramalho, Texto Editora (Lisboa, 2003)



# Porque é que se espalha o corante?

Constança Providência

## Material

plasticina de duas cores  
uma palhinha  
um transferidor  
dois copos ou frascos  
dois pratos brancos  
corante alimentar e conta gotas  
termómetro e cronómetro  
papel quadriculado e lápis  
uma moeda de um cêntimo e uma de dois cêntimos

O que seria do verão sem água? Sem um copo de água fresca para tirar a sede, sem um mergulho no mar, no rio ou na piscina quando está quente, ou sem uma batalha de água com os amigos? Mas já terás perguntado alguma vez o que é a água?

A água é formada de pequenas partículas, as moléculas de água. São as propriedades destas partículas que determinam o comportamento da água, que é muito especial. Por exemplo, ao contrário de muitas outras substâncias, a água no estado sólido (aquilo a que chamas gelo) flutua na água líquida. Experimenta deitar um cubo de gelo num copo de água: o gelo afunda ou flutua? Flutua! E porquê? Coloca um frasco meio cheio de água no congelador depois de teres marcado a altura da água com uma caneta. Verifica qual a altura da água depois de ter congelado. É maior, não é? A água ocupa um volume maior quando passa ao estado sólido. Se tomares o mesmo volume de gelo e água líquida e pesares, verás que o gelo é mais leve. Dizemos que o gelo é menos denso que a água líquida, e é por isso que flutua na água.



Fig. 1 - Frasco com água antes e depois de estar no congelador. A marca azul indica a altura da água antes de ir para o congelador.



Vamos fazer o modelo de uma molécula de água. Precisamos de dois pedaços de plasticina de cor diferente, uma palhinha e um transferidor. Com uma das cores, faz uma bolinha de plasticina com cerca de 2 cm de diâmetro e com a outra cor, duas bolinhas com cerca de 1 cm de diâmetro. Corta dois pedaços de palhinha de 4 cm de comprimento e espeta cada um nas bolinhas mais pequenas. Espeta a outra extremidade das palhinhas na bola grande como indica a figura 2. Se quiseres representar bem a ligação das bolinhas pequenas à grande verifica que o ângulo entre as duas palhinhas é  $104,5^\circ$ . Já tens o teu modelo pronto: a bola grande representa um átomo de oxigénio, as bolinhas pequenas dois átomos de hidrogénio e as palhinhas a ligação eléctrica que as mantém unidas.

Mas como podemos ter a certeza que a água é formada por moléculas? Afinal não as vemos!

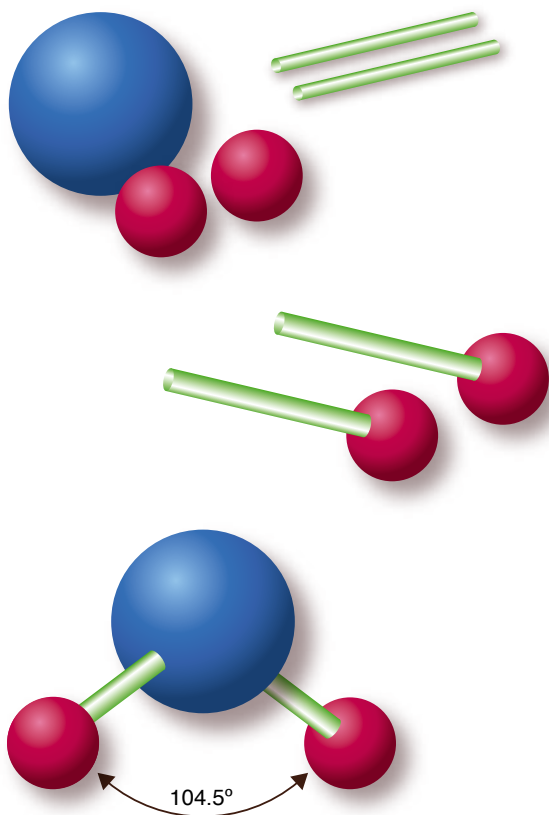


Fig. 2 - Montagem de uma molécula de água

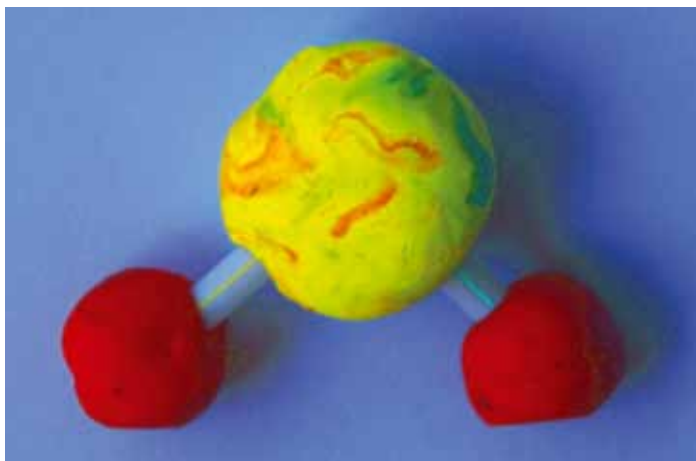


Fig. 3 - Modelo de uma molécula de água

Podemos, no entanto, perceber que existem pelo modo como se comportam em certas condições. Prepara dois pratos brancos e deita em cada um deles 1 dl de água, num deles água quente e no outro água à temperatura ambiente. Mede a temperatura da água antes de a deitares no prato e regista. Deita no centro de cada prato um gota de corante alimentar e, com um cronómetro, mede o tempo que o corante demora a atingir o bordo da água. O que concluis? Na Figura 4 podes observar a evolução do corante na água em três instantes consecutivos.

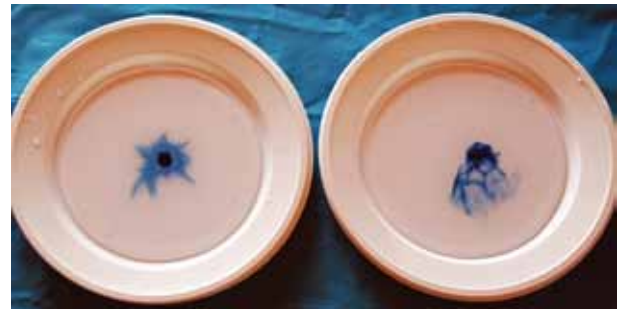


Fig. 4 - No prato da esquerda a água está a  $25^\circ$  e no da direita a  $60^\circ$ . As fotos foram tiradas com intervalos de aproximadamente 30 segundos.

A tinta espalha-se em ambos os pratos mas é muito mais rápida a chegar ao bordo no prato com água quente. Porquê?

Na verdade, o corante, tal como a água, também é formado por partículas. Depois de teres deitado o corante na água, as suas partículas sentem choques das moléculas de água em todas as direcções e aos poucos vão-se afastando do centro do prato, executando um movimento ao acaso. Como todas as partículas do corante sofrem choques, o corante

espalha-se por todo o prato. Mas porque é que na água quente o corante se espalha mais depressa? É porque quanto mais quente está a água, mais rapidamente se deslocam as moléculas de água e, por isso, mais encontrões por segundo dão nas partículas de corante.

	Prato 1	Prato 2
<b>Temperatura (° C)</b>	25	60
<b>Tempo</b>	6 min	30 s

Registo da temperatura inicial da água nos pratos e do tempo que decorreu até o corante atingir o bordo da água no prato.

Se quiseres imaginar a trajectória de uma das partículas de corante no prato de água, faz o seguinte. Precisas dum quadrado de papel quadriculado de lado 20 cm, uma moeda de 1 cêntimo e outra de dois cêntimos. Deita as moedas ao ar e, quando caírem, observa as faces que ficarem para cima: se saírem dois números, marca um traço no papel para a direita; dois símbolos, um traço para a esquerda; um “1” e símbolo, um traço para baixo; e um “2” e um símbolo, um traço para cima. Repete 20 vezes. A tua partícula já se afastou do ponto de partida? Continua até a partícula chegar à borda ou até te cansares...

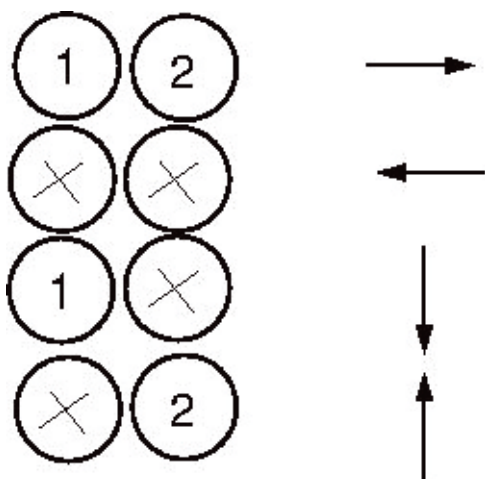
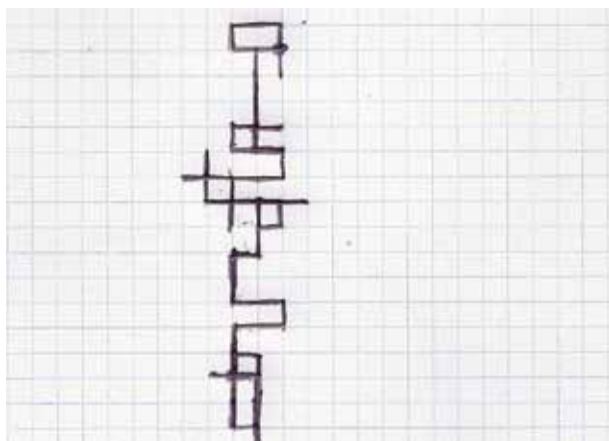


Figura 5 - Movimento de uma partícula simulado com a ajuda de duas moedas. As regras utilizadas durante a simulação estão indicadas na figura da direita.

Compara com os desenhos dos teus colegas. A partícula consegue afastar-se do centro?

O movimento das partículas de corante na água é conhecido por movimento browniano. Robert Brown identificou-o pela primeira vez em 1827 quando observava com um microscópio o movimento dos grãos de pólen numa gota de água. Mas foi Einstein quem pela primeira vez interpretou a origem deste movimento num dos seus famosos artigos de 1905. É assim que a ciência avança: observando e explicando o que se observa de um modo consistente.

## Agradecimentos

Agradeço à Rita a simulação do movimento browniano e a ajuda na execução da experiência.

### Bibliografia

“Ciência a Brincar: Descobre o Património!”, Constança Providência e Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio (2008)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Brownian\\_motion](http://en.wikipedia.org/wiki/Brownian_motion)

# Utilização de sensores no ensino das ciências

Adriano Sampaio e Sousa<sup>1</sup>, Paulo Simeão Carvalho<sup>2,3</sup>

1. Escola Secundária com 3º Ciclo de Fontes Pereira de Melo, Rua de O Primeiro de Janeiro, 4100-366 Porto

2. Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto

3. Instituto de Física dos Materiais da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto

sampaio.sousa@netcabo.pt

psimeao@fc.up.pt

## Resumo

Os sensores são componentes cada vez mais utilizados na sociedade actual. O seu uso no ensino, nomeadamente em actividades práticas, pode potenciar muito a aprendizagem eficaz das ciências e um melhor conhecimento e explicação dos fenómenos. Neste trabalho apresentamos uma revisão sobre as características dos sensores, suas principais classificações e contextos em que a sua aplicação é justificável. São também discutidos aspectos didácticos de enquadramento do uso dos sensores na prática lectiva.

## O que são sensores?

Um sensor é um dispositivo que recebe um sinal de determinado tipo, designado por estímulo e responde através de um sinal eléctrico. Entende-se assim como estímulo a quantidade, propriedade ou condição que é detectada e convertida em sinal eléctrico.

Podemos dizer, por outras palavras, que um sensor é um “tradutor” de um valor, na maior parte dos casos não eléctrico, para um valor eléctrico; este pode ser canalizado, amplificado e modificado através de dispositivos electrónicos adequados. O sinal de saída pode apresentar-se na forma de d.d.p., corrente ou carga eléctrica; estas podem ser ainda descritas em termos de amplitude, frequência e fase. Tal conjunto de características é designado por formato do sinal de saída [1].

Assim, um sensor apresenta propriedades de entrada – *input*, que podem ser de qualquer tipo, e propriedades eléctricas de saída – *output* (Figura 1).

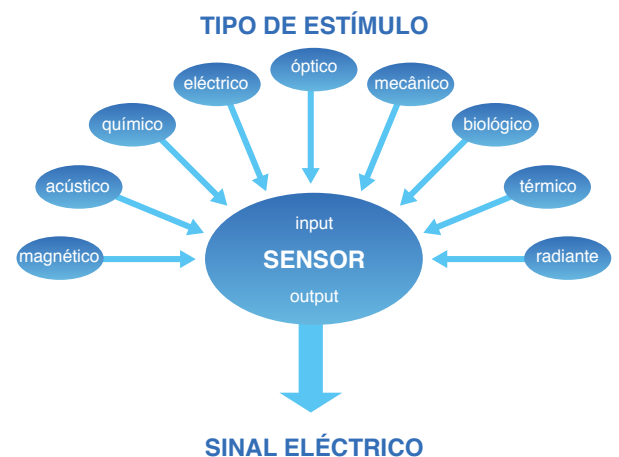


Fig. 1 - O que é um sensor

Um sensor é um caso particular de um transdutor. Este último converte um tipo de energia noutra, enquanto o primeiro converte qualquer tipo de energia em energia eléctrica.

É habitual associar-se a palavra sensor a um dispositivo construído pelo Homem. No entanto, na definição apresentada incluem-se também alguns sensores naturais, associados aos cinco sentidos. A tabela 1 sintetiza os sensores naturais, estabelecendo uma correspondência entre estes e alguns dispositivos de funcionamento análogo [2]:

## 1. Como funcionam?

Um sensor (seja ele passivo ou activo) nunca funciona por si só: faz sempre parte de um sistema mais abrangente de aquisição de dados – DAS, do inglês *Data Acquisition System*, que pode incorporar



**Tabela 1.** Sensores naturais

Sentido	Tipo de Sinal	Propriedade	Sensor	Dispositivo Análogo
Visão	Radiante	Intensidade luminosa e comprimento de onda da luz	Bastonetes e cones da retina	Filme fotográfico, fotodíodo, fototransistor
Audição	Mecânico	Intensidade e frequência do som	Caracol (cóclea) no canal auditivo interno	Microfone
Tacto	Mecânico	Pressão, força	Terminais dos nervos	Potenciómetro e LVDT. Detectores ópticos e sensores matriciais tácteis
Olfacto	Químico	Odores	Papilas olfactivas no nariz	Nariz electrónico
Paladar	Bioquímico	Proteínas	Papilas gustativas na língua	-

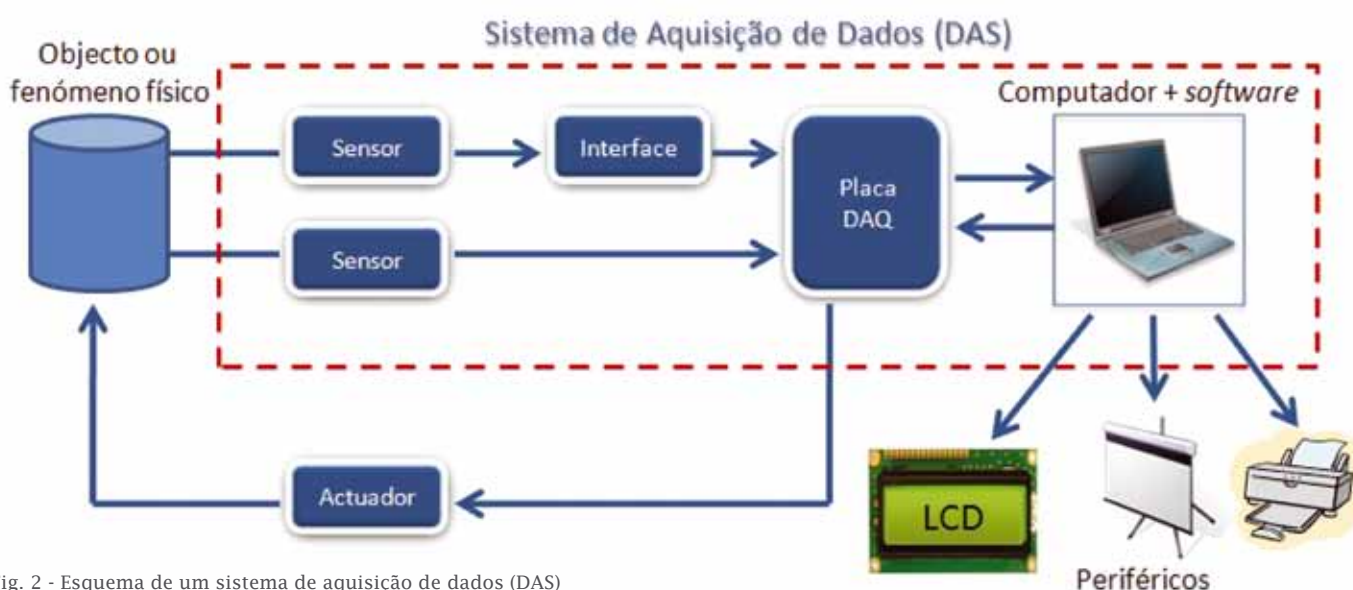


Fig. 2 - Esquema de um sistema de aquisição de dados (DAS)

outros componentes como interfaces, dispositivos de acondicionamento (amplificadores, filtros, placas de aquisição de dados - DAQ, do inglês *Data Acquisition* e conversores de analógico para digital), processadores de sinal, computadores e software adequado. Este sistema de aquisição de dados processa os sinais obtidos do objecto ou fenómeno físico em estudo, enviando depois os resultados para sistemas periféricos e/ou para actuadores que agem sobre o objecto ou fenómeno (Figura 2).

Para ilustrar o modo como um sistema destes funciona, consideremos um automóvel [1]. Cada uma das suas portas está dotada de um sensor que detecta a posição da porta (aberta ou fechada); em muitos casos, o sensor é um simples interruptor eléctrico. Os sinais de todas as portas são transportados para o microprocessador interno do automóvel (sem necessidade de um conversor analógico/digital, posto que todos os sinais das portas se encontram no formato digital, 0 ou 1). O micropro-

cessador identifica que porta se encontra aberta e envia um sinal de alerta para os dispositivos periféricos (um indicador na consola do carro e um alarme audível). O condutor (actuador) recebe a mensagem e actua sobre o objecto, fechando a porta.

Os sistemas de aquisição de dados utilizados no ensino das Ciências são normalmente mais simples, limitando-se aos sensores e interfaces. Estas podem dispor de diversos canais de entrada, quer analógicos, quer digitais, que permitem a ligação simultânea de vários tipos de sensores; algumas dispõem de geradores de frequência e amplificadores de potência incorporados. Existem igualmente no mercado sistemas em que os sensores se ligam ao computador ou calculadora gráfica através de uma porta USB ou mini-USB, dispensando o uso de interfaces dispendiosas.

Para sensores mais antigos, há actualmente adaptadores que também permitem ligá-los directamente pelas portas USB ou mini-USB.

Em alguns casos, os sensores podem ser ligados directa-

**Tabela 2.** Características Técnicas

Sensibilidade ou resolução Estabilidade (a curto e longo prazo) Tempo de resposta Características de sobrecarga Erro de histerese Vida operacional Custo, dimensões, peso	Gama de medida Selectividade Condições ambientais permitidas Linearidade de resposta Banda morta Formato de saída Outras
---	--

**Tabela 3.** Material de que são fabricados

Inorgânico Condutor Semicondutor Substância biológica	Orgânico Isolador Líquido, gás ou plasma Outros
--	--

**Tabela 4.** Meios de detecção utilizados

Biológico Químico Eléctrico, magnético ou onda electromagnética Calor, temperatura	Deslocamento ou onda mecânica Radioactividade, radiação Outros
---	--

**Tabela 5.** Mecanismo de conversão empregue

<b>Físico</b> Termoeléctrico Fotoeléctrico Fotomagnético Magnetoeléctrico Elastomagnético Termoelástico Electroelástico Termomagnético Termoóptico Fotoelástico Outros	<b>Químico</b> Transformação química Transformação física Processo electroquímico Espectroscopia Outros  <b>Biológico</b> Transformação bioquímica Transformação física Efeito em cobaia Espectroscopia Outros
---	--

**Tabela 6.** Tipo de estímulo

<p><b>Acústico</b> Amplitude de onda, fase Espectro Velocidade de onda Outros</p> <p><b>Biológico</b> Biomassa (tipos, concentrações) Outros</p> <p><b>Químico</b> Componentes (identidades) Outros</p> <p><b>Eléctrico</b> Carga, corrente Potencial, d.d.p. Campo eléctrico (amplitude, fase) Condutividade Permitividade Outros</p> <p><b>Magnético</b> Campo magnético (amplitude, fase) Fluxo magnético Permeabilidade Outros</p> <p><b>Óptico</b> Amplitude de onda, fase Velocidade de onda Índice de refração Emissividade, reflectância Outros</p>	<p><b>Mecânico</b> Posição (linear, angular) Aceleração Força Tensão, pressão Deformação Massa, densidade Momento, torque Velocidade de fluxo, taxa de transporte de massa Forma, rugosidade Dureza Viscosidade Cristalinidade, integridade estrutural Outros</p> <p><b>Radiante</b> Gama de radiação Energia Intensidade Outros</p> <p><b>Térmico</b> Temperatura Fluxo Capacidade térmica mássica Condutividade térmica Outros</p>
---	--

**Tabela 7.** Campos de aplicação

<p>Agricultura Engenharia civil, construção Distribuição, comércio, finanças Energia, potência Saúde, medicina Manufactura Militar Medição científica Transporte (excluindo automóvel)</p>	<p>Automóvel Doméstico, electrodomésticos Ambiente, meteorologia, segurança Informação, telecomunicações Marinha Recreação, brinquedos Espaço Outros</p>
--	--

mente a um dispositivo periférico, como por exemplo, os sensores de passagem (*light-gates*), os de radiação, os de voltagem ou os termopares.

Existe uma enorme variedade de sensores com diferentes funções. O seu funcionamento baseia-se em princípios físicos igualmente variados que, se em alguns casos são simples, noutros podem ser muito complexos. Não fazendo a sua abordagem parte dos objectivos deste trabalho, remetemos os interessados para as referências [1,3].

## 2. Que tipos de sensores existem?

Os sensores podem ser classificados, genericamente, em dois tipos: passivos ou activos.

Os sensores passivos geram directamente um sinal eléctrico como resposta a um estímulo externo, sem necessidade de uma fonte de alimentação adicional. Exemplos: o termopar, o sensor de pH ou o sensor piezoeléctrico.

Os sensores activos necessitam de uma fonte de alimentação que produz um sinal de excitação. Este sinal é utilizado pelo sensor para produzir, então, o sinal de saída. Exemplos: o sensor de passagem, o de intensidade de corrente ou o de movimento.

Os sensores podem ainda ser classificados de acordo com critérios específicos. Nas tabelas seguintes apresentam-se alguns dos mais importantes [4]:

- características técnicas (tabela 2)
- material de que são fabricados (tabela 3)
- meios de detecção utilizados (tabela 4)
- mecanismo de conversão empregue (tabela 5)
- tipo de estímulo (tabela 6)
- campos de aplicação (tabela 7)

## 3. Em que situações o seu uso é vantajoso?

O uso de sensores revela-se vantajoso em determinadas situações:

- Quando se pretende efectuar um grande número de medições, que se estendem ao longo de um intervalo de tempo considerável. Neste caso, a aquisição automática de dados dispensará o experimentador de uma tarefa monótona e cansativa que poderia conduzir, nomeadamente, ao aparecimento de erros acidentais.

- Quando se pretende efectuar um determinado número de medições num intervalo de tempo muito curto. Neste caso, embora sendo oposto ao anterior, também se tornam evidentes as vantagens do uso de sensores: dificilmente o experimentador conseguiria ler e registar todos os valores num intervalo de tempo reduzido, como por exemplo acontece nas medições da posição de um objecto em função do tempo.

- Quando se pretende medir diferentes grandezas na mesma actividade. O uso de vários sensores em simultâneo dispensará a existência de diferentes experimentadores, pois cada um só poderia ocupar-se da medição e registo dos valores de uma, ou quando muito, duas grandezas.

- Quando se pretende eliminar possíveis erros sistemáticos cometidos pelo experimentador.

- Quando o uso de sensores permite uma redução significativa de custos.

Todavia, quando a medição pode ser feita, de modo mais rápido e expedito, de outra forma, não faz sentido utilizar sensores. Por exemplo, se pretendemos simplesmente medir a d.d.p. nos terminais de um elemento qualquer de um circuito eléctrico, o uso de um instrumento de medida convencional, como o voltímetro, será certamente mais racional.

## 4. Como se enquadra a sua utilização na perspectiva actual do Ensino das Ciências?

O fascínio que as novas tecnologias exercem sobre os jovens e a sua enorme carga motivacional são um factor que não pode ser desprezado pelo professor, quando selecciona as estratégias de ensino e aprendizagem. Deste modo, a utilização de sensores em actividades práticas, laboratoriais ou não, representa uma mais-valia importante no que respeita à adesão e envolvimento dos alunos [5], proporcionando-lhes uma aprendizagem activa.

Por outro lado, a possibilidade de obtenção de gráficos em tempo real, permite que o aluno estabeleça relações correctas entre a realidade do mundo que o rodeia e as representações lógico-matemáticas ou modelos utilizados nas Ciências. Isto é particularmente vantajoso em situações potenciadoras de concepções menos correctas por parte dos alunos, tal como descrito nos resultados da investigação didáctica [6, 7].

Um exemplo concreto pode ser dado na área da Física: é sabido que os alunos confundem habitualmente a trajectória de um corpo com o gráfico  $x = f(t)$  [8]; a observação simultânea do movimento do corpo e da representação gráfica das suas posições em função do tempo, é, então, uma boa estratégia, quer preventiva, quer terapêutica, para combater aquele equívoco [9]. Alguns investigadores confirmaram que os resultados da aprendizagem no estudo dos movimentos melhoravam de facto, quando os alunos observavam os gráficos produzidos imediatamente após a recolha de dados [10, 11]; contudo, um simples atraso de 20 s era suficiente para que a compreensão fosse significativamente afectada [10].

O software que, em geral, acompanha os sensores permite imediatamente a visualização de gráficos correspondentes a diferentes funções, como, por exemplo, no caso dos movimentos, gráficos posição - tempo, velocidade - tempo, aceleração - tempo, força - tempo e ainda a construção de outros, de forma personalizada, como energia (potencial, cinética, mecânica) - tempo. Algum desse software permite ainda determinar declives e áreas directamente a partir do gráfico, facilitando assim a interpretação do seu significado físico e o cálculo das grandezas que lhes estão associadas (grandezas obtidas por derivação ou integração numérica, respectivamente). Contudo, é fundamental que se aproveite o tempo poupado pelo uso do computador, para trabalhar



com os alunos no sentido do desenvolvimento de uma linguagem científica, adequada à descrição e interpretação dos gráficos obtidos [6, 12].

A possibilidade de medição simultânea de várias grandezas, proporciona também ao aluno a investigação de relações que possam existir entre essas grandezas, conduzindo a uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

Também noutras áreas científicas, foram encontradas vantagens no uso de sensores. Um exemplo concreto na área da Química é referido por Nakhleh *et al* [13], onde no estudo experimental de titulações se verificava uma melhor aprendizagem de conceitos como ácido, base e pH.

O uso de sensores (e das novas tecnologias em geral) não deve, contudo, ser encarado como uma receita para todos os problemas de aprendizagem em ciências. Alguns investigadores notaram que os alunos tendem a olhar de modo acrítico para os



**Adriano Sampaio e Sousa** é professor aposentado do Ensino Secundário. Durante uma década foi Assistente Convidado do Departamento de Física da FCUP. Os seus interesses estão relacionados com a didáctica da física e a formação de professores.

gráficos obtidos em computador, mostrando uma maior abertura para discutir gráficos construídos por eles próprios [14]. Assim, pelo menos nos níveis mais básicos, continua a ser muito importante desenvolver competências experimentais elementares, tais como:

- planificar e efectuar montagens experimentais
- utilizar correctamente instrumentos de medida
- construir e analisar tabelas de valores experimentais
- elaborar e interpretar gráficos

Podemos concluir que a utilização de sensores no ensino das ciências tem vantagens, sendo em algumas situações mesmo incontornável, desde que não sejam descurados os aspectos básicos da aprendizagem. Como tal, o uso de sensores é “mais uma” excelente ferramenta posta à disposição do professor e do aluno, para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem.



**Paulo Simeão Carvalho** é professor auxiliar do Departamento de Física e Astronomia da FCUP. Os seus interesses são na área dos cristais líquidos, bem como na didáctica da física e sua relação com a actividade docente.

## Referências

- [1] J. Fraden, “Handbook of Modern Sensors - Physics, Designs and Applications” - Second Edition, Springer Verlag, New York (1996).
- [2] J. W. Gardner, “Microsensors - Principles and Applications”, John Wiley & Sons, New York (1994).
- [3] L. J. Weber, D. L. McLean, “Electrical Measurement Systems for Biological and Physical Scientists”, Addison-Wesley, New York (1975).
- [4] R. M. White, “A Sensor Classification Scheme”, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., vol. UFFC-34 (2), 124-126 (1987).
- [5] D. Kennedy, S. Finn, “The Use of Datalogging in Teaching Physics and Chemistry in 2<sup>nd</sup> Level Schools in Ireland”, Report Submitted to the National Centre for Technology in Education and The Department of Education and Science (2000).
- [6] R. Barton, “IT in Practical Work. Assessing and increasing the value-added” in “Practical Work in School Science: Which way now?”, Routledge, London (1998).
- [7] J. R. Mokros, R. F. Tinker, “The Impact of Microcomputer-Based Labs on Children’s Ability to Interpret Graphs”, J. Res. Sci. Teach. 24 (4), 369-383 (1987).
- [8] L.C. McDermott, M.L. Rosenquist, E.H. Van Zee, “Student Difficulties in Connecting Graphs and Physics: Examples from Kinematics”, Am. J. Phys. 55 (6), 503-513 (1987).
- [9] A. Arons, “Teaching Introductory Physics”, John Wiley & Sons, New York (1997).
- [10] H. Brasell, “The Effect of Real-Time Laboratory Graphing in Learning Graphic Representations of Distance and Velocity”, J. Res. Sci. Teach. 24 (4), 385-395 (1987).
- [11] L. Rogers, P. Wild, “Data-logging: Effects on Practical Science”, Journal of Computer Assisted Learning 12 (3), 130-145 (1996).
- [12] J., Frost, “Learning to Teach Science in the Secondary School”, Routledge, London (1998).
- [13] M. Nakhleh, J. Krajcik, “Influence of Levels of Information as Presented by Different Technologies on Students’ Understanding of Acid, Base and pH Concepts”, J. Res. Sci. Teach. 31 (10), 1077-1096 (1994).
- [14] R. Nachmias, M. Linn, “Evaluations of Science Laboratory Data: The Role of Computer Presented Information”, J. Res. Sci. Teach. 24 (5), 491-50 (1987).

# O “efeito Lucas-Spielberg” e o ensino da Física

Guilherme de Almeida

Existe um problema grave com muitos dos nossos jovens. Uma evidente falta de interesse e entusiasmo pela observação de experiências *reais*, directamente ligadas à natureza, seja num laboratório escolar ou no dia-a-dia. Trata-se de um problema sério, a que resolvi chamar “efeito Lucas-Spielberg” (LS), designação baseada nos nomes dos conhecidos realizadores cinematográficos George Lucas e Steven Spielberg. A sua resolução figura-se complexa.

## Natureza do problema

No cinema ou na televisão, muitos adolescentes de 10 a 16 anos já viram vários filmes espectaculares de Lucas e de Spielberg, ou outros semelhantes, onde se conseguem efeitos especiais prodigiosos. Devo dizer que não tenho nada contra esses filmes (que gosto de ver), nem contra a espectacularidade dos seus efeitos. Mas os nossos jovens, na sua maioria, não estão protegidos em relação a essa contaminação; têm pouco sentido crítico e não o aplicam no devido contexto. Magnetizados e encandeados por esses efeitos, baralham-se e pretendem, ou esperam, ter à sua volta coisas parecidas no dia-a-dia: exposições ao estilo LS na sala de aula, na vida corrente ou em qualquer acção de divulgação.

O efeito LS não é nenhuma brincadeira: é um problema sério e bem real. A tal ponto que, actualmente, quase sempre, um jovem naquele leque de idades só acha graça à observação de um fenómeno ou de uma experiência de Física se algo explodir, se algum aparelho se avariar, se qualquer coisa deitar fumo, se um componente se incendiar. E até dão a clássica “sugestão” ao professor: “Ponha no máximo!” Talvez para que algum componente, no seu estertor final, produza o acréscimo de espectacularidade desejado. Na verdade, quase nada deslumbra muitos destes jovens, que cedo perderam a capacidade de soltar o “ahhh” de admiração perante as situações do dia-a-dia. Nada os consegue maravilhar. Seja numa aula experimental de Física ou numa sessão de divulgação, ao observar a decomposição da luz branca por um prisma, a formação de uma imagem



real projectada num ecrã por meio de uma lente, o movimento do rotor de um motor eléctrico, ver uma bola de pingue-pongue a flutuar numa corrente de ar ascendente, visualizar as linhas de um campo magnético, etc. Ou, ainda, a observar as fases de Vénus através de um bom telescópio, os anéis de Saturno ou um enxame globular de estrelas. Será este o preço a pagar pelas consequências da exposição (precoce e descontextualizada) de muitas crianças e jovens perante efeitos especiais mirabolantes e faiscentes?

## Situações concretas e o quadro actual

Não é por muito temperar e apimentar a comida que nos tornaremos melhores gastrónomos. Quem assim faz, vai achar a refeição insípida e nada apetitosa quando estiver perante a comida normal. Isso pode conduzir a uma situação em que, para obter o mesmo efeito, será necessária uma dose cada vez maior, tal como sucede com os estupefacientes.

O jovem tem de aprender a tirar partido do que vê numa situação real. Seja numa bancada laboratorial, seja durante uma brincadeira ou numa qualquer si-

tuação prática do dia-a-dia. Precisa de interpretar e dar valor ao que observa e experimenta, sem estar à espera de efeitos deslumbrantes a cada passo. Mas as tentativas de os levar a apreciar e interpretar tais particularidades esbarram quase sempre na recusa.

Na verdade, o problema é complexo. Terá um professor de fazer o pino, ou a colocar uma bola vermelha no lugar do nariz, para cativar a atenção dos alunos? A minha resposta é decididamente negativa. Nem sequer pretendo competir com a espectacularidade fantástica dos efeitos criados por Lucas e Spielberg nos seus filmes: nem poderia fazê-lo. Expliquem-se bem as matérias, com segurança e clareza, com gosto pelos temas ensinados, com paixão, imaginação e alguma criatividade, experimentando quando possível. Isso terá de bastar. Quem quer, aprende; quem nem assim lá vai, paciência. O sucesso é dos que se esforçam e trabalham: Já Albert Einstein dizia que “o único lugar em que o sucesso [*success*] aparece antes do trabalho [*work*] é no dicionário”.

A Física é fantástica e muitos fenómenos naturais são interessantíssimos, mas só uma escassa minoria dos jovens (bem abaixo do que se esperaria, dada a curiosidade infantil que  *julgamos existir*) consegue aperceber-se desse facto. A maioria não consegue ver tais maravilhas, mas sejamos realistas: não seria de esperar uma  *adesão maciça*. É perfeitamente aceitável que só uma minoria goste muito, mas o mais espantoso é que há poucos jovens com uma  *curiosidade mediana* e demasiados sem curiosidade nenhuma, por muito que o professor inove, crie ou revele. Trinta e seis anos a ensinar adolescentes já me mostraram isso, que também pude observar em escolas ditas de prestígio.

Infelizmente há muito que passou o tempo em que se via nos alunos vontade de aprender: isso agora é raríssimo, muito mais raro do que alguma vez o foi nos últimos 36 anos. Ainda há alunos muito bons, mas são agora raríssimos, uma espécie quase extinta. Podemos passar mais de um ano lectivo, com várias turmas, sem ver nenhum! Passou o tempo em que os alunos, de tão atentos estarem, pareciam querer “comer o quadro com os olhos”, ou “beber sofregamente as palavras do professor”... O bom aluno  *era visto* pelos outros como um ídolo, um modelo a seguir, como alguém a quem se admira e que os outros gostariam de ser;  *hoje*, o bom aluno (agora muito raro) é visto como o “parvo” que segue o sistema: o “totó” que estuda e faz o que o professor recomenda. Alguns, que estudavam, ficaram chocados e baixaram os braços quando as práticas determinadas pelas sucessivas directrizes ministeriais os equipararam aos que nada faziam.

Parece haver uma resistência ao conhecimento científico profundamente enraizada na mente de muitos alunos. Os seus ídolos já não são os cien-

tistas (os “sábios” de outrora), mas músicos e cantores exóticos, futebolistas e até, (em casos extremos) chefes de gangs. Estes adolescentes lembram-se mais facilmente de *doze* nomes de futebolistas (ou cantores e músicos da moda) do que de apenas *três* nomes de grandes escritores (ou de cientistas).

## Outras experiências

Ainda que fosse possível trazer imagens e efeitos ao estilo LS para dentro da sala de aula ou para uma sessão de divulgação científica, os seus resultados poderiam ser cada vez menos eficazes, em consequência dos efeitos cumulativos de uma sensibilidade calejada. Num tal cenário hipotético, quando os mesmos jovens fossem realizar experiências no mundo real não saberiam interpretar e dar valor ao estivessem a observar.

Mesmo no contexto actual, muitos não vêem qualquer interesse na contemplação do céu real, por muito belo que seja, visto a olho nu. E, mesmo através de um telescópio, pouco ou nenhum interesse acham no que lhes é dado observar. Será preciso um telescópio enorme para os seduzir? Os telescópios de Galileu tinham aberturas úteis no leque de 18 mm a 38 mm e deram o resultado fulgurante que hoje conhecemos... Quando olham através de um telescópio, os mesmos jovens, na sua maioria, mesmo perante uma imagem soberba, não encontram interesse nenhum no que estão a ver. Apesar de convenientemente preparados para o que vão ver, as suas reacções são frequentemente, uma ou mais entre as seguintes: “Só isto? Que interesse é que isto tem? Tanta coisa para ver isto? Foi para ver isto que vim aqui?”

## O que fazer?

Para resolver estes problemas há quem fale de estratégias de motivação, como a génese histórica das ideias, a ligação dos assuntos estudados com o quotidiano, as aplicações



tecnológicas da ciência, etc. Parecem ideias promissoras, mas infelizmente também não resultam com a maioria dos *alunos reais*. De facto, pouco impacto tem a chamada de atenção (que pretendemos bastante frequente) entre as temáticas da Física e as suas aplicações fabulosas no dia-a-dia. A maioria não quer saber disso para nada, mas paradoxalmente sabe-lhe bem desfrutar das consequências que derivaram das conquistas científicas, do telemóvel ao MP3, do computador à fotografia digital, ao DVD, etc.

De igual modo, a maioria dos nossos estudantes não está nada interessada na história da ciência. Pouco lhes interessa que um dado assunto, hoje interpretado de um certo modo tenha sido há duzentos anos pensado de forma diferente (e de que modo). Para eles isso é “palha inútil”. Afinal, não confiam na máxima de Auguste Comte: “não se conhece completamente uma ciência enquanto não se souber da sua história”. O que querem é a “fórmula”, bem ao estilo da receita culinária de um bolo, para aplicação imediata na resolução dos problemas de Física. Azar o deles, pois raramente as temáticas da Física se resolvem com aplicação *cega* de uma “fórmula” tirada do bolso e pronta a usar: é preciso interpretar o enunciado, enquadrá-lo de acordo com as leis físicas e decidir o que fazer. Custa-lhes aceitar que um aluno que não estudou o suficiente pouco ou nada consiga fazer, mesmo que tenha um formulário completo na mão.

Será que deveremos apimentar ainda mais o ensino e a divulgação, para elevar o “limiar de maravilhamento” (permitam-me a expressão) dos jovens? Reparemos que esta última expressão livre equivale a calejar a sensibilidade, o que levará os alunos a achar cada vez menos graça às experiências correntes, tal como as observamos. Isso levará a uma espiral inflacionista em que o jovem exige cada vez efeitos mais fulgurantes para conseguir prestar atenção.

Há também outros factores causadores de perturbação, mas já fora do alcance do professor: a inadequação e abstracção de alguns programas face à idade dos alunos; a enorme extensão programática e a variedade temática excessiva, que obrigam professores e alunos a correr atrás do tempo; e, é claro, a multiplicidade exagerada de disciplinas.

Como inverter este panorama desolador? Numa sociedade que pretende e apregoa o sucesso instantâneo, sem olhar a meios, e onde o esforço é mal visto, isso parece muito difícil. Sem a criação de novos valores e novos modelos de comportamento e atitude, tal missão afigura-se impossível. Venham melhores tempos, urgentemente...



**Guilherme de Almeida** foi professor de Física e Química (até 2010) em cinco escolas secundárias e no Colégio Militar. Ensinou alunos de todos os níveis (8.º ao 12.º ano), principalmente 12.º ano. É autor de sete livros, nomeadamente “Sistema Internacional de Unidades”, “Roteiro do Céu”, “Telescópios” e “Galileu Galilei”, além de mais de 80 artigos. Interessa-se pela divulgação das observações astronómicas e da Física.



# Datação Radiométrica no Secundário

Ana Marta G. Cunha<sup>1</sup>, Mário D. Cunha<sup>2</sup>

1. Escola Secundária Jaime Moniz, Largo Jaime Moniz, 9054-521 Funchal

2. Centro de Ciências Exactas e da Engenharia, Universidade da Madeira, Campus da Penteada, 9000-390 Funchal

martacunha@netmadeira.com

mario@uma.pt

## Resumo

Numa questão de escolha múltipla do exame nacional da 1ª fase de Biologia e Geologia de 2010 [1], foi considerada como resposta correcta a opção que afirmava, erradamente, que “um isótopo radioactivo desintegra-se espontaneamente a uma taxa constante ao longo do tempo”. Um olhar atento aos manuais e livros de exercícios da referida disciplina, mostra que o decaimento radioactivo é, com alguma frequência, mal tratado.

## 1. Introdução

No programa de Biologia e Geologia para o 10º Ano de escolaridade, no módulo inicial – A Geologia, os geólogos e os seus métodos – mais concretamente no seu ponto 3, é abordada a idade radiométrica das rochas, a qual é determinada com base na variação da actividade ou taxa de desintegração dos radioisótopos ao longo do tempo. O assunto é apresentado aos alunos sem qualquer tratamento matemático por não constar do programa da disciplina e de os alunos não possuírem ainda conhecimentos matemáticos suficientes, nomeadamente da função exponencial. Contudo, note-se que os alunos já conhecem o conceito de taxa desde o 3º ciclo, nomeadamente da disciplina de Geografia.

Uma abordagem eficaz da datação radiométrica das rochas requer que os docentes dominem os aspectos mais básicos do decaimento radioactivo, os quais podem ser encontrados, por exemplo, em [2], a qual é uma referência pedagógica a nível mundial no que diz respeito ao ensino da Física Geral.

Neste artigo sugerimos uma abordagem do decaimento radioactivo sem exigir que os alunos tenham

conhecimentos acerca da função exponencial, e fazemos uma discussão dos erros e equívocos relativos ao tema, encontrados nos manuais e livros de apoio da disciplina de Biologia e Geologia.

## 2. Uma possível abordagem do assunto com os alunos

O programa da disciplina de Biologia e Geologia do 10º Ano refere explicitamente o conceito de semi-vida de um isótopo-pai mas é omissivo relativamente ao conceito de actividade ou taxa de desintegração aquando do tratamento da questão da datação radiométrica das rochas. Este último conceito pode ser introduzido, sem dificuldade, com base na discussão de uma curva de decaimento. A justificar esta nossa visão, está precisamente o aparecimento do conceito de taxa de desintegração numa questão do exame da referida disciplina na 1ª Fase de 2010. Tendo em atenção que os alunos do 10º Ano ainda não estudaram formalmente o assunto e não conhecem ainda a função exponencial,

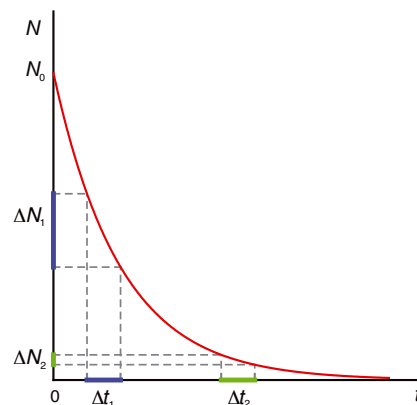


Fig. 1 - Variação temporal do número de isótopos-pai numa amostra.  $N_0$ : número inicial de isótopos.  $\Delta N_1$  e  $\Delta N_2$ : variações do número de isótopos nos intervalos de tempo  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$ , respectivamente.

a informação de fundo a fornecer aos alunos deverá consistir de um gráfico que apresente a variação do número de isótopos-pai numa amostra em função do tempo. Uma possibilidade pode ser, por exemplo, o gráfico apresentado na figura 1, o qual é recorrente nos manuais da disciplina.

## 2.1 Actividade de um isótopo radioactivo

Sendo a actividade  $R$  de um isótopo radioactivo igual ao número de isótopos que se transformam por unidade de tempo, os alunos podem reconhecer facilmente que esta grandeza varia ao longo do tempo. De facto, tendo em atenção o gráfico apresentado na figura 1, onde são considerados dois intervalos de tempo iguais (unitários)  $\Delta t_1$  e  $\Delta t_2$ , os alunos apercebem-se de que as variações  $\Delta N_1$  e  $\Delta N_2$  do número de núcleos nestes intervalos de tempo são diferentes,  $\Delta N_1 > \Delta N_2$ . Mais ainda, é fácil verificar que as referidas variações são tanto menores quanto maior é o tempo decorrido desde o início da contagem do processo de decaimento. Portanto, os alunos podem concluir que o número de núcleos que se transformam por unidade de tempo vai diminuindo ao longo do tempo, isto é, a actividade de um isótopo radioactivo é variável e diminui ao longo do tempo.

## 2.2 Semi-vida de um isótopo radioactivo

Uma propriedade importante do decaimento radioactivo é a seguinte: o tempo  $T_{1/2}$  necessário para que a quantidade de um dado isótopo radioactivo presente numa amostra se reduza a metade é constante. A este intervalo de tempo damos o nome de semi-vida do isótopo em questão. Deve enfatizar-se o facto de que este tempo é constante e independente do instante em que se inicia a medição do processo. Tendo em atenção o gráfico da Figura 2,  $T_{1/2}$  é o tempo ao fim do qual o número de isótopos-pai é igual a  $N_{0/2}$ . Deve chamar-se a atenção dos alunos para o facto de que o número de isótopos-pai decresce sempre para metade em cada intervalo de tempo igual à semi-vida desse isótopo. Ou seja, no instante  $t=T_{1/2}$  temos  $N_{0/2}$  isótopos-pai na amostra, para  $t=2T_{1/2}$  teremos  $N_{0/4}$  isótopos-pai, para  $t=3T_{1/2}$  teremos  $N_{0/8}$  isótopos-pai, e assim sucessivamente.

Como a actividade é proporcional ao número de isótopos-pai presentes na amostra (ver, por exemplo, [2]), podemos concluir que a actividade e o número de isótopos-pai decrescem da mesma forma. Isto é, no instante  $t=T_{1/2}$  a actividade é  $R=R_{0/2}$ , sendo  $R_0$  a actividade da amostra no instante inicial, para  $t=2T_{1/2}$  teremos  $R=R_{0/4}$ , para  $t=3T_{1/2}$  teremos  $R=R_{0/8}$ , e assim sucessivamente.

Apliquemos agora o conceito de semi-vida à datação radiométrica de uma rocha, admitindo que o isótopo-filho não é radioactivo, isto é, é estável. Se numa dada rocha a razão entre os números de isótopos-pai e isótopos-filho é, por exemplo,  $1/8$ , isso significa que a idade da rocha é igual a  $3T_{1/2}$ . De facto, passadas 3 semi-vidas o número de isótopos-pai é igual a  $N_{0/8}$  (ver gráfico da Figura 2) e portanto, teremos na amostra um número de isótopos-filho igual a  $7N_{0/8}$ . Por outras palavras, ao fim de um tempo igual a  $3T_{1/2}$  a actividade do isótopo-pai é igual a  $R_{0/8}$ .

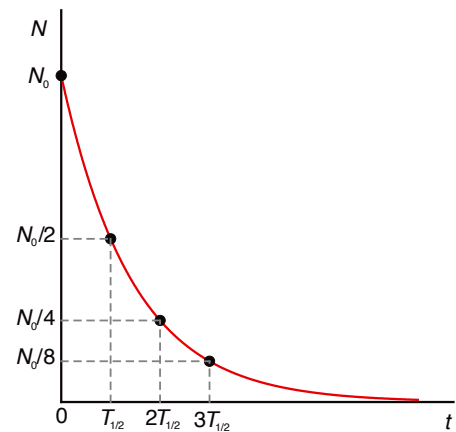


Fig. 2 - Variação temporal do número de isótopos-pai numa amostra.  $N_0$ : número inicial de isótopos.  $T_{1/2}$ : semi-vida do isótopo.

## 3. Discussão

Na Ref. [3] é afirmado o seguinte. “Conhecendo o tempo necessário para que um elemento instável decaia para um mais estável e avaliando a presença relativa dos dois nas rochas, é possível determinar a sua idade. Note-se que estes cálculos assentam no pressuposto de que a taxa de decaimento permanece constante e de que não houve contaminação ou perda do isótopo-pai ou filho considerados no processo de datação.” Comentário: Os cálculos não assentam no pressuposto de que a taxa de decaimento é constante, mas sim no facto de que a semi-vida de um isótopo radioactivo é constante. Temos aqui, portanto, uma confusão entre taxa de decaimento e semi-vida. O que é constante é a semi-vida e não a taxa de decaimento.

Na Ref. [4] é afirmado o seguinte. “O decaimento radioactivo consiste na transformação de um átomo noutra com a libertação de energia. Admite-se que cada átomo tem a sua própria constante de decaimento, que é utilizada nos cálculos para determinação de idades das rochas.” Comentário: Não faz sentido falar em constante de decaimento a alunos que não têm conhecimentos acerca da função exponencial. De facto, esta constante, que caracteriza cada isótopo radioactivo, só pode ser introduzida com base na lei de decaimento radioactivo, o que está fora do programa da disciplina em virtude do nível de conhecimentos de matemática dos alunos.

Ainda na Ref. [4] podemos encontrar o seguinte. “Quando uma rocha se forma, adquire sempre uma certa quantidade de isótopos radioactivos integrados nos seus minerais constituintes. Com o passar do tempo, estes isótopos vão-se desintegrando, a uma velocidade que é função da constante de decaimento, transformando-se em átomos estáveis.” Comentário: O uso da palavra velocidade é discutível uma vez que em sítio algum do manual se faz referência ao conceito de taxa de decaimento. Por outro lado, a afirmação de que a velocidade é função da constante de decaimento, não tem qualquer

sentido para os alunos. De facto, esta afirmação só pode ser suportada pela indicação de que a taxa de decaimento de um isótopo radioactivo é directamente proporcional ao número desses isótopos na amostra e, portanto, trata-se de uma afirmação que não traz qualquer informação útil aos alunos.

Na Ref. [5] é afirmado o seguinte. “A técnica mais rigorosa para determinar a idade absoluta é a datação radiométrica, que se baseia na desintegração regular de isótopos radioactivos naturais. Essa desintegração verifica-se a uma taxa regular através do tempo, isto é, a velocidade a que ocorre é constante para cada elemento e não é afectada por condições ambientais, como a temperatura e a pressão.” Comentário: Fala-se em desintegração regular, taxa regular e velocidade constante. Em relação às duas primeiras designações, não se explica o que isso significa. Uma vez que se fala em taxa e em velocidade deveria explicar-se qual é a relação entre estes dois conceitos, isto é, deveria dizer-se que ambos os conceitos se referem ao número de isótopos instáveis que se transformam por unidade de tempo. Este tipo de abordagem só serve para lançar confusão na cabeça dos alunos. Quando se afirma que a velocidade é constante, talvez se pretenda dizer que taxa regular significa taxa constante. E, mais uma vez, temos o erro de se afirmar que a taxa de decaimento é constante.

Para além do que já foi mencionado, é, ainda, possível encontrar manuais da mesma editora referindo-se à taxa de desintegração como sendo constante na disciplina de Biologia e Geologia do 10º Ano [5] e variável na de Física de 12º Ano [6], e no respectivo guia do professor de Biologia e Geologia considerarem a datação radiométrica um assunto de natureza Ciência/ Tecnologia/ Sociedade e uma interessante oportunidade para promover uma abordagem interdisciplinar com a Física. Este facto não promove a tão falada interdisciplinaridade nem o rigor e a clareza que são exigidos na linguagem usada em ciência e no seu ensino.

Quanto ao erro do exame Nacional de Biologia e Geologia da 1ª fase de 2010, já acima referido, note-se que este exame e respectiva solução (com permanência do erro) estão incluídos nos novos livros de preparação para os exames 2010/2011 (ver, por exemplo, [7]).

Espera-se que este artigo possa chamar a atenção das entidades com responsabilidades na observância do rigor e da interdisciplinaridade que devem existir no tratamento dos assuntos científicos em contexto escolar.

## Referências

- [1] GAVE, “Biologia e Geologia - 702”, (<http://www.gave.min-edu.pt/np3/294.html>)
- [2] D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, “Fundamentals of Physics”, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (2001)
- [3] Jorge Reis, Paula Lemos e António Guimarães, “Preparação para o Exame Nacional 2010, Biologia e Geologia 11º”, Porto Editora, Porto (2009)
- [4] A. Guerner Dias, Paula Guimarães e Paulo Rocha, “Geologia 10/11”, Areal Editores, Porto (2007)
- [5] Amparo Dias da Silva e outros, “Terra, Universo de Vida, Geologia 10/11 Ano”, Porto Editora, Porto (2007)
- [6] Noémia Maciel e outros, “Eu e a Física 12”, Porto Editora, Porto (2009)
- [7] Jorge Reis, Paula Lemos e António Guimarães, “Preparação para o Exame Nacional 2011, Biologia e Geologia 11º”, Porto Editora, Porto (2011)

# Norman Robert Pogson e a escala de magnitudes estelares

Guilherme de Almeida

g.almeida@vizzavi.pt

Pogson é pouco conhecido fora dos círculos científicos, embora tenha dado grandes contribuições à Astronomia. Astrónomo britânico, passou a maior parte da sua carreira na Índia, então colónia inglesa pouco visível para a comunidade científica internacional. Foi o fundador da astrofotometria quantitativa moderna, mas não publicou explicitamente esse seu trabalho. Como pessoa, era de carácter forte e opiniões bem vincadas. Tentava ter boas relações com os outros astrónomos, mas tinha tendência para criar inimizades nos locais onde trabalhava. Isso prejudicou-lhe o reconhecimento de uma carreira brilhante. Será para sempre recordado pela sua escala de magnitudes, quantificada pela equação com o seu nome, e pelos trabalhos em estrelas variáveis e asteróides. Neste artigo acompanharemos a sua vida e o desenvolvimento da sua famosa equação. Em artigos seguintes veremos várias aplicações práticas dessa mesma equação.

## Primeiros tempos

Norman Robert Pogson, astrónomo britânico, nasceu em 23 de Abril de 1829, em Nottingham, localidade de nome bem conhecido por todos os que admiram as aventuras do mítico Robin Hood.

O seu pai, George Owen Pogson, era um fabricante de roupa interior, com posses para sustentar uma grande família. O pequeno Norman Pogson era uma criança fascinada pela ciência, entusiasmo que a sua mãe apoiou. Aos dez anos, o seu pai teve de se mudar para Manchester, onde o jovem Norman Pogson teve lições particulares de trigonometria e outros ramos da Matemática. Apesar de muito talentoso para esta disciplina, aos 16 anos desistiu dos estudos formais e decidiu que a sua profissão seria ensinar Matemática. E as lições que deu vieram a ser-lhe muito úteis para obter o primeiro emprego. Um seu conterrâneo de Nottingham, John Hind (filho de um importante astrónomo), ficou impressionado com as suas aptidões e sugeriu aos pais de Pogson que o enviassem para Londres, para o George Bishop's South Villa Observatory, onde o seu pai (o

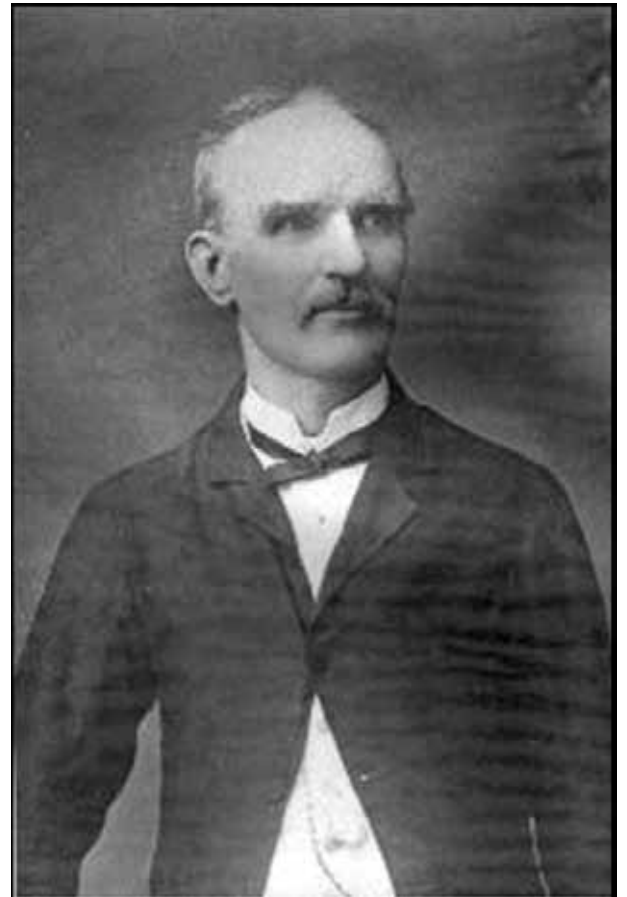


Fig. 1 - Norman Robert Pogson, astrónomo britânico (1829-1891).

astrónomo John Russel Hind trabalhava. Com uma carta de recomendação nas mãos, Pogson chegou a Londres em 1846, com 17 anos, para começar a sua vida de astrónomo.

## Astrónomo confirmado

Apesar de jovem, Pogson tinha já amplos conhecimentos de astronomia e calculou, apenas com 18 anos, as órbitas de dois cometas. Em 1849 casou com Elisabeth Ambrose, que o acompanhou durante boa parte da sua carreira. Até 1851 foi professor de matemática tendo sido, nesse ano, auxiliar no South Villa Observatory, onde descobriu as variabilidades das estrelas R Cygni em 1852, R Ursæ Majoris, R Ophiuchi e R Cassiopeiæ (em 1853). Iniciou a sua carreira profissional como astrónomo “do quadro” do Bishops Observatory em 1851.

No ano seguinte, por recomendação de George B. Airy, aceitou o convite para um lugar de assistente no Radcliffe Observatory, em Oxford (1852), dirigido pelo já famoso astrónomo inglês Manuel John Johnson (nascido em Macau). Nesse tempo, Johnson estava a fazer os primeiros estudos e medições envolvendo fotometria estelar, tendo verificado, através de medições fotométricas, que a relação de brilhos entre as estrelas de duas magnitudes sucessivas era, em média, 2,43. Estes trabalhos foram o embrião da escala de magnitude estelar, posteriormen-



te desenvolvida por Pogson, como veremos adiante. Foi em Radcliffe que Pogson anunciou a descoberta dos seus primeiros três asteroídes: (42) Ísis, (43) Ariadne e (46) Hestia.

## Breve historial da medição relativa do brilho das estrelas

Antes de entrarmos na escala de Pogson, é conveniente conhecer o contexto em que ela surgiu, para melhor apreciarmos o seu valor e vantagens. Para isso traçaremos um brevíssimo resumo das tentativas feitas através dos tempos para comparar os brilhos das estrelas entre si.

Quanto ao brilho das estrelas, no início do século XIX os astrónomos ainda seguiam aproximadamente a tradição que vinha da escala do astrónomo grego Hiparco (190-126 a.C.), que tinha classificado as estrelas por brilhos, em seis classes ou “grandezas” de tal modo que as estrelas mais brilhantes do céu, as primeiras a aparecer após o pôr do Sol, eram designadas como estrelas de “primeira grandeza”; as seguintes, um pouco menos brilhantes foram por ele designadas de “segunda grandeza”, e assim sucessivamente; por fim, as estrelas mais débeis, no limiar da detecção a olho nu, as últimas a aparecer em plena noite fechada, foram designadas como estrelas de “sexta grandeza”. Mais tarde, no século II d.C., o astrónomo Ptolomeu continuou esta ideia, com pequenos refinamentos, indicando algumas subtilidades como, por exemplo, “ligeiramente mais brilhante do que a 5.<sup>a</sup> grandeza”, “ligeiramente menos brilhante do que a 4.<sup>a</sup> grandeza”, etc. Em 1609-1610, ao aperceber-se que através do seu telescópio podia ver estrelas inacessíveis a olho nu, Galileu Galilei (1564-1642) teve necessidade de considerar uma “sétima grandeza” para as enquadrar. Todas estas ideias foram úteis nas respectivas épocas, como primeira apreciação. Tratava-se, contudo, de escala ainda grosseiras e essencialmente qualitativas.

Ainda na primeira metade do século XIX os astrónomos deparavam-se com a falta de objectividade na determinação da “grandeza” (depois chamada “magnitude”) de cada estrela. Não havia um critério ou escala uniforme e a *mesma estrela* poderia ser indicada com magnitude diferente consoante o astrónomo que a classificava. Podia haver uma diferença de mais de 3 magnitudes (sobretudo nas estrelas de brilho mais débil, acima da 7.<sup>a</sup> magnitude). E isto acontecia entre astrónomos observadores experientes e consagrados, como Friedrich Struve, William Bond, John Herschel, o lendário Almirante Smyth e outros. A situação era tão grave que o prestigiado William Dawes, em 1851, afirmava:

“As magnitudes das estrelas telescópicas são indicadas por valores tão diversos por diferentes observadores, tornando impossível antecipar a aparência de um dado objecto num telescópio de um dado

tipo e dimensões, sem fazer referência à escala de magnitudes adoptada pelo observador que indicou essa magnitude para a estrela em questão.”

E dizia ainda:

“A adopção de um valor numérico [para a magnitude de uma dada estrela] para representar um certo nível de brilho tem sido, tanto quanto sei, puramente arbitrária.”

Neste contexto, William Dawes fez um apelo vigoroso à comunidade astronómica, solicitando que o nome do observador fosse associado às determinações de magnitude estelar por ele indicadas, ou que a escala por ele usada fosse explicitamente referida, para evitar confusões ou ambiguidades.

## A equação de Pogson

Em Radcliffe, enquanto acompanhava os trabalhos astrofotométricos de Johnson, Pogson fez as suas próprias medições da relação de brilhos entre estrelas com diferença de uma magnitude, tendo chegado ao valor 2,4, semelhante ao de Johnson. Por outro lado, já muito antes, John Herschel, quando esteve no Cabo da Boa Esperança (1834-1838), mostrou que, *em média*, uma estrela de primeira magnitude (caracterizada pelo critérios de Hiparco e Ptolomeu) é 100 vezes mais brilhante do que uma estrela de sexta magnitude. Pogson sugeriu (em 1856) que tal facto fosse considerado como uma referência.

Estas medições, na (ainda) ausência de fotómetros suficientemente sensíveis eram feitas diafragmando um telescópio até que uma dada estrela ficasse no *limiar mínimo de visibilidade* (método de Dawes), ou diafragmando o telescópio (abertura  $D$ ) até que a estrela *deixasse de ser detectável* (critério mais fiável seguido por Pogson). O mesmo método era utilizado para outra estrela de comparação. Sendo  $m_1$  a magnitude da estrela 1 no limiar da extinção com a abertura  $D_1$ , e  $m_2$  a magnitude de *outra estrela 2*, no limiar utilizando a abertura  $D_2$ , e sabendo-se que o fluxo luminoso recolhido da estrela é proporcional à *área utilizada* da objectiva do telescópio, pode concluir-se que a relação de brilhos entre as estrelas 1 e 2 é (sendo por exemplo  $m_1 > m_2$ )

$$\frac{\text{brilho da estrela 2}}{\text{brilho da estrela 1}} = \frac{\pi \left(\frac{D_1}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{D_2}{2}\right)^2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (\text{Eq. 1})$$

A Equação 1 dá a razão (quociente) entre os brilhos de duas estrelas em medição, pela razão inversa dos quadrados das aberturas limite em causa. Este foi um dos métodos seguidos, por vários astrónomos observadores, para determinar a razão  $R$  entre os brilhos de estrelas diferindo uma magnitude entre si. O problema é que os *resultados desse quociente não eram uniformes*. Mesmo medindo relações de brilho entre muitos pares de estrelas, para obter valores médios, os resultados teimavam em divergir (e bastante) de observador para observador: Seinheil, em Munique obteve para tal quociente, o valor 2,83 (utilizando 26 estrelas entre as magnitudes 1 e 4); Stampfer obteve 2,519 trabalhando com 132 estrelas entre as magnitudes 4 e 9,5. O próprio William Dawes considerava que tal razão deveria ser igual a 4!

Perante tal disparidade [ver nota 1], Pogson sentiu-se à vontade para definir qualquer escala de magnitudes, desde que a especificasse (e os resultados de Stampfer, inspiradores, baseavam-se numa ampla amostra). Utilizando a Equação 1, e se as magnitudes  $m_1$  e  $m_2$  forem conhecidas, pode ser estabelecida uma expressão matemática adequada, que relacione a *diferença* de magnitudes com o quociente (razão) entre os brilhos respectivos. Os logaritmos adaptam-se muito bem a este contexto. Tal relação será<sup>1</sup>

$$(m_1 - m_2) \log R = \log \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

ou, ainda,

$$(m_1 - m_2) \log R = 2 \log (D_1 - \log D_2) \quad (\text{Eq. 2})$$

Medidas experimentalmente as duas aberturas limite,  $D_1$  e  $D_2$ , e a magnitude de uma estrela de referência ( $m_1$ ), poderemos recorrer à Equação 2 para determinar a magnitude ( $m_2$ ) da outra estrela, desde que se conheça  $R$ . Para isso, Pogson procurou ajustar-se aos resultados de John Herschel: se a diferença  $m_1 - m_2 = 5$ , o quociente entre os brilhos deveria ser 100. Para este caso particular, teremos

$$5 \log R = \log 100, \quad (\text{Eq. 3})$$

onde  $R$  é o número procurado por Pogson, que é exactamente  $R = 10^{0,4} = 2,5118864...$  igual à raiz quinta de 100. O seu logaritmo decimal vale precisamente 0,400. Este valor  $R = 2,5118864...$  passou a ser conhecido como *razão de Pogson* e é frequentemente arredondado para 2,512. Nas próprias palavras de Pogson:

“Eu escolhi 2,512 por conveniência de cálculo porque o recíproco [inverso] de  $0,5 \log R$ , é uma constante que ocorre frequentemente nas fórmulas fotométricas, neste caso, 5”. [Tradução livre].

Esta afirmação de Pogson equivale à expressão  $1 / (0,5 \log R) = 5$  e o valor de  $R$  é o anteriormente indicado  $2,5118864... \approx 2,512$ . O facto de  $\log R = 0,400$  é uma grande vantagem para os cálculos.

Prosseguindo estas investigações, Pogson desenvolveu em 1856 um modelo matemático preciso para classificação de magnitudes estelares, aplicável ao brilho das estrelas e de outros astros: a magnitude visual, ou magnitude aparente, uma medida da percepção do brilho de um corpo celeste visto a partir da Terra. De acordo com Pogson, uma estrela de primeira magnitude será 2,512 vezes mais brilhante do que uma de segunda magnitude. Uma estrela de segunda magnitude será 2,512 vezes mais brilhante do que uma de terceira magnitude, e assim sucessivamente. Para uma diferença de três magnitudes, a razão entre os brilhos correspondentes será  $2,512^3$ ; generalizando, para a *diferença*  $m_1 - m_2$ , com  $m_1 > m_2$  a razão de brilhos será  $2,512^{(m_1 - m_2)}$ .

<sup>1</sup> Nota: neste artigo utilizaremos a notação simbólica “log” para indicar logaritmos de base 10 ( $\log x = \log_{10} x$ ).



Fig. 2 - A torre do observatório Radcliffe, que funcionou de 1773 até 1934. Aqui trabalhou Norman Pogson, em princípio de carreira, de 1852 a 1859.

Em termos modernos, e porque o brilho de uma estrela é proporcional ao fluxo luminoso ( $\Phi$ ) que dela recebemos por unidade de área, a equação de Pogson, base da sua escala de magnitudes, é dada pela expressão

$$2,512^{(m_1 - m_2)} = - \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \quad (\text{Eq. 4})$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  são as magnitudes aparentes de duas estrelas, 2,512 é a razão de Pogson,  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  são os fluxos luminosos por unidade de área orientada perpendicularmente à luz recebida (o fluxo luminoso por unidade de área denomina-se *iluminação* e mede-se actualmente em lux); o sinal de “menos” (-) indica que a escala está elaborada de tal modo que menor brilho corresponde a maior magnitude:  $m_1 > m_2$  implica  $\Phi_1 < \Phi_2$ . A escala de magnitudes de Pogson foi provavelmente a sua contribuição mais notável, pela qual ficou conhecido para a posteridade. A equação de Pogson pode também escrever-se, de forma equivalente, como

$$2,512^{(m_1 - m_2)} = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \quad (\text{Eq. 5.a})$$

logaritimizando, obtemos

$$(m_1 - m_2) 0,4 = \log \left( \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \right) \quad (\text{Eq. 5.b})$$

ou seja,

$$m_1 - m_2 = 2,5 \log \left( \frac{\Phi_2}{\Phi_1} \right) \quad (\text{Eq. 5.c})$$

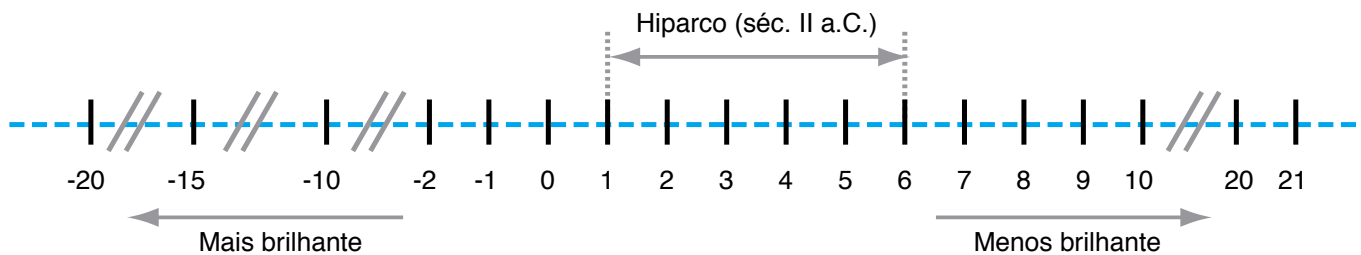


Fig. 3 - Representação gráfica da escala de magnitudes, destacando-se a escala inicial de Hiparco (a negro) e o seu alargamento em ambos os sentidos. A escala é obviamente contínua, mas tive de utilizar a marcação “//” para indicar interrupções (que na realidade não existem), necessárias para incorporar todo o esquema dentro do espaço disponível na largura da página. (Guilherme de Almeida, 2010).

onde o segundo membro da equação 5.a exprime o número de vezes que a estrela de magnitude  $m_2$  é mais brilhante do que a estrela de magnitude  $m_1$  (as equivalências indicadas resultam das propriedades dos logaritmos e a equação 5.b é equivalente à anterior equação 2, pois  $\log R=0,4$ ).  $R$  pode ser definido como  $R=\Phi_m/\Phi_{m+1}$ .

Com os critérios matemáticos de Pogson, a escala de magnitudes ficou bem quantificada e foi rapidamente aceite pela comunidade astronómica mundial, após o reconhecimento dos influentes astrónomos Edward Pickering e Charles Pritchard, que a usaram e adoptaram nos seus próprios trabalhos. A partir daí nunca mais se colocou a questão de a magnitude aparente de uma mesma estrela diferir significativamente de astrónomo para astrónomo. Foi possível incluir, na escala de Pogson, o Sol, a Lua e os planetas, asteróides, etc., levando ao seu *alargamento* em ambos os sentidos:

- Alargamento da escala no sentido dos astros mais brilhantes do que a 1.<sup>a</sup> magnitude: as estrelas 2,215 vezes mais brilhantes do que as de 1.<sup>a</sup> magnitude foram designadas de magnitude 0 (zero); as que são 2,512 mais brilhantes do que as de magnitude zero foram classificadas com a magnitude -1, etc; por exemplo, a estrela Vega foi classificada na magnitude 0 (nas medições actuais 0,03); a estrela Sírio foi classificada com a magnitude -1,5; Vénus, no seu máximo brilho apresenta a magnitude -4,6; a lua-cheia apresenta (em média) a magnitude -12,7; o Sol foi classificado com a magnitude -26,7. Podemos ver que os astros mais brilhantes do que a magnitude zero têm magnitudes negativas.

- Alargamento da escala no sentido dos astros menos brilhantes do que a 6.<sup>a</sup> magnitude: incluindo astros de brilho mais débil, apenas detectáveis com telescópios: definiu-se a magnitude 7 para as estrelas 2,512 vezes menos brilhantes do que as de magnitude 6; as que são 2,512 vezes menos brilhantes do que as de magnitude 7 foram classificadas na magnitude 8, etc. Por exemplo, a magnitude 6,4 para o asteróide Pallas (na oposição); 7,8 para Neptuno (na oposição); magnitude 11 para as estrelas 100 vezes menos brilhantes do que as de magnitude 6, etc. (**Nota:** o limite de detecção telescópica *visual* nos tempos de Pogson correspondia aproximadamente à magnitude 16; actual-

mente (2010), o limite de detecção *astrofotográfico* situa-se aproximadamente na magnitude 30).

Pogson impôs a si próprio a tarefa de determinar as magnitudes dos 36 asteróides de maior brilho, para o primeiro dia de cada mês de 1857 (na altura os asteróides eram chamados *planetas menores*). Aplicando os seus novos métodos determinou rotineiramente magnitudes da ordem de 15, com precisão às décimas de magnitude! Foi nesse trabalho que apresentou a sua famosa escala que o imortalizou.

A nova definição permitiu definir a magnitude visual aparente ( $m$ ) até às décimas, mesmo no tempo de Pogson, refinando a escala clássica anteriormente existente, que apenas considerava valores inteiros (modernamente medem-se magnitudes até às centésimas). Inicialmente o padrão foi a estrela Polar (*Alfa Ursae Minoris*), definida como padrão de magnitude 2,0 (mas depois descobriu-se que era variável, pouco adequada para padrão); mais tarde passou a definir-se Vega (*Alfa Lyrae*) como padrão da magnitude 0,0 [ver nota 2].

Pogson incompatibilizou-se com Manuel Jonhson, por volta de 1857, talvez por este sentir que Pogson tirou partido dos seus primeiros resultados fotométricos, ou por não ter sido ele (Johnson) a conseguir desenvolver e formular a escala final. Por isso, Pogson decidiu procurar trabalho em outro local. Já famoso pelos seus trabalhos em estrelas variáveis e por ter criado a equação de Pogson, deixou o Radcliffe Observatory (1859) para dirigir o Hartwell House Observatory.

### Em Hartwell House

Por recomendação do Almirante Smyth (1788-1865), que depois de se reformar (1825) veio a ser um famoso astrónomo observador, Pogson foi nomeado director do observatório Hartwell House (1859), sob as ordens do Dr. John Lee. O contrato era duro: Pogson tinha direito a casa, mas todas as investigações e publicações feitas por Pogson seriam propriedade do Dr. Lee. Perante tais exigências, Pogson só lá esteve dois anos, saindo em 1860. Mesmo assim ainda lá publicou o “Hartwell Atlas of Variable Stars”, assinando como “humilde colaborador” (obrigações do contrato)...

### Partida para Madras, na Índia

Por recomendação de John Herschel (filho do famoso William Herschel), Pogson é nomeado, em 1860, astrónomo oficial e director do observatório de Madras, na Índia (latitude 11° 0' N; longitude 77° 0' E). Parte para a nova missão com a mulher e três dos seus filhos, levando o telescópio de



### Lista dos oito asteróides descobertos por Pogson

Número de ordem e nome	Data da descoberta
(42) Isis	23 de Maio de 1856
(43) Ariadne	15 de Abril de 1857
(46) Hestia	16 de Agosto de 1857
(67) Asia	17 de Abril de 1861
(80) Sappho	2 de Maio de 1864
(87) Sylvia	16 de Maio de 1866
(107) Camilla	17 de Novembro de 1868
(245) Vera	6 de Fevereiro de 1885

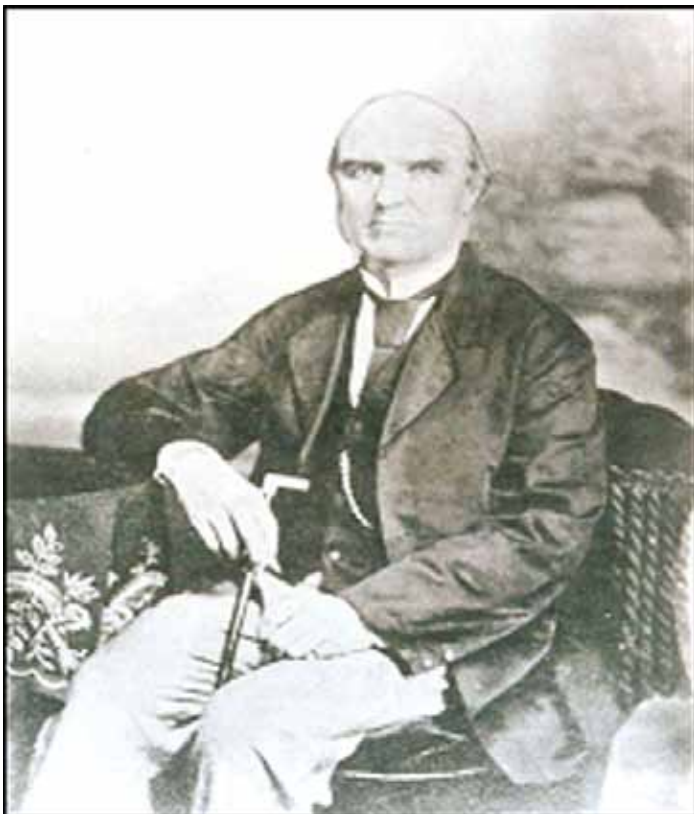


Fig. 4 - Fotografia de Norman Pogson, numa fase mais tardia da sua vida.

3,5 polegadas  $f/17$ , disponibilizado pelo Dr. Lee. Mal chegou (1861), apercebeu-se do mau estado dos instrumentos do observatório, das escassas condições de trabalho e falta de assistentes. No entanto, permaneceu na Índia o resto da sua vida.

Ainda em 1861, descobriu o primeiro asteróide a partir do continente asiático e por isso chamou-lhe Ásia, descobrindo ainda mais seis estrelas variáveis, entre 1862 e 1865. Também elaborou um atlas estelar e catálogo de estrelas: o *Madras Catalogue*, com um total de 11 015 estrelas. O seu único assistente indiano, Chintamany Ragoonatha Chary, acompanhou-o desde a chegada à Índia até 1878.

No Verão de 1867 foi criado um departamento meteorológico no observatório astronómico de Madras, atribuindo a Pogson o cargo de director, e impondo-lhe essas observações (meteorológicas) como prioridade, deixando a actividade astronómica para segundo plano, o que muito o revoltou. Mesmo como "meteorologista oficial" continuaram a ignorar os seus pedidos para um ajudante inglês e até o incrimina-

ram por negligência por não ter feito o aviso de um ciclone tropical na baía de Bengala.

Em 1868, a sua mulher, Elisabeth Jane Pogson, que lhe tinha dado onze filhos, adoeceu gravemente de cólera, vindo a falecer no ano seguinte. Esse desfecho deixou Pogson seriamente abalado. Mesmo assim, nesse ano Pogson participou na expedição para observação de um eclipse solar na Índia.



Fig. 5 - O Madras Observatory, na Índia, dirigido por Norman Pogson de 1861 a 1891. Foi fundado em 1786 e teve o seu fim em 1899, quando foi convertido em estação meteorológica.

Durante os tempos de Madras, que se prolongaram por trinta anos, Pogson encontrou enormes entraves e burocracias, assim como alguma má vontade, por parte dos seus pares que em Inglaterra lhe dificultaram o trabalho. A falta de recursos e de equipamentos foi cada vez maior, devido às inimizades criadas com Manuel Johnson (director de Radcliffe e falecido em 1860), John Russel Hind (antigo patrão em Londres e agora membro influente de uma importante comissão que decidira fazer um levantamento dos céus austrais a partir de Sydney e recusando Madras); o próprio Dr Lee, antigo patrão de Pogson em Hartwell House, era agora presidente da poderosa Royal Astronomical Society. Os seus contínuos pedidos para que lhe enviassem equipamento e condições de trabalho foram ostensivamente ignorados.

Em 1871, participou na expedição para observação de outro eclipse solar na Índia. Em 2 de Dezembro de 1872 descobriu um cometa, na constelação de Andrómeda (1872 I), que leva seu nome. Em 1873 sucedeu nova tragédia: o seu filho mais velho, Norman Everard Pogson, que o auxiliava como assistente, faleceu sem causa conhecida. A sua filha Elisabeth Pogson foi a nova assistente possível junto do pai.

Vencendo diversas contrariedades publicou, em 1877, a obra "Results of Observations of the Fixed Stars". Em 1879 foi nomeado Cavaleiro do Império Indiano. Três anos depois publica ainda "Obser-



vations, Calculations, Etc.”, onde reúne as suas principais contribuições científicas, de 1847 a 1882. Aos 55 anos (1883) Pogson casou-se novamente, com Edith Stopford, de quem ainda teve três filhos. Um deles (a sua filha Vera) faleceu na infância e o pai homenageou-a, dando o seu nome ao asteroide 245, por ele descoberto em 1885.

### Os últimos tempos

Pouco antes do Verão de 1891, enquanto se preparava para o trânsito de Mercúrio, Norman Pogson sentiu-se muito doente. Apesar disso, a sua tempera era forte e, com espírito decidido, completou as observações. O médico informou-o da sua doença (cancro no fígado) e disse-lhe que teria poucas semanas de vida. Faleceu em 23 de Junho de 1891, aos 62 anos.

Pogson viveu numa época de grande empenhamento na astronomia observacional e foi contemporâneo de muitos astrónomos e observadores de renome: John Herschel, Friedrich Argelander, William Dawes, Almirante Smyth, Joseph Jérôme de Lalande, Simon von Stampfer, Carl von Seiheil, Friedrich Bessel, Friedrich von Struve, George Bond, George Biddel Airy, William Huggins, Edward Pickering, Charles Pritchard e outros. Foi membro da Royal Astronomical Society (Inglaterra). Era um entusiasta de música e membro da Madras Philharmonic Orchestra. Ao mesmo tempo que desenvolvia um trabalho intenso, cuidadoso e útil, que de outra forma, teria impulsionado muito mais a astronomia britânica, Pogson era consumido pela burocracia e pelo ostracismo.

Pogson será para sempre recordado pela escala de magnitudes [ver nota 3] e pelos seus trabalhos em estrelas variáveis (descobriu vinte) e asteroides. Em sua homenagem, o asteroide 1830 descoberto pelo astrónomo suíço Paul Wild em 17 de Abril de 1968 passou a ser designado “(1830) Pogson”. Na face oculta da Lua há uma cratera, com 50 km de diâmetro, baptizada com seu nome.

### Notas finais

1. Na escala de Hiparco e Ptolomeu, a relação entre os brilhos de estrelas de magnitudes sucessivas diferindo de uma unidade, isto é, da magnitude

“clássica” 1 para 2, de 2 para 3, de 3 para 4, etc., não é constante. Isso foi cuidadosamente demonstrado por Edward Pickering e Charles Pritchard (o que lhes valeu a medalha de ouro da Royal Astronomical Society, em 1886). Já em 1883 o mesmo Pritchard havia descoberto que, na “escala clássica”, a relação *medida* de brilhos era de 2,94 entre as magnitudes 2 e 3; de 2,44 entre as magnitudes 3 e 4 e de 1,75 entre as magnitudes 4 e 5. Em resultado da definição de Pogson, as magnitudes “clássicas” atribuídas (por Hiparco e Ptolomeu) às estrelas visíveis a olho nu foram um pouco modificadas, mas passou a haver um critério uniforme e internacional de magnitude. Com os novos valores das magnitudes, tudo se encaixa novamente com sentido coerente.

2. Foi assim até que novas medições, bem mais tarde, revelaram 0,03; actualmente, utilizam-se padrões de fluxo e a magnitude visual aparente é medida por meio de sensores, através de um filtro (filtro V) que reproduz a curva de sensibilidade visual humana à luz.

3. Houve algumas inovações desde Pogson. A medição do fluxo luminoso estelar comparado já não se faz actualmente pelo método das aberturas telescópicas que produzem o limiar de extinção na observação de cada estrela (como se fazia no tempo de Pogson). É claro que o sensor utilizado já não é o olho do observador. Também se adoptaram padrões de fluxo luminoso, em vez de estrelas particulares para aferir magnitudes: a magnitude 1, por exemplo é definida pelo fluxo luminoso,

$$\Phi_1 = 8,32 \times 10^{-7} \text{ lm/m}^2 \Leftrightarrow E_1 = 8,32 \times 10^{-7} \text{ lx,}$$

medido através de um filtro de referência que simula a sensibilidade do olho à luz de diferentes comprimentos de onda (*Nota:* “lm” é o símbolo do lúmen, unidade SI de fluxo luminoso, e “lx” é o símbolo do lux, unidade SI de iluminação). Porém, partindo dos dados de fluxo *medidos*, a determinação da magnitude continua a seguir os critérios e a equação de Pogson (Eq. 5), mantendo-se a razão de Pogson ( $R$ ) com o valor que ele nos deixou. Tudo isso lhe devemos.

### Referências

M. W. Burke-Gaffney, “Pogson’s Scale and Fechner’s Law”, *Journal of the Royal Astronomy of Canada* 57, 3-6 (1963); disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/full/1963JRASC..57....3B>

V. Reddy, K. Snedegar *et al.*, “Scaling the magnitude: the fall and rise of N. R. Pogson”, *Journal of the British Astronomical Association* 117 (5), 237-245 (2007).

N. Pogson, “Magnitudes of Thirty-six of the Minor Planets for the first day of each month of the year 1867”, *Journal Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS)* 17, 12-15 (1856); disponível em: <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/seri/MNRAS/0017/0000012.000.html>

T. S. H. Shearmen, “Norman Robert Pogson”, *Journal Popular Astronomy* 21, 479-484 (1913).

## Sugestões para uma aula de filosofia

**António Brotas**

*Em recordação do Professor Edmundo Curvelo, meu antigo professor de Filosofia no Colégio Militar que, ignorando completamente a História da Filosofia, aproveitou as aulas para nos estimular a pensar e agir, e da Professora Maria João Ceboleiro, uma das últimas pessoas com que podia falar destes assuntos.*

Se me pedissem para assegurar, agora, de improviso, uma aula de substituição de Filosofia do Secundário, acho que a iniciaria dirigindo-me aos estudantes do seguinte modo: “Queriam fazer-vos uma pergunta. Porque é que as árvores crescem de baixo para cima?”

A seguir, para precisar melhor, acrescentaria: “As pedras caem de cima para baixo. Deve haver um mecanismo, um sistema qualquer, que faça com que as árvores cresçam de baixo para cima. Qual é?”

Depois, ficaria à espera que os estudantes se animassem e quando me perguntassem qual era a resposta diria: “Não sei. Já pensei bastante no assunto e não encontro a explicação. Mas eu tenho uma formação muito limitada. Sou engenheiro mecânico e físico, e nem no campo da engenharia mecânica, nem do da física, consigo imaginar um sistema que assegure o crescimento das árvores de baixo para cima.. Mas este sistema existe, uma vez que as árvores assim crescem. Há que fazer a pergunta a outros especialistas. O melhor será começar pelos professores da escola. Vocês podem-se encarregar do assunto.”

“Valerá a pena fazer a pergunta ao professor de Desenho? Acho que não. Ele pode ajudar-nos a fazer desenhos que nos sirvam para ilustrar o problema, mas não me parece que conheça a resposta.”

“E ao professor de Matemática? Também não. A Matemática não se ocupa de vegetais.”

“E ao professor de Química? Convém falar com ele. Dúvido que encontrem nos vossos livros de Química alguma informação que sirva para responder à nossa pergunta. Mas a Química é uma ciência muito vasta e em evolução. É possível que os investigadores e professores de Química tenham informações que permitam esclarecer o problema. Devem falar com o vosso professor de Química.”



“O que não podem é deixar de falar com o vosso professor de Biologia. Mas, atenção, se lhe perguntarem porque é que as árvores crescem para cima, ele provavelmente dirá que é para as folhas, ficando mais altas, apanharem mais luz do sol e desenvolverem melhor o processo da criação da clorofila. Fazer-vos-á, possivelmente, um discurso acompanhado pela indicação de algumas reacções químicas, mas não é nada disso que nos interessa. As árvores não têm alma nem vontade própria. Isto é, não comandam conscientemente o próprio corpo, ou seja, os seus troncos. O que nos interessa saber é o que se passa no tronco das árvores que faz com que cresçam para cima.”

“Uma vez que falamos em alma (mesmo que seja para dizer que não existe nas árvores) poderíamos ouvir a opinião do professor de Moral? Se estivessemos na Idade Média, o professor de Moral, certamente um padre, daria uma resposta do tipo: ‘O Inferno está em baixo. As árvores são obras de Deus. Para se afastar do Inferno crescem para cima (...o que não é inteiramente verdade porque as raízes crescem para baixo. Para este tipo de

diferenças a Moral inventou o Bem e o Mal... e não convinha fazer muitas perguntas porque as pedras, sendo também uma obra de Deus, acabam sempre por cair para baixo.’ Em qualquer caso, os professores de Moral actuais tem plena consciência de que este tipo de respostas já não é aceite. Se forem modestos, respondem: ‘Não sei’, conscientes que a maioria dos cientistas também não sabe.”

“Em resumo, o indicado será ouvirem professores de Agronomia. Aconselharia, também, a irem ouvir o professor Catarino que foi responsável pelo Jardim Botânico de Lisboa, que vos poderá dar informações úteis e vos fará, certamente, uma muito interessante palestra sobre o assunto.”

Uma vez que estamos na época da Informática, aconselharia ainda os estudantes a fazerem nos seus computadores uma pesquisa no Google a ver se encontram respostas à nossa pergunta, podendo igualmente consultar os amigos do Facebook . Seria a maneira de passar a iniciativa para eles ficando eu à espera com alguma curiosidade, mas no íntimo convencido de que não encontrariam nada de jeito.

Em qualquer caso, as consultas aos professores e as pesquisas na internet exigem algum tempo e combinaria com eles que os relatórios com as respostas poderiam ser deixados para uma aula seguinte, ou ser-me enviados por email.

Para terminar a aula podia dizer: “Vamos imaginar que não havia computadores e não tínhamos mais ninguém a quem pedir informações. Vou propor-vos uma explicação para o facto de as árvores crescerem para cima, e vocês vão-me dizer se a aceitam”:

“Vamos dizer que as árvores e todos os outros vegetais crescem para cima porque são muito *teimosos*. Quando uma força os puxa para baixo eles, porque são *teimosos*, vão para cima. Aceitam esta explicação?”

Espero que os estudantes se manifestem, procuro sem os contradizer registar as suas reacções, e avanço com uma outra pergunta: “Porque é que as pedras caem?”

Fico à espera que algum diga: “Porque a Terra as atrai”. Então digo: “Muito bem. E quem é que descobriu isso?” – “Foi o Newton.” – “E de que século é o Newton?” – “Do século XVII.” – “E como é que a Humanidade explicava a queda das pedras antes de Newton? Como é que os que o antecederam explicavam este facto?”

“Não tinham explicação e, na verdade, não sentiam grande falta dela. Aceitavam, simplesmente, que as pedras vinham para baixo porque *o seu lugar natural era em baixo*. Limitavam-se, quando instados a falar do assunto, a usar expressões verbais que nada explicavam, mas era inteiramente condizente com os factos que desde sempre observavam.<sup>1</sup>”

“Então, se não sabemos porque é que as árvores crescem para cima, que mal há em dizer que é porque são *teimosas* e, quando uma força as puxa para um lado, elas vão para o outro? (Sendo a teimosia uma qualidade de quem tem alma não podemos, claro, induzir desta afirmação puramente verbal que os vegetais têm alma).“

“Vi uma vez, num museu em França, há mais de meio século, uma montagem muito explícita. Num disco horizontal mantido a rodar em permanência estava plantada relva. No centro do disco a relva crescia na vertical e na periferia inclinada para dentro<sup>2</sup>. Se visitasse este museu, não com vocês, mas com alunos do Preparatório que não conhecem a gravitação de Newton, que melhor explicação poderia dar para este facto sem ser a *teimosia* dos vegetais?”

<sup>1</sup> Respostas da Luisa com 5 anos:

“Porque é que as coisas caem?”

- “Porque caem sempre.”

- “E porque é que os aviões não caem?”

- “Porque têm motor.”

- “E porque é que os balões não caem?”

- “Não sei.”

<sup>2</sup> A experiência será, ainda, mais explícita se no disco estiverem implantadas hastes muito flexíveis que se dobrarão para fora nos pontos em que a relva, por “teimosia”, se inclina para dentro.

## Proposta-base de Revisão da Estrutura Curricular dos Ensino Básico e Secundário

apresentada pelo Ministério da Educação e Ciência (MEC)

**Carlos Portela - Coordenador da Divisão de Educação da SPF**

A proposta de revisão da estrutura curricular apresentada pelo Ministério da Educação e Ciência (MEC) procede à alteração dos planos de estudo dos ensinos básico e secundário sem a necessária reformulação dos programas das disciplinas. A SPF considera que uma revisão da estrutura curricular se deveria basear numa perspectiva articulada do elenco disciplinar e dos programas das disciplinas dos planos de estudo.

É amplamente reconhecido pela comunidade de professores de ciências físico-químicas e de ciências naturais que a atual estrutura curricular para o 3.º ciclo do ensino básico, atendendo à carga horária atribuída, demonstrou ser danosa ao desenvolvimento da qualidade das aprendizagens na área das ciências ditas experimentais<sup>1</sup>. Um bloco de 90 minutos semanal é prejudicial a uma aquisição de conhecimentos que satisfaça os objetivos curriculares e não permite o desenvolvimento das capacidades científicas necessárias para o ensino secundário, tais como as capacidades de análise e/ou construção de gráficos, tabelas, esquemas, diagramas; de cálculos simples, conversão de unidades e noção de estimativa e de interpretação/produção de textos. Por isso, considera-se que o aumento da carga letiva semanal no 3.º ciclo do ensino básico é urgente e imprescindível.

Uma vez que esta revisão dará lugar à produção de nova legislação que regula o currículo e o seu funcionamento, deve ficar inequivocamente expresso na legislação a aprovar, ao contrário do que sucede na atual estrutura curricular, a obrigatoriedade dos desdobramentos<sup>2</sup>.

A eliminação da disciplina de formação cívica no 3.º ciclo do ensino básico e no 10.º ano, mantendo a relevância dos seus conteúdos de modo transversal, assim como a eliminação da formação a decidir pela escola, prevista para o 3.º ciclo do ensino básico<sup>3</sup>, são boas medidas que podem ajudar ao reforço da aprendizagem das disciplinas essenciais, nomeadamente via um reforço da respetiva carga horária.

### 3.º ciclo do ensino básico

O aumento da carga horária das ciências experimentais no 3.º ciclo do ensino básico, prevista na proposta do MEC (“aposta no conhecimento científico através do reforço de horas de ensino nas ciências experimentais no 3.º ciclo do ensino básico colmatando, neste nível de ensino, uma clara insuficiência de carga horária”), é uma medida que poderá melhorar a qualidade das aprendizagens nesta área e que se prevê poder conduzir a uma melhoria do desempenho dos alunos no ensino secundário. A SPF congratula-se com esta medida, nomeadamente com o aumento da carga letiva semanal previsível para a disciplina de físico-química: de 90 minutos para (90 + 45) minutos<sup>4</sup>.

Quanto à proposta de alteração do modelo de desdobramento de aulas nas ciências experimentais do 3.º ciclo, através de uma alternância entre as disciplinas de ciências naturais e de físico-química, considera-se que é uma medida que desincentiva o trabalho prático-laboratorial<sup>5</sup>. A aprendizagem das ciências experimentais pressupõe que os alunos “façam”: ora uma das fragilidades do atual currículo do ensino básico está precisamente no ensino pouco experimental das ciências experimentais, o que decorre, fundamentalmente, da reconhecida insuficiência horária. Assim, se por um lado, o aumento da carga horária das disciplinas de físico-química e de ciências naturais cria condições que permitem uma maior disponibilização do tempo necessário para as atividades experimentais, por outro, a alteração do modelo de desdobramento dificulta a realização das atividades experimentais, dado que não é possível desenvolvê-las, com qualidade, com toda a turma ou utilizando apenas uma aula de 45 minutos<sup>6</sup>.

É de salientar que a importância que se quer dar ao ensino das ciências experimentais implica a manutenção dos atuais moldes do desdobramento das disciplinas de físico-química e de ciências naturais: semanalmente os alunos têm cada uma destas duas disciplinas num bloco de 90 minutos com desdobramento (turnos). A este bloco, com atividades prático-laboratoriais, acresceria uma aula de 45 minutos com toda a turma.

### Ensino secundário

A formação científica dos cursos científico-humanísticos deve ser adequada às necessidades de prosseguimento de estudos no ensino superior. Deve também garantir-se, ao longo do ensino secundário, uma progressiva aproximação

ao esforço definido para os cursos do ensino superior. Assim, o plano de estudos do 12.º ano deveria propiciar o desenvolvimento de hábitos de estudo que se aproximassem mais do que virá a ser exigido aos alunos no primeiro ano do ensino superior.

A eliminação de uma disciplina de opção no 12.º ano é contrária às necessidades de um ensino exigente, prejudica a formação dos alunos e também a sua preparação para o ensino superior, prevendo-se que contribua para o aumento do insucesso nesse grau de ensino.

A proposta de revisão da estrutura curricular sofre de um grave desequilíbrio na distribuição da carga horária e do número de disciplinas ao longo do ensino secundário: assim, nos cursos científico-humanísticos, os 10.º e 11.º anos ficam com maior carga horária (17 a 18 blocos de 90 minutos), maior número de disciplinas e dois exames nacionais (disciplinas bienais da componente de formação específica<sup>7</sup>), enquanto o 12.º ano fica com menor carga horária (10 blocos de 90 minutos), menos disciplinas e na componente de formação específica apenas com um exame nacional (matemática A no curso de ciências e tecnologias). Este desequilíbrio no plano de estudos do ensino secundário implica uma evolução do esforço exigível aos alunos em contraciclo com a evolução da maturidade cognitiva e das competências sociais, atitudinais e axiológicas dos alunos ao longo dos três anos de escolaridade do ensino secundário.

No atual plano de estudos, a diversidade de opções<sup>8</sup> da segunda disciplina anual do 12.º ano contribui para que a escolha dos alunos obedeça, fundamentalmente, a um critério de obtenção da melhor média possível no final do ensino secundário, isto é, a escolha da disciplina em que o aluno previsivelmente obterá melhor classificação com menor esforço, em vez de se basear num critério de uma melhor formação de base para o curso pretendido no ensino superior. Esta diversidade de oferta é prejudicial a uma desejável racionalidade conceptual do plano de estudos assim como a uma gestão racional dos recursos humanos.

A SPF considera que se devem manter as duas disciplinas anuais de opção do 12.º ano a bem da formação dos alunos e do equilíbrio do seu plano de estudos, sendo antes necessário reduzir a diversidade de opções da segunda disciplina anual a um núcleo essencial. No curso de ciências e tecnologias esse núcleo duro deveria ser constituído pelas disciplinas de base das ciências físicas e naturais: física, química, biologia e geologia. Contribuir-se-ia, assim, para a redução da dispersão curricular, “centrando mais o currículo nos conhecimentos fundamentais e reforçando a aprendizagem nas disciplinas essenciais” conforme preconiza o MEC na proposta de revisão de estrutura curricular.



Caso o MEC mantenha apenas uma disciplina de opção no 12.º ano é imprescindível, por razões de racionalidade de gestão de recursos e consistência interna do plano de estudos, a redução do número de opções disponíveis a um núcleo essencial de disciplinas que no caso do curso de ciências e tecnologias seriam as já referidas: física, química, biologia e geologia.

O MEC refere uma “atualização do leque de opções da formação específica, no ensino secundário, tendo em conta o prosseguimento de estudos e as necessidades do mercado de trabalho, criando disciplinas como, por exemplo, Programação informática”, mas não explicita a necessidade de redução do leque de opções a nível da disciplina anual do 12.º ano.

Dada a centralidade do trabalho prático-laboratorial nas ciências experimentais (física, química, biologia e geologia), não se compreende a eliminação do reforço da carga horária da disciplina anual do 12.º ano. As atividades experimentais nas disciplinas de física e química A e de biologia e geologia, dos 10.º e 11.º anos, são desenvolvidas numa aula de 135 minutos, enquanto no 12.º para as disciplinas de física, química, biologia e geologia as atividades, de acordo com a proposta do MEC, teriam que ser desenvolvidas em aulas de 90 minutos. Dada a maior complexidade de exploração das atividades prático-laboratoriais desenvolvidas nas disciplinas de física e de química do 12.º ano, esta redução de 135 para 90 minutos das aulas prático-laboratoriais é prejudicial à consolidação das aprendizagens.

18 de janeiro de 2012

Divisão de Educação da Sociedade Portuguesa de Física

## Notas

<sup>1</sup> Com a carga letiva atual, um bloco de 90 minutos semanal, ocorrem situações caricatas em que uma turma pode estar duas semanas seguidas sem ter aulas de físico-química e de ciências naturais, por exemplo, devido a feriados.

<sup>2</sup> Embora o atual currículo do ensino básico preveja a obrigatoriedade das atividades experimentais no ensino das ciências, o ponto 5.8 do despacho n.º 14 026/2007 refere que, para esse efeito, “é autorizado o desdobramento...”. Esta redação permitiu que em muitas escolas do ensino particular e cooperativo e mesmo em algumas escolas públicas se optasse pela simples eliminação dos desdobramentos. No ensino secundário ministrado no ensino particular a situação é também heterogênea indo desde a ausência de desdobramento ao desdobramento numa aula de 90 minutos e não de 135 minutos como estabelecido no atual currículo. Esta diversidade na implementação do currículo é lesiva do direito de igualdade dos alunos e é bem exemplificativa da fragilidade da regulamentação emanada pelo Ministério da Educação.

<sup>3</sup> De acordo com o Decreto-Lei n.º 94/2011 de 3 de agosto esta carga horária a decidir pela escola poderia ser distribuída pela disciplina de língua portuguesa ou de matemática, mas também poderia ser utilizada para atividades de acompanhamento e estudo, de acordo com a opção da escola.

<sup>4</sup> No 9.º ano do currículo em vigor, a carga letiva semanal dos alunos é de (90 + 45) minutos para uma das duas ciências físicas e naturais, ou ciências naturais ou físico-química. Esta diferença de carga letiva destas duas disciplinas é de difícil fundamentação e é geradora de conflitos de interesses nas escolas, sendo que pressupõe que o mesmo programa possa ser dado em cargas horárias diferentes de acordo com a opção de cada escola.

<sup>5</sup> A proposta do MEC não especifica como é que se operacionaliza a alternância. Prevê-se que a aplicação da alternância aos desdobramentos deverá originar não só um desfasamento entre as componentes teórica e prático-laboratorial da disciplina de físico-química como também outros desequilíbrios resultantes de, por exemplo, feriados ou visitas de estudo.

<sup>6</sup> O desenvolvimento das competências processuais e conceptuais inerentes ao trabalho “experimental” requer tempo, espaços próprios e materiais específicos, o que apenas se torna exequível em pequenos grupos e no segmento letivo de maior duração. Com a turma toda não é possível garantir a realização das atividades com a necessária segurança.

<sup>7</sup> O Decreto-Lei n.º 50/2011 de 8 de abril introduz a possibilidade de o aluno substituir o exame de uma das disciplinas da componente da formação específica, por exemplo física e química A, por um exame à disciplina de filosofia (componente de formação geral) de acordo com a opção do aluno. Esta possibilidade contraria a importância que a formação específica deve ter a nível do ensino secundário e pode prejudicar a equidade pretendida na obtenção da média final do ensino secundário no mesmo curso científico-humanístico.

<sup>8</sup> No atual curso de ciências e tecnologias, as opções do plano de estudos para a segunda disciplina anual do 12.º ano são as seguintes: física, química, biologia, geologia, antropologia, aplicações informáticas B, ciência política, clássicos da literatura, direito, economia, filosofia A, geografia C, grego, língua estrangeira I, II ou III e psicologia B (Decreto-Lei n.º 272/2007, de 26 de julho e Declaração de Retificação n.º 84/2007, de 21 de setembro; o Decreto-Lei n.º 50/2011 de 8 de abril não introduziu nenhuma alteração a esta dispersão de oferta que ao ser gerida de acordo com o Projeto Educativo de cada escola origina grandes disparidades).

## Recensões

### O Grande Desígnio de Hawking e Mlodinow

Paulo Crawford

Por volta de 1920, Albert Einstein confidenciava a um jovem estudante: “Quero saber como Deus criou o mundo. Não estou interessado neste ou naquele fenómeno, no espectro deste ou daquele elemento. Quero conhecer os pensamentos de Deus. O resto são detalhes.” E, pouco depois, Einstein pôs em marcha o seu grande sonho – descobrir o grande desígnio do universo, a teoria do campo unificado, capaz de explicar todas as coisas. Na altura, quando ainda não se conheciam as interacções forte e fraca que actuam ao nível subnuclear, Einstein procurava uma teoria capaz de unificar as interacções gravítica e electromagnética. Muito mais tarde, nos anos 50, Einstein confrontou um seu colaborador, Ernst Straus, com quem trabalhou na construção de uma teoria do campo unificado, com a seguinte pergunta: “Terá Deus tido alguma escolha quando criou o universo?” Embora Einstein se tenha definido algumas vezes como agnóstico, podemos descrevê-lo como um panteísta, no sentido de Espinosa; a sua compreensão de Deus vinha de uma profunda convicção numa inteligência superior que se revelava através do mundo observável e, de certo modo, compreensível.

Também Stephen Hawking, que se tornou famoso com os seus trabalhos sobre buracos negros, acreditava na possibilidade de os físicos descobrirem uma teoria unificada de todas as interacções, chegando a admitir para breve o fim da física. Na altura, a principal candidata a uma teoria final era a Supergravidade. Recordo-me muito bem de o ver a assistir a uma *workshop* de Supergravidade no Departamento de Matemática Aplicada e Física Teórica (DAMTP) algures em 1981. Depois da revolução da teoria das supercordas nos anos 80, declarou que a “teoria de tudo” estava a despontar no horizonte, havendo 50 por cento de probabilidades de estar concluída por volta de 2000. Estamos em 2011, mas já em 2010 Hawking tinha desistido de encontrar a teoria final, embora isso não o tenha impedido de usar a física actual para explicar os grandes enigmas da criação do universo.

A história que Stephen Hawking e Leonard Mlodinow, físico do Instituto de Tecnologia da Califórnia, se propõem contar neste livro é necessariamente complexa, exigindo dos seus autores uma grande capacidade explicativa para poderem levar o leitor a bom termo, através dos meandros da física contemporânea. Apesar da dificuldade do empreendimento,

de todos os livros assinados por Stephen Hawking para o grande público, este é para mim aquele onde os conceitos são apresentados com maior clareza. O seu objectivo último é deveras supremo, nada menos do que a explicação da origem do universo em termos da ciência actual, ou seja, sem a necessidade de recorrer à intervenção divina. Neste livro, os autores procuram dar resposta às questões mais profundas: Porque é que existe alguma coisa em vez de nada? Porque é que nós existimos? Porque é que são estas as leis e não outras que governam o universo? Em geral os cientistas não lidam com este tipo de questões, que são mais do âmbito da filosofia. Mas aqui os autores sustentam que hoje compreendemos o suficiente acerca das leis últimas da física para podermos concluir que não necessitamos de Deus para compreendermos o universo. Mas não afirmam ter provado que Deus não existe.

Ao ser entrevistado a propósito da publicação deste livro, Stephen Hawking adiantou: “Ninguém pode provar que Deus não existe, mas a ciência torna Deus desnecessário,” e acrescenta: “As leis da física podem explicar o universo sem necessidade de um criador.” E, no livro, os autores adiantam: “Não é necessário invocar Deus para acender o rastilho e pôr o universo em marcha.” Antes tinham escrito: “Uma vez que existe uma lei como a gravidade, o universo poderá e irá criar-se a si próprio a partir do nada (...) A criação espontânea é a razão pela qual existe algo em vez de nada, o universo existe e nós existimos.”

Em suma, este livro de Hawking e Mlodinow conduz o leitor numa fantástica viagem através da física fundamental e da cosmologia, tendo como desfecho surpreendente a ideia de que o nosso universo observável é uma pequena parte de um conjunto de universos, ou universos múltiplos, conhecido por multiverso. Muito embora o universo observável seja constituído por uma centena de milhares de milhões de galáxias, cada uma delas com centenas de milhares de milhões de estrelas, é ainda assim finito, segundo os autores. Esta ideia de multiverso sugere

que há um número indeterminado, possivelmente infinito, de universos com dimensões semelhantes, mas onde as condições poderão ser muito diferentes, porque as leis físicas são diferentes. Aliás, esses outros universos poderão ter um número de dimensões espaciais diferente do nosso.

Para além de examinarem, com muita clareza, alguns dos tópicos mais estimulantes da física contemporânea (a relatividade geral, a mecânica quântica e a cosmologia moderna), os autores abordam também as questões filosóficas acima mencionadas, numa tentativa de encontrar uma resposta para elas dada pela ciência actual. Assim, cada capítulo é mais um passo nesse caminho, que avança ao longo da lógica da mecânica quântica, da relatividade geral e da teoria das supercordas. Mas para chegar ao seu destino há um elemento chave nesse trajecto, o recurso ao “princípio antrópico”, na sua forma forte, tema bastante controverso mesmo entre os cosmólogos.

Se há universos com leis físicas muito diferentes, não é surpreendente que nos encontremos num universo que seja hospitaleiro para a vida. Em particular, no sistema solar, é natural que a vida tenha surgido na Terra e não, por exemplo, em Mercúrio. Isto permite-nos explicar algumas das características do nosso universo como sendo as que são propícias ao aparecimento de vida inteligente. E, é claro, este raciocínio impõe alguns limites aos valores das constantes da natureza ou aos valores da massa de algumas partículas essenciais à química da vida e que entram na constituição da matéria. Possivelmente existem outros universos onde esses valores são diferentes e onde não poderíamos viver. Para os autores, a existência destes múltiplos universos não é simplesmente uma possibilidade, mas um dado bastante natural. Na teoria das supercordas, o espaço-tempo pode ter mais de três dimensões espaciais, em geral tem nove. Seis destas dimensões extra estão enroladas sobre si, formando circunferências com um raio muito pequeno, para que não possam ser observadas. Na realidade há várias maneiras de encurvar as dimensões extra e essas diferentes formas conduzem a diferentes teorias, cada uma das quais dando aparentemente lugar a diferentes leis da física.

Ninguém põe em causa que a investigação em teoria das cordas trouxe consigo muitos resultados secundários interessantes, em física teórica e matemática, mas a utilidade desses resultados não é uma evidência suficiente a favor da teoria das cordas enquanto teoria científica. Entre os físicos teóricos, existe alguma discordância sobre a relevância desta teoria para a construção de uma teoria final capaz de unificar todas as forças físicas. No princípio dos anos 90, os teóricos das supercordas debatiam-se com um problema: em vez de uma única teoria de tudo, pareciam existir cinco. No início de 1994, eles

notaram que as baixas energias algumas dessas teorias eram “duais” de outras, isto é, uma transformação matemática podia fazer uma teoria parecer-se com outra. Isto sugeria que poderia haver duas descrições do mesmo fenómeno. Muito embora cada uma das teorias de supercordas não possa então ser considerada uma teoria fundamental, foi entretanto sugerido por Edward Witten que a única razão para estas teorias serem fisicamente relevantes é fornecerem a prova da existência de uma teoria mais fundamental, a que chamou teoria M. Conquanto Witten não tenha efectivamente construído essa teoria fundamental, elaborou uma conjectura onde se mostrava que aumentando o número de dimensões espaciais, de 9 para 10, era possível desenvolver a ideia de que as cinco teorias de supercordas eram realmente a mesma teoria. A juntar a estas ideias, há depois o conceito de inflação, que prevê que uma região diminuta do espaço pode inflacionar-se até atingir um domínio com a dimensão de um universo. E alguns cosmólogos defendem que uma vez iniciada, a inflação mantém-se para todo o sempre, criando continuamente novos universos com condições diferentes.

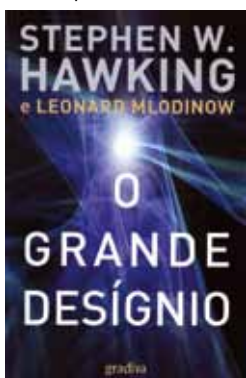
Este é um quadro que tem sido avançado por um certo número de físicos teóricos durante os últimos vinte anos, mas que permanece algo especulativo. A maior criação de Stephen Hawking está relacionada com a criação espontânea do universo a “partir do nada”. É uma ideia que decorre naturalmente da mecânica quântica, onde uma partícula não tem uma posição bem definida, mas vive numa sobreposição de muitas posições possíveis. Assim, algo semelhante se pode dizer do universo. Existe numa sobreposição de muitos estados possíveis e, entre eles, o nada absoluto. As leis da cosmologia quântica pretendem mostrar como o nada pode evoluir para o universo que vemos hoje. É realmente especulativo, mas não é uma ideia desprovida de fundamentos científicos.

Os autores deste livro abraçam esta ideia, admitindo que algo pode ser realmente criado a partir do nada. Em particular, o universo pode ter sido assim criado. É neste contexto que os autores defendem que são as leis da física, e não a mão de Deus, que explicam a razão pela qual aqui estamos. Em última análise, o universo existe porque deve existir e se, em dado momento, ainda não existisse, brotaria espontaneamente do nada. E uma vez existindo, a combinação da relatividade geral com a mecânica quântica actua de forma a persuadir o universo a criar uma variedade imensa de regiões com diferentes condições locais e, por conseguinte, com diferentes leis físicas. A maior parte destes universos serão extremamente inadequados ao aparecimento de vida, mas alguns terão exactamente as condições necessárias ao desenvolvimento da complexidade e da vida inteligente. O nosso será um deles. Mas é claro que nesta fase não é possível afirmar que esta é uma concepção correcta da realidade, embora muitos teóricos alimentem esta visão, baseados precisamente na ideia de multiverso e do princípio antrópico.

Por último, quero retomar a referência, feita atrás, à tentativa de encontrar respostas na ciência para as grandes questões formuladas pelos filósofos. Os autores reconhecem que

estas são tradicionalmente questões para a filosofia, “mas a filosofia está morta”, acrescentam. Tendo declarado a morte da filosofia, não deixa de ser um tanto paradoxal que, em seguida, embarquem numa explicação filosófica para ultrapassar a dificuldade criada pela existência desta multiplicidade de teorias distintas. Isso leva os autores a declarar que a única maneira de entender a realidade é recorrer ao que eles designam por “realismo dependente do modelo”. Esta abordagem filosófica radical mantém que não existe, mesmo em princípio, uma única teoria global do universo. Em seu lugar, a ciência oferece muitas janelas incompletas de uma mesma realidade, cada uma mais verdadeira do que a outra. Esta posição é vista por alguns filósofos como um alarmante anti-realismo: não só a ciência não é capaz de disponibilizar uma descrição única da realidade, como também não existe uma realidade independente da teoria. Em qualquer dos casos, não devemos esperar encontrar uma teoria final unificada, como pretende vir a ser a teoria M, actualmente ainda incompleta, mas um conjunto de janelas separadas, e por vezes sobrepostas. Note-se que no livro, a teoria M é entendida como uma rede de teorias e não como uma teoria final, subjacente, da qual as várias teorias das cordas representam diferentes soluções.

Apesar destas reservas, quer ao nível científico quer filosófico, não posso deixar de reconhecer que este livro é, sem dúvida, uma exposição brilhante da física actual, apesar de os autores especularem sobre uma teoria que, na melhor das hipóteses, está ainda incompleta.



“O Grande Desígnio”  
Leonard Mlodinow  
e Stephen Hawking  
Gradiva (Col. Ciência Aberta), 2011  
ISBN 978-989-616-410-2

## Física para Engenheiros

Teresa Peña

Este livro é uma pedrada no charco da falta de ambição e exigência no ensino da física – em que se pode cair com a oferta de formações generalistas. A capa sugere uma viagem através de um floresta, numa bicicleta veloz. A metáfora é perfeita: para se ser engenheiro é preciso saber pedalar muito bem, utilizar, sem hesitação, conhecimentos básicos, para ultrapassar os problemas. É isso que este livro pode permitir a quem o utilizar. E tenho que acrescentar que resolver problemas pode dar tanto gozo como andar de bicicleta, e sentirmo-nos como vento entre as árvores. É um livro de problemas de Física organizado em 3 capítulos, correspondentes à oferta geral de ensino “standard”, ou “minimal”, do Departamento de Física do Instituto Superior

Técnico (IST) aos vários cursos de Engenharia do IST, que se sedimentou com a adequação ao processo de Bolonha. Com o mesma designação que as unidades curriculares do IST, os três capítulos são Mecânica e Ondas, Electromagnetismo e Óptica e Termodinâmica e Estrutura da Matéria. Cada capítulo aborda 10 temas, e cada tema contém 10 problemas.

Mas os autores souberam trazer sofisticação ao figurino de ensino de pronto-a-vestir, para servir todos. Vem ocupar o espaço das tradicionais coleções de problemas de livros da Schaum, ou das compilações anglo-saxónicas “Physics Problems Solver”, que utilizei nos meus tempos de estudante. Infelizmente, para infortúnio meu, esses livros tinham a espessura de listas telefónicas da época anterior às redes móveis, e embora fisicamente pesados, não apresentavam, em regra, as resoluções dos problemas e as sinopses da matéria com a profundidade, clareza e originalidade deste. Este livro é pois duplamente leve: no peso e na transparência pedagógica.

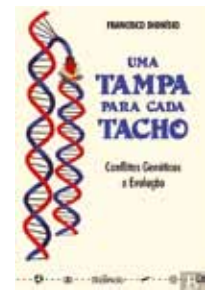
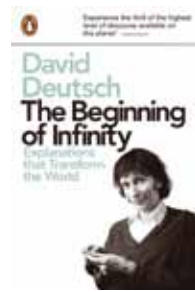
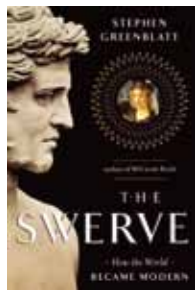
O sub-capítulo “Sistemas quânticos simples” do capítulo 3 é o meu favorito. É um verdadeiro *primer* entre as sínteses de Mecânica Quântica elementar. Só lhe faltam os exemplos de potenciais dependentes do tempo e probabilidades de transição – mas que em geral são tratados em cursos mais avançados. Encontrei nesse subcapítulo problemas comparáveis às *Qualifying questions* para acesso aos programas doutorais de universidades americanas de referência. O sub-capítulo que menos gostei também pertence ao capítulo 3 e chama-se “Estrutura do Núcleo”. Pareceu-me um pouco seco, pragmático. Senti a falta da leveza de ideias. Por exemplo, na origem dos termos da fórmula fenomenológica de Weizsaecker, ou da riqueza do núcleo como palco de criação e aniquilação de partículas e na ligação dos decaimentos radioactivos à formação dos elementos do universo. No entanto, é um sub-capítulo bem sólido e contribui para a formação de um engenheiro do século XXI, nomeadamente, para saber calcular a energia libertada em diferentes reacções nucleares.

Não tenho dúvidas que o livro traz uma marca de originalidade e é um contributo para melhor ensino e melhor formação. Só tenho pena de já não ser estudante de Física e de não ter estudado também por este livro!



“Física para Engenheiros”  
Mircea Serban Rogalski e  
António Ferraz  
Escolar Editora, 2011  
ISBN 978-972-592-314-6





## Livros de divulgação científica - selecção de 2011

O ano que agora termina foi particularmente fértil em (muito bons) livros de divulgação científica, quer nacionais, quer estrangeiros. Para nos ajudar a fazer uma selecção, pedimos ajuda a três autores portugueses que editaram em 2011: Jorge Buescu, Carlos Fiolhais, e António Piedade, curiosamente os três também activos colaboradores do popular blogue de divulgação científica *De Rerum Natura*. A cada um deles encomendámos a (ingrata) tarefa de elaborar um "Top 5" de preferências pessoais dos livros publicados em 2011. Com os nossos agradecimentos, e com votos de que estas recomendações possam levar à descoberta e ao desfrutar de estimulantes leituras, apresentamos aqui os resultados.

### António Piedade

O ano de 2011 foi generoso em livros de autores portugueses dedicados à divulgação de ciência e foram dados à estampa alguns volumes que vão ficar (já estão) na galeria dos melhores livros de sempre de divulgação de ciência em língua portuguesa. A escolha não foi fácil, fica incompleta e injusta. Optei ainda por incluir livros de outras disciplinas que não a Física, numa abordagem interdisciplinar e assim tentar chamar a vossa atenção para outras áreas a que por ventura estejam menos familiarizados.

**"Dicionário de Geologia"**, da responsabilidade de A.M. Galopim de Carvalho (Âncora) - Incluí este volume pois não há boa comunicação de ciência sem que instrumentos que descodifiquem os conceitos, por vezes mais complicados e herméticos, que resultam da actividade científica e da comunicação dos resultados entre investigadores; **"Egas Moniz. Uma biografia"**, de João Lobo Antunes (Gradiva) - Uma biografia sobre o único prémio Nobel português nas ciências, muito bem escrita por um outro incontornável neurocirurgião português; **"Haja Luz!"**, de Jorge Calado (IST Press) - Livro lindíssimo e impescindível sobre a história da Química na história da Humanidade; **"A Aventura da Terra"**, de vários autores, coordenado por Maria Amélia Martins-Loução, (Esfera do Caos) - Uma abordagem interdisciplinar sobre a evolução do planeta Terra e da vida que nele emergiu; **"Migrações: das Células aos Cientistas"**, de vários autores, coordenado por Maria de Sousa (Esfera do Caos) - Uma abordagem multidisciplinar sobre o fenómeno da migração comum aos microorganismos e ao Homem.

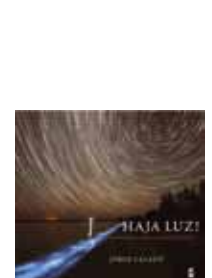
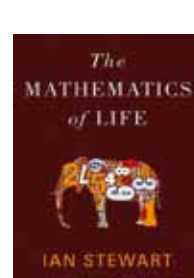
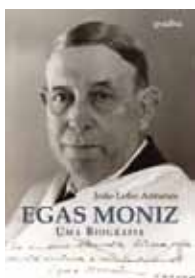
### Carlos Fiolhais

Escolho 3 livros nacionais e 2 internacionais:

**"Haja Luz!"**, de Jorge Calado (IST Press) - Uma história cultural da química, ricamente ilustrada, no Ano Internacional dela, pela pena de um grande erudito, que está tão à vontade nas ciências (Termodinâmica, Química-física, etc.) como nas artes (Ópera, Fotografia, etc.); **"O Grande Inquisidor"**, de João Magueijo (Gradiva) - O físico João Magueijo, fascinado pela personagem de Ettore Majorana, resolveu ir no encaço do enigma de um génio com vida efémera. Uma obra muito actual agora que o mistério dos "neutrinos superluminais" desperta o interesse pelo neutrino de Majorana; **"Casamentos e Outros Desencontros"**, de Jorge Buescu (Gradiva) - Continuação da colecção de crónicas escritas originalmente para engenheiros de um físico que se tornou matemático e um extraordinário divulgador da ciência. Alguns problemas da matemática contemporânea ficam, pela magia da escrita, ao alcance de toda a gente. A colecção "Ciência Aberta" vai bem e recomenda-se; **"The beginning of infinity"**, de David Deutsch (Penguin) - Um físico profundamente interessado pela filosofia faz uma grande síntese de questões actuais da física e da cosmologia. Uma visão optimista num mundo em crise, um iluminismo moderno que merece ser conhecido. Existe afinal progresso e a razão para ele é que conseguimos obter boas explicações para o mundo; **"The Swerve"**, de Stephen Greenblatt (Norton) - Um historiador conta como o poema *De Rerum Natura* do poeta latino Tito Lucrécio Caro foi descoberto no alvor do Renascimento. O poema, que deu o título a um blogue nacional sobre ciência e cultura, contém toda uma moderna cosmovisão científica que vai do turbilhão dos átomos à perspectiva evolucionista da vida.

### Jorge Buescu

**"The quantum story. A history in 40 moments"**, de Jim Baggott (Oxford Univ. Press) - Cem anos de Física Quântica em 40 episódios, começando com Planck e terminando com a Computação Quântica. A leitura é compulsiva e irresistível; **"The mathematics of life"**, de Ian Stewart (Basic Books) - O século XXI será provavelmente o século da Biologia. Muito provavelmente também, isso vai implicar que o papel de grande motivador de novos desenvolvimentos matemáticos poderá passar da Física para a Biologia. Stewart explica magistralmente porquê; **"Haja luz!"**, de Jorge Calado (IST Press) - Obra fantástica do fantástico Jorge Calado. A História da Química em histórias, imagens, ideias. Será interessante até para quem acha que não gosta de Ciência!; **"O grande inquisidor"**, de João Magueijo (Gradiva) - Um excitante livro de Magueijo que nos guia pela vida e tempos intrigantes de Ettore Majorana. Além das revelações serem surpreendentes, o livro está magistralmente escrito; **"Uma tampa para cada tacho. Conflitos genéticos e evolução"**, de Francisco Dionísio (Bizâncio) - Primeira incursão de um jovem biólogo português, físico de formação, na divulgação científica. Não sendo de leitura fácil, compensa largamente o esforço.





# FÍSICA 2012

18ª Conferência Nacional de Física · CNF  
22º Encontro Ibérico para o Ensino da Física · EIEF

A FÍSICA 2012 irá realizar-se na Universidade de Aveiro de 6 a 8 de setembro de 2012.

A Conferência e o Encontro decorrerão sob um tema global unificador: “Comunicação e Informação em Ciência”.

A Sociedade Portuguesa de Física irá solicitar ao Conselho Científico-Pedagógico da Formação Contínua a acreditação do Encontro Ibérico como curso de formação para professores (duração: 20 horas; créditos: 0,8).

#### Datas importantes

Submissão de resumos: 9 de abril a 18 de maio

Resposta aos autores: até 15 de junho

Inscrições (prazo normal): até 29 de junho

Consulte [www.spf.pt](http://www.spf.pt) para mais informações.



universidade de aveiro