

# Bosão de Higgs

finalmente descoberto?

Entrevista a J. Veiga Simão  
- Parte II

Olimpíadas de Física

# Índice

artigo geral

- 2 **Descoberta de uma nova partícula** compatível com o bóson de Higgs

João Varela

entrevista

- 8 **Entrevista a** José Veiga Simão - parte II

por Teresa Peña, Conceição Abreu e Gonçalo Figueira

crónicas

- 18 **A guerra** das cordas

Carlos Fiolhais

notícias

- 19 **150 anos das equações de Maxwell**

Filipe Moura

- 20 **Olimpíadas**

Fernando Nogueira

sala de professores/alunos

- 24 **Como percebem os professores do ensino secundário** os conceitos relativistas de massa e energia?

Maria do Anjo Albuquerque, Luís Peralta

- 29 **Software Livre para** Visualização e Estudo do Som

Albino Pinto, Carlos Saraiva

onda e corpúsculo

- 35 **Engenharia Biomédica:** zona de trocas

Teresa Peña

Na capa: Evento registado no detector CMS em 2012, que apresenta as características esperadas do bóson de Higgs (ver artigo da pág. 2)

Publicação Trimestral Subsidiada

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

## A viagem ao Higgs

No segundo número que a actual equipa da Gazeta de Física editou, o artigo de João Varela “O LHC vem aí” fez a capa<sup>1</sup>. Abria-se então uma era nova na física de partículas. Quatro anos depois, ficou demonstrado que o LHC não só veio, como veio para ficar. Este número da Gazeta de Física assinala agora isso mesmo. Marcamos o momento único da grande descoberta no LHC, com um novo artigo de João Varela — que nos conta o epílogo da história começada em 2008, e nos anuncia o novo prefácio à história que se segue.

O ano de 2012 foi Olímpico nos desportos e na Física. Duas colaborações do CERN, CMS e ATLAS, anunciaram a descoberta de uma partícula nova de 125 GeV de massa. A investigação que vai agora ter lugar sobre o detalhe das suas outras propriedades vai finalmente poder consagrar o paradigma actual da Física, simbolicamente conhecido por *Modelo Padrão* — ou, abalá-lo, quem sabe? traçando a linha fronteira da sua validade.

O que o LHC permitiu fazer foi uma viagem à fronteira do muito, mesmo muito, longinquamente pequeno, que é equivalente, em muitos aspectos, à viagem à Lua realizada em 1969. Primeiro, a Lua está a centenas de milhões de metros de distância da terra. A partícula agora descoberta também só é acessível a distâncias bem afastadas da escala humana, mais de centenas de bilião de vezes inferiores ao metro. Segundo, ambas as viagens resultam de tecnologia levada aos limites em perícia e engenho. Numa conferência internacional sobre problemas de fronteira em que participei este verão, o detector CMS foi descrito como o dispositivo de física de estado sólido mais poderoso jamais construído pelo homem — para conseguir processar e separar os

diferentes resultados de colisões feitas a uma taxa de um bilião de colisões por segundo. Terceiro, tanto a viagem à lua como a descoberta feita no LHC só se tornaram possíveis pela coordenação exemplar de equipas muito grandes em número e muito variadas em conhecimentos. A viagem ao Higgs e a viagem à lua correspondem ao que de único, e melhor, é possível obter através da chamada *Big Science* — ciência focada na execução de um objectivo só atingível pelo trabalho, em grupos e sub-grupos, de grandes equipas fortemente organizadas, cuja primeira edição foi o projecto *Manhattan* em Los Alamos conducente à bomba atómica. A colaboração CMS envolve cerca de 3500 pessoas. Nestes universos tão vastos de pessoas que são as colaborações de CMS e ATLAS, Portugal participou com lideranças de sucesso, como a de João Varela em CMS, e Amélia Maio em ATLAS. A diferença entre a viagem à Lua e o projecto Manhattan, por um lado, e o LHC, por outro, é que agora a equipa e o desígnio são bem transnacionais.

A partícula descoberta no CERN, o ansiado Higgs... ou outra partícula, levanta expectativas imensas para o nosso conhecimento da estrutura do espaço, melhor, do vazio — sempre o tão historicamente, problemático, inacessível vazio. O que se seguirá vai certamente alargar a nossa perspectiva do cosmos, da textura e da evolução do espaço e do tempo, das interacções e origens da massa que se criam e aniquilam nele. De onde vimos, para onde vamos, é a grande pergunta da ciência, faltando ainda muitos detalhes no filme que vamos fazendo sobre a evolução do universo. É uma pergunta que interessa a todos, cientistas e não cientistas, como ficou demonstrado no enorme impacto que teve nos *media* a grande descoberta do LHC em 2012. Partícula de Deus não será, mas partícula para não dizermos adeus à física, isso é, com toda a certeza...

Teresa Peña

<sup>1</sup> Gazeta de Física 31, núm. 1/2 (2008).

### 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

Albino Pinto, Carlos Fiolhais, Carlos Saraiva, Conceição Abreu,  
Filipe Moura, Gonçalo Figueira, João Varela, Luis Peralta,  
Maria do Anjo Albuquerque, Teresa Peña

#### 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.

# Descoberta de uma nova partícula compatível com o bóson de Higgs

João Varela

Instituto Superior Técnico e Laboratório de Instrumentação e Partículas

CMS Deputy Spokesperson

A 4 de Julho pelas 9:30, frente a uma audiência compacta no anfiteatro do CERN, Joe Incandela em representação da Colaboração CMS, mostra um slide onde se lê “o excesso de eventos observado tem um significado estatístico de 5 sigmas”. A audiência levanta-se em aplauso espontâneo. Uma nova partícula com as características esperadas para o *bóson de Higgs* fora descoberta.

A pesquisa do bóson de Higgs iniciou-se há mais de 40 anos, depois de em 1967 Weinberg e Salam terem incorporado o campo escalar proposto por Brout, Englert e Higgs nas equações do modelo que unifica as interações electromagnética e fraca. Desta forma conseguiam explicar a assimetria entre as duas interações: o *fotão*, vector da interacção electromagnética, tem massa nula, enquanto os bósons W e Z, vectores da força fraca, têm massa de 80 e 91 GeV respectivamente.

Este modelo, completado por desenvolvimentos posteriores e hoje conhecido por *modelo padrão* (MP) das partículas elementares e das interações, dá-nos uma descrição notavelmente precisa de variadíssimos resultados obtidos em muitas experiências realizadas ao longo das décadas. O MP inclui os *quarks* e os *leptões* como constituintes básicos da matéria, e descreve as suas interações através da troca de partículas intermediárias: o *fotão*, na força electromagnética, os *bósons W e Z*, na força fraca, e os *gluões*, na força forte. Apesar das previsões do modelo padrão terem sido confirmadas extensivamente, o bóson de Higgs não foi descoberto nas buscas realizadas durante décadas em várias gerações de aceleradores.

Nos modelos de Higgs, um campo escalar (em teoria quântica todas as partículas têm um campo associado) preenche o espaço no Universo. A interacção das partículas com este campo é responsável pelas suas massas. Partículas com maior ou menor intensidade de interacção têm respectivamente mais ou menos massa. Partículas que não interagem com o campo de Higgs, como é o caso do *fotão*, têm massa nula. Estas propriedades resultam das características únicas do campo e da partícula Higgs correspondente, bem diferentes dos outros campos conhecidos.

Todas as partículas do MP, excepto o Higgs, pertencem a uma de duas classes: os *fermiões*, com spin  $\frac{1}{2}$ , e os *bósons*, com spin 1. O bóson escalar de Higgs tem spin 0 (daí a designação de escalar). Nenhuma outra partícula fundamental tem esta característica. O Higgs tem um papel estruturante, no sentido em que define um novo quadro onde se inserem os constituintes da matéria e os vectores das interações. É possível que o espaço-tempo e o campo de Higgs que o ocupa sejam conceitos intimamente relacionados, com consequências hoje inimagináveis.

## Vinte anos de preparação

Em 1990, numa conferência em Aachen, alguns físicos apresentaram propostas de experiências capazes de revelar, ou de infirmar, a existência do Higgs no LHC (Large Hadron Collider). O “Compact Muon Solenoid” (CMS) e os precursores do que seria mais tarde o detector ATLAS foram apresentados pela primeira vez. Foi o início de um longo percurso seguido por vários cientistas portugueses do LIP (Laboratório de Instrumentação e Partículas) que na primeira hora se associaram às experiências no LHC, entre os quais se podem citar o Prof. Gaspar Barreira, director do LIP, a Prof. Amélia Maio, coordenadora do grupo em ATLAS, e o autor, coordenador do grupo em CMS.

Durante cerca de 20 anos, colaborações científicas mundiais – que têm hoje cerca de 3500 cientistas cada, de mais de 180 universidades em 40 países – organizaram-se para conceber, desenvolver e construir instrumentos científicos fora do comum<sup>1</sup>. Em paralelo, os engenheiros do CERN construíram um acelerador fantástico, baseado num anel de magnetos supercondutores instalados num túnel de 27 km, operando a uma temperatura próxima do zero

<sup>1</sup> Ver “O LHC vem aí”, J. Varela, Gazeta de Física 31, núms. 1/2 (2008).

absoluto, e capaz de colidir dois feixes de prótons circulando em sentidos opostos à velocidade da luz. A energia das colisões é quatro vezes superior à do maior acelerador anterior (Tevatron, Chicago), ou seja 8 TeV, prevendo-se que em 2014 aumente para 14 TeV.

Nas colisões entre dois prótons a energia cinética destes converte-se em matéria, originando a criação de uma grande número de partículas (em média cerca de 50 partículas são criadas em cada colisão). A equivalência entre energia e massa –  $E=mc^2$  – estabelecida por Einstein é directamente observada nas colisões do LHC. Os produtos das colisões são registados e medidos pelos detectores ATLAS e CMS, colocados respectivamente nas zonas de colisão 1 e 5 do LHC.

Em tempo recorde o LHC atingiu a *luminosidade*<sup>2</sup> equivalente a meio bilião de colisões por segundo, vencendo inúmeros desafios. Uma das chaves na descoberta do Higgs é esta capacidade do LHC de realizar um número fenomenal de colisões. Só desta forma é possível aceder a fenómenos raríssimos, como a criação do bosão de Higgs que se prevê acontecer em média apenas numa entre  $10^{10}$  colisões.

Os aceleradores anteriores, nomeadamente o LEP no CERN, Genebra, e o Tevatron no Fermilab, Chicago, falharam a observação do Higgs pois não tinham ou energia suficiente, o caso do primeiro, ou luminosidade suficiente, no caso do segundo. Ao fim de cerca de vinte anos de melhoramentos o Tevatron atingiu a sua luminosidade máxima, a qual fica ainda 25 vezes abaixo da luminosidade nominal do LHC.

O LHC realizou as primeiras colisões à energia de 7 TeV em Março de 2010, mas só em 2011 atingiu uma luminosidade comparável à luminosidade nominal, se bem que ainda três vezes inferior. Em 2012 a energia do acelerador subiu para 8 TeV e a luminosidade atingiu cerca de 70% do valor nominal.

Uma vez os detectores afinados e a funcionar extremamente bem, o que fora conseguido em 2010, o desafio para os experimentalistas em CMS e ATLAS consistiu então na análise de gigantescos volumes de dados, correspondentes a algumas dezenas de biliões de eventos colectados. Objectivo: encontrar as poucas centenas de colisões em que possivelmente foram criados bosões de Higgs. Nestes raros casos, o Higgs desintegra-se quase instantaneamente, decaindo em partículas que são detectadas e medidas no detector, e a partir das quais é possível medir as propriedades da partícula que lhes deu origem, em particular a sua massa.

<sup>2</sup> Luminosidade é um parâmetro do acelerador proporcional à taxa de colisões que se produzem. Depende da intensidade dos feixes e da sua secção transversal.

Uma medida do desempenho dos detectores, incluindo o hardware, software e sistemas de computação, e da sofisticação das análises de dados, é dada pelo facto de a descoberta desta partícula ter sido feita a metade da energia nominal do acelerador e com cerca de um terço da luminosidade total que se previa ser necessária para tal.

Este sucesso é um tributo aos milhares de cientistas e às várias gerações de jovens investigadores que transformaram um projecto no papel em instrumentos notáveis que produziram um resultado histórico. Nunca anteriormente tinha o modelo colaborativo em ciência atingido tal proporção. O enorme potencial deste modelo ficou amplamente demonstrado.

É também ocasião de prestar homenagem à cerca de centena e meia de físicos, engenheiros e estudantes de investigação portugueses que nos últimos vinte anos, de alguma forma ou nalgum período, colaboraram no esforço nacional neste imenso empreendimento. Deve-se a estes actores anónimos, muitos com enorme talento, do LIP e de outras instituições e universidades portuguesas, o imenso orgulho de estarmos na linha da frente, de forma visível e reconhecida, nesta incrível aventura.

## Pesquisando o bosão de Higgs

A massa do bosão de Higgs não é prevista pelo MP mas várias considerações gerais sugeriram que este valor deve ser inferior a 1 TeV. As pesquisas realizadas na década de 90 no LEP estabeleceram um limite inferior de 114 GeV, e no Tevatron uma pequena região em torno de 160 GeV foi também excluída. As pesquisas feitas em 2011 no LHC à

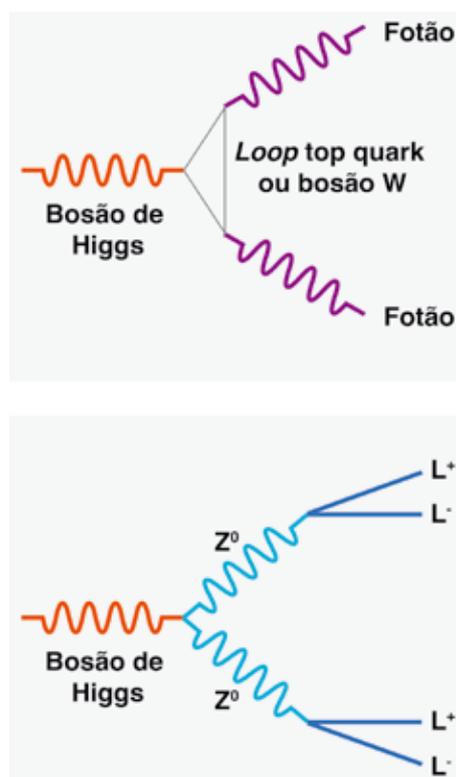


Fig. 1 - Ilustração dos canais de decaimento do bosão de Higgs. Em cima: decaimento em dois fotões; em baixo: decaimento em dois bosões Z, que por sua vez decaem em pares de leptões.

energia de 7 TeV por ATLAS e CMS excluíram a existência do Higgs num largo intervalo de massa entre 110 e 600 GeV, à excepção de um pequeno intervalo em torno de 125 GeV onde se observou um pequeno excesso de eventos. Este excesso poderia ser devido a uma flutuação estatística dos processos de fundo ou ao efeito de uma nova partícula.

O MP prevê que o Higgs de desintegra (decai) dando origem a outras partículas, por exemplo *dois fotões* ou *dois bosões Z* (ver Figura 1). Cada uma destas possibilidades, bem como várias outras, designadas de *canal de decaimento*, tem uma probabilidade de ocorrência prevista pelo modelo. Por sua vez, os bosões Z decaem numa certa fracção dos casos (6,7%) em pares electrão-positrão ou em pares de muões (electrões e muões são genericamente designados por leptões). O fotão é uma partícula estável directamente observada nos detectores.

As pesquisas de eventos com dois fotões ou quatro leptões eram as mais promissoras, pois a medição de fotões e de leptões é feita com grande precisão. Isto permite calcular para cada evento a massa da partícula que lhes deu origem (se for o caso) com muito boa resolução, e procurar estatisticamente uma acumulação de eventos nalgum valor de massa.

O problema é que há vários outros processos físicos que dão origem a dois fotões ou a quatro leptões, e que são muitíssimo mais prováveis que a criação do bosão de Higgs. Designamos estes processos por *fundo*. Um dos objectivos principais das análises é reduzir este fundo através de critérios de selecção de eventos definidos de forma a maximizar a razão do sinal (Higgs) relativamente ao fundo. Outro problema é que mesmo após esta selecção não é possível dizer, colisão a colisão, se foi criado um Higgs, ou se as partículas observadas correspondem a outro processo físico de fundo que, com uma certa probabilidade, conduz às mesmas partículas finais. Apenas estatisticamente se consegue determinar a presença de uma nova partícula.

Se fizermos corresponder a cada colisão um grão de areia, então os grãos de areia correspondentes às colisões no LHC durante um ano enchem uma piscina olímpica. A pesquisa do Higgs equivale a encontrar na piscina uma centena de grãos de areia especiais. Este é aproximadamente o número de Higgs produzidos e detectados nas experiências no LHC. A situação é semelhante a perguntar se entre os biliões de grãos de areia na piscina há uma pequeníssima quantidade de grãos especiais caracterizados por um valor preciso da sua massa, mas cujo valor se desconhece. Em geral, os grão de areia podem ser maiores ou menores e têm massas diferentes. Dizemos que têm uma distribuição de massa contínua entre certos valores mínimos e máximos. Se medirmos as massas de muitos grãos de areia e a sua distribuição apresentar um excesso (um pico) num valor de massa preciso, aí ficamos a saber que entre os grãos de areia há alguns de um tipo especial.

## O anúncio da descoberta

Entre Março e Junho de 2012 as experiências tinham acumulado uma estatística equivalente à que tinha sido conseguida em 2011, cerca de 5 fb<sup>-1</sup> adicionais<sup>3</sup>. O software de

reconstrução tinha sido melhorado e os algoritmos de *trigger* foram preparados para seleccionar os eventos a escrever em disco com grande eficiência, fazendo face a condições experimentais mais difíceis em 2012. As análises dos vários canais de decaimento foram significativamente melhoradas, permitindo nalguns casos aumentar a sensibilidade<sup>4</sup> de detecção do Higgs em 40-50%.

Depois da campanha de 2011 sabíamos que, a existir, o Higgs teria massa entre 114 e 127 GeV. De forma a evitar qualquer possibilidade de enviesar os resultados e de aumentar artificialmente o excesso de eventos, em 2012 a optimização das análises foi feita com dados simulados ou com dados reais em zonas de controlo, sem poder ver o resultado nesta região de massa – um procedimento designado por *blinding* (esconder).

O dia 15 de Junho foi o dia H da experiência CMS, um dia de drama e emoção, em que se fez o *unblinding*. Os resultados foram revelados de manhã por jovens investigadores que tinham passado a noite anterior a correr as análises e a refazer os gráficos sem o procedimento de *blinding*. Ao ver os espectros de massa dos dois canais de alta resolução (di-fotão e ZZ) as centenas de pessoas presentes no CERN ou conectadas por vídeo-conferência ficaram extasiadas – a nova partícula era claramente visível!

Mas o excesso não ultrapassava o nível necessário para poder anunciar sem ambiguidade a descoberta do novo bosão. Este nível é de 5 *desvios padrão*<sup>5</sup> relativamente ao fundo, o que corresponde a uma probabilidade de um em três milhões de que uma flutuação estatística do fundo produza o excesso observado. Ou seja, uma probabilidade muito pequena. Os físicos estabeleceram que só acima deste nível se pode afirmar ter feito uma descoberta.

Para obter o resultado de 15 de Junho foram utilizados os primeiros 3 fb<sup>-1</sup> de dados de 2012, e em disco tínhamos dados de 2 fb<sup>-1</sup> adicionais. Estimámos que se incluíssemos estes dados adicionais e se o excesso fosse de facto devido ao Higgs, atingiríamos os famosos 5 sigma.

A grande conferência anual da física de partículas começaria a 4 de Julho em Melbourne na Austrália. Tínhamos menos de três semanas até lá. Em CMS decidimos apresentar os resultados com a estatística completa até à paragem técnica do LHC prevista para 19 de Junho (ATLAS tomou a mesma decisão). Uma boa parte da colaboração foi mobilizada para este esforço. Os dados dos 2 fb<sup>-1</sup> adicionais foram

<sup>3</sup> Femtobarn inverso (fb<sup>-1</sup>) é uma unidade de luminosidade acumulada. 1 fb<sup>-1</sup> corresponde a cerca de 10<sup>14</sup> colisões.

<sup>4</sup> A sensibilidade quantifica o poder de identificação de um dado processo, neste caso a criação do bosão de Higgs.

<sup>5</sup> Desvio padrão é uma grandeza estatística representativa das flutuações de uma variável.

reconstruídos e validados, os programas de análise foram executados, e os gráficos refeitos com a totalidade dos dados. A documentação de cada análise foi posta em dia, os comités de revisão de análise (ARC) deram luz verde depois de cuidadoso escrutínio, e os resultados foram apresentados à colaboração para aprovação, em sessões contínuas numa maratona de vários dias. Nalguns casos não foram aprovados à primeira e foram necessárias várias iterações até convergirem. O processo de aprovação de resultados nestas colaborações científicas é extremamente rigoroso, para que não haja dúvidas sobre a certeza dos resultados.

De comum acordo entre a direcção do CERN, as direcções das colaborações CMS e ATLAS, e os organizadores da conferência ICHEP<sup>6</sup>, foi decidido que os resultados seriam apresentados pela primeira vez num seminário no CERN, tal como é tradição neste laboratório para os todos os seus resultados, retransmitido para a ICHEP à hora da sessão de abertura da conferência. O seminário de 4 de Julho começou às nove da manhã em Genebra, quando eram seis da tarde em Melbourne. Às onze horas, no fim das apresentações de CMS e de ATLAS, o CERN divulgou o comunicado de imprensa.

## Resultados e perspectivas

O resultado final, que revelou um excesso de eventos na massa de 125 GeV com uma significância de 5 sigma relativamente ao fundo em cada uma das experiências, resultou da combinação das várias análises de pesquisa do Higgs em diferentes modos de decaimento. A Figura 2 mostra o espectro de massa de pares de fótons da experiência CMS, e a Figura 3 mostra o espectro de massa de quatro leptões do par ZZ na experiência ATLAS. Ambos revelam um excesso (pico) próximo de 125 GeV. Resultados equivalentes são obtidos nas duas experiências (di-fótons em ATLAS e ZZ em CMS). As Figuras 4 e 5 mostram a significância do sinal em CMS e ATLAS. Em ambos os casos o valor a 125 GeV é superior a 5 sigma<sup>7</sup>.

Mas será o bóson de Higgs? Sabemos que é um bóson, pois apenas bósons decaem em pares de fótons ou de Z's. Não tem spin 1, pois uma partícula com este spin não pode decair em dois fótons. Se for um bóson de Higgs o spin será 0. Os dados a recolher até ao final de 2012 deverão ter estatística suficiente para permitir a medida do spin. Conhecida a massa do Higgs é possível prever a sua taxa de produção e as fracções de decaimento nos vários canais. Se a teoria estiver certa, dividindo o valor experimental pela previsão do devemos ob-

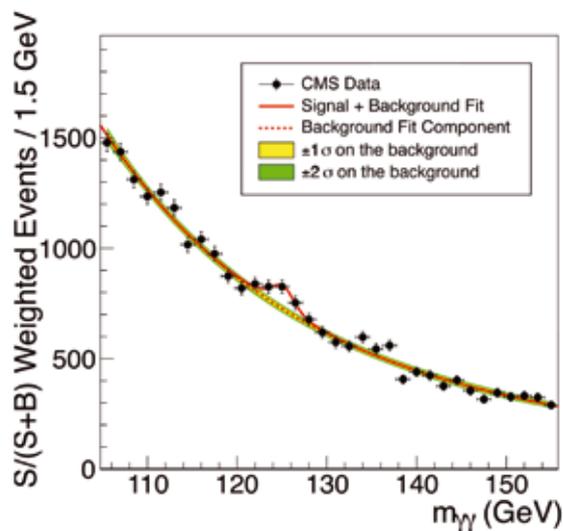


Fig. 2 - Distribuição de massa dos pares de fótons ( $\gamma\gamma$ ) nos dados colectados por CMS em 2011 e 2012 (pontos pretos com barras de erros). A linha vermelha contínua mostra o resultado para sinal + fundo; a linha vermelha tracejada mostra apenas o fundo.

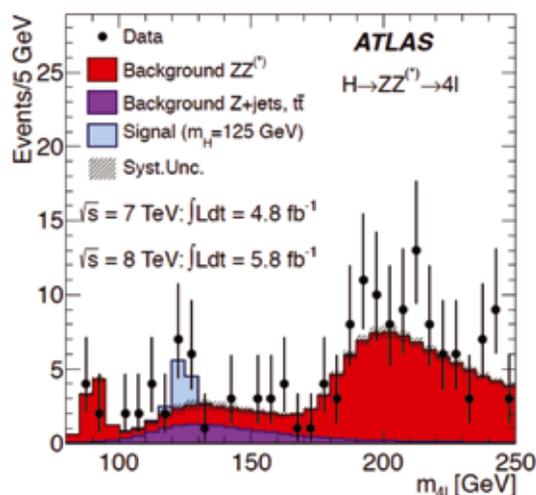


Fig. 3 - A distribuição da massa de quatro leptões (pontos pretos com barras de erros) em comparação com a expectativa do fundo medida na experiência ATLAS com os dados de 2011 e 2012 (histograma encarnado). A expectativa do sinal para um bóson de Higgs com massa 125 GeV também é mostrada (histograma azul claro).

ter um valor compatível com 1. O resultado para a taxa de produção de CMS é de  $0,87 \pm 0,23$  e o de ATLAS é  $1,4 \pm 0,3$ . Ou seja, os resultados são compatíveis com 1<sup>8</sup>.

Mas por outro lado ambas as experiências observam valores superiores a 1 no canal com dois fótons, embora com um erro grande. Será que a nova partícula é do tipo Higgs mas não exactamente como o modelo padrão prevê? É possível que brechas no modelo padrão venham a ser expostas. A partícula de Higgs pode ser uma porta de entrada para um novo território ainda desconhecido. As experiências no LHC vão continuar esta exploração nos próximos anos.

<sup>6</sup> International Conference on High Energy Physics

<sup>7</sup> Os resultados finais incluem outros canais de menor sensibilidade igualmente estudados a que não fizemos referência neste artigo.

<sup>8</sup> O erro indicado nos resultados experimentais corresponde a 1 desvio padrão. Diz-se que os resultados são compatíveis com a previsão quando a diferença entre os dois é da ordem de grandeza de 1 desvio padrão ou inferior.

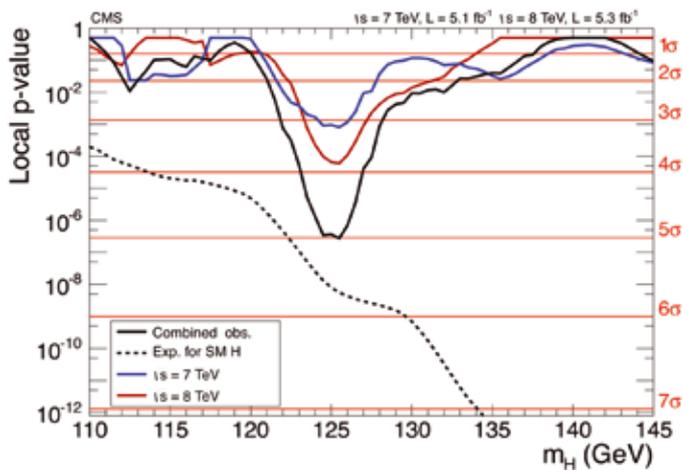


Fig. 4 - Probabilidade observada (valor-p local) de apenas o fundo produzir os mesmos eventos ou mais, tal como observado nos dados de CMS, em função da massa do bóson de Higgs, para a combinação de todos os canais pesquisados (linha preta). Linhas vermelhas e azuis mostram valores equivalentes para os dados de 7 TeV e 8 TeV isoladamente. A curva tracejada mostra o valor-p esperado na hipótese de um sinal do bóson de Higgs ser produzido, em função da massa. As linhas horizontais indicam os valor-p correspondentes a significâncias de 1 a 7 sigma.



**Prof. João Varela,**  
 professor no Departamento de Física do IST e investigador científico no LIP, é actualmente vice-director da Colaboração CMS no LHC, e coordenador do grupo português, do LIP, nesta Colaboração.

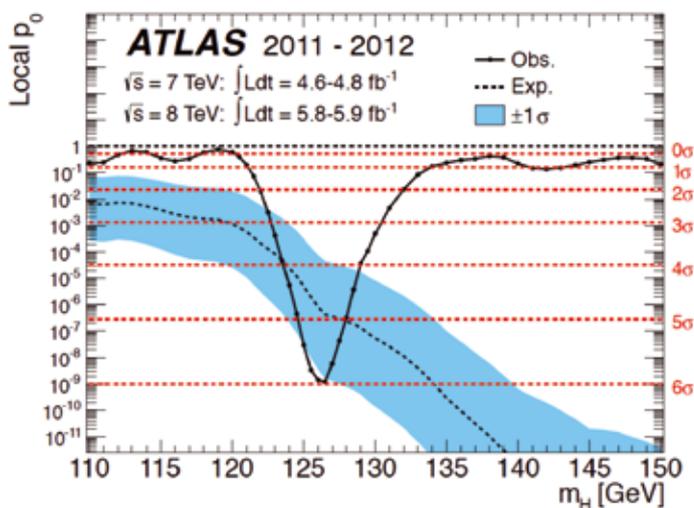
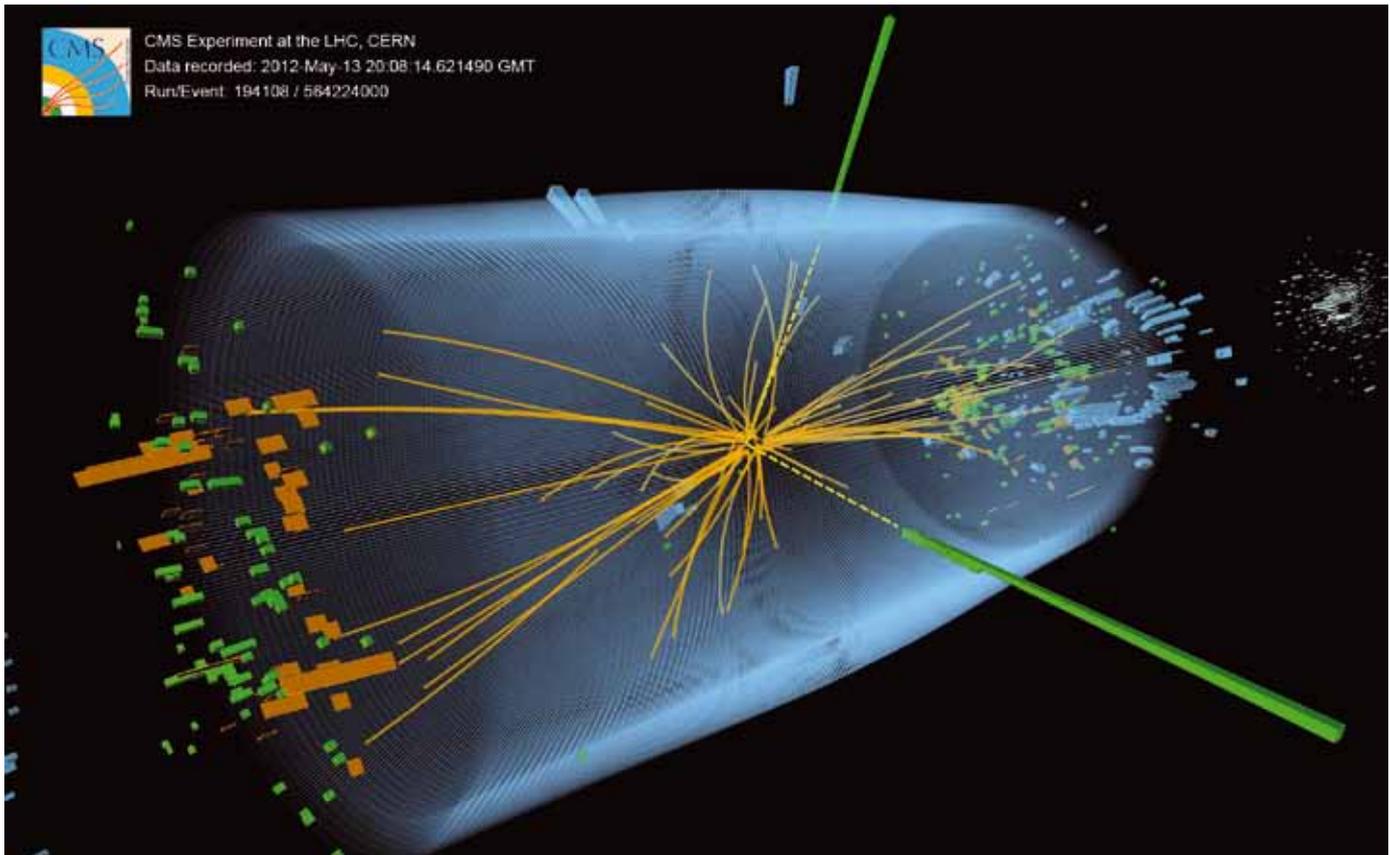
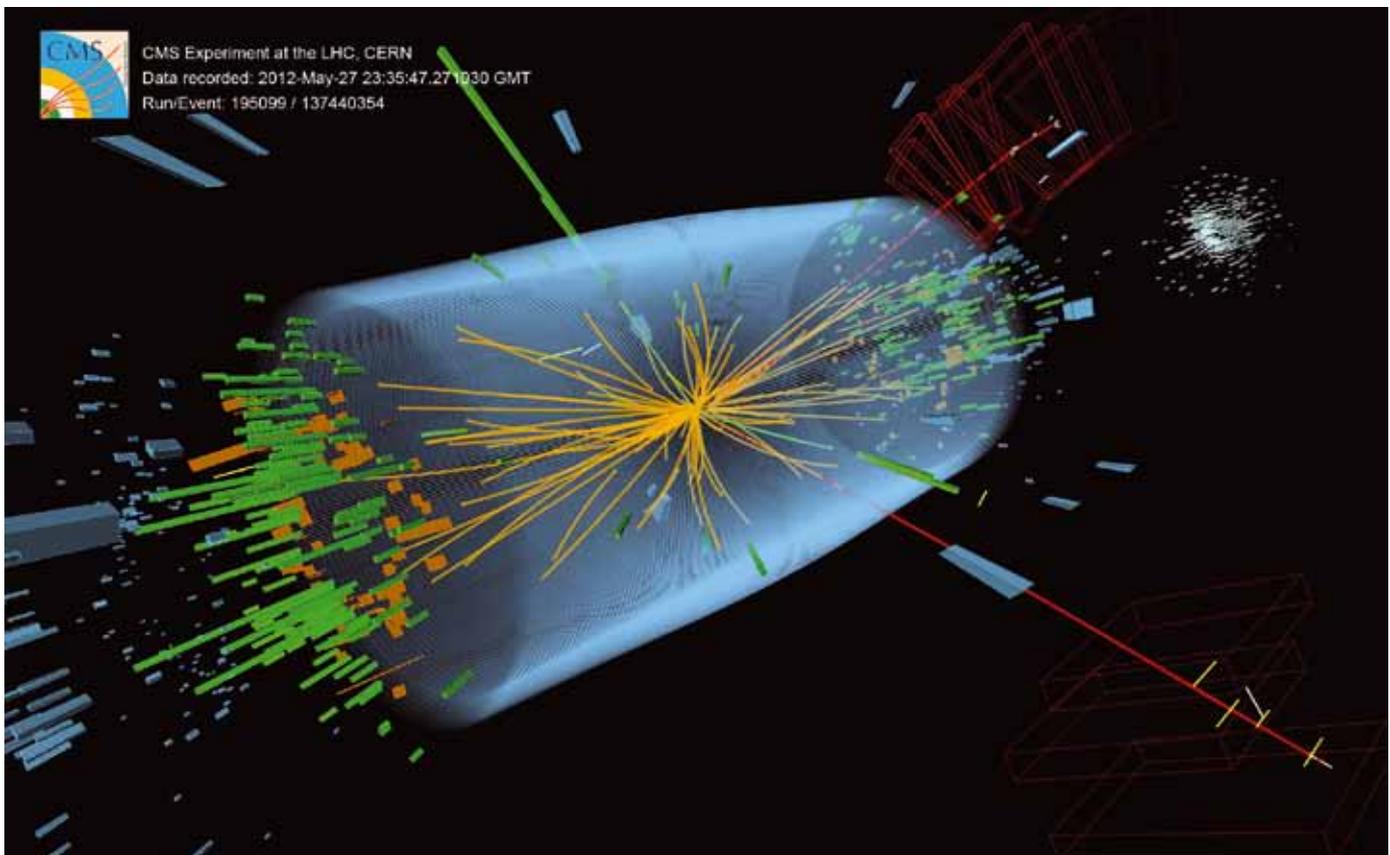


Fig. 5 - Probabilidade observada (valor-p local) de apenas o fundo produzir os mesmos eventos ou mais, tal como observado nos dados de ATLAS, em função da massa do bóson de Higgs, para a combinação de todos os canais pesquisados (linha preta). A curva tracejada mostra o valor-p esperado na hipótese de um sinal do bóson de Higgs ser produzido, em função da massa. As linhas horizontais indicam os valor-p correspondentes a significâncias de 1 a 6 sigma.



Evento registado com o detector CMS em 2012 numa colisão protão-protão à energia no centro-de-massa de 8 TeV. O evento apresenta as características esperadas do decaimento do bosão de Higgs num par de fotões (linhas tracejadas amarelas e torres verdes). O evento também pode ser devido a outros processos de fundo.



Evento registado com o detector CMS em 2012 numa colisão protão-protão à energia no centro-de-massa de 8 TeV. O evento apresenta as características esperadas do decaimento do bosão de Higgs num par de bosões Z, um dos quais posteriormente decaí num par electrão-positrão (linhas verdes e torres verdes) e o outro Z decaí num par de muões (linhas vermelhas). O evento também pode ser devido a outros processos de fundo.

# Entrevista a José Veiga Simão - parte II

por Teresa Peña, Conceição Abreu e Gonçalo Figueira (fotografias)

Neste número publicamos a 2ª parte da entrevista a José Veiga Simão, cobrindo o período desde 1970 até à actualidade. Neste intervalo, em que Portugal conheceu alguns dos anos mais turbulentos da sua história recente, Veiga Simão desempenhou cargos ministeriais no Governo Português, antes e depois de 1974. Aqui fala-nos dessa experiência, da sua visão sobre aspectos como o ensino, a investigação, a indústria e a economia, e de como a sua formação como físico contribui para essa visão.

## Parte III – Lisboa

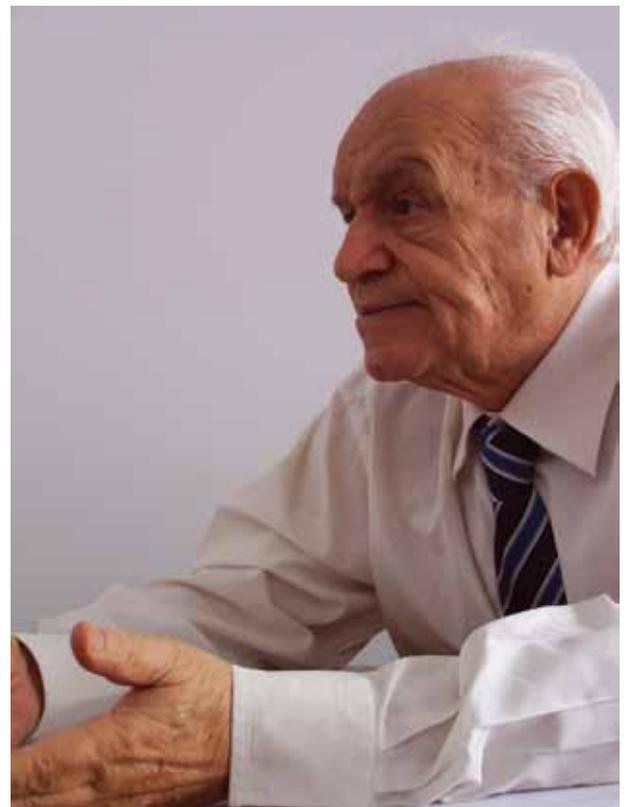
Em 1970 aceitou ser Ministro da Educação Nacional, apesar de na altura ser considerado um liberal e Portugal viver um governo de ditadura.

É conhecido que a “primavera marcelista” representou para muitos, e também para mim, uma oportunidade singular da evolução do regime. Essa evolução, como referi em discursos e entrevistas públicas, tinha um nome: Democracia. Este posicionamento determinou aliás a colaboração de diversas personalidades de que destaco os deputados da ala liberal como Sá Carneiro, Miller Guerra, Pinto Machado, Francisco Balsemão, Magalhães Mota, Correia da Cunha... O mesmo aconteceu com outras personalidades que foram membros do governo, designadamente secretários de Estado e altos funcionários de vários ministérios como foi caso da Educação Nacional. Recordo que muitos deles foram ministros e secretários de Estado da III República, após Abril.

Aceitei o exercício do cargo com o firme propósito de proceder a uma Reforma da Educação, a qual tinha por lema “Uma pessoa mais culta é uma pessoa mais livre” e que obedecia a uma estratégia definida já em 1910 pelo filósofo e matemático Whitehead: *Uma Nação que não cultiva a inteligência está perdida...*

Como professor e investigador, influenciado pela cultura democrática anglo-saxónica e consciente dos atrasos que caracterizavam os nossos universos educativo e científico, consciente de que a guerra no Ultramar, após a defesa legítima das populações, devia evoluir para uma solução política de que a federação de Estados com larga autonomia era um primeiro passo, entendi, também, que podia dar a minha contribuição para a evolução de um regime que já não se auto-qualificava de Estado Novo mas de Estado Social.

Estas ideias não são expressas agora em 2012, elas constam dos meus discursos como Ministro, publicados entre 1972 e 1974 nos livros “Educação... Caminhos da Liberdade”; “Democratização da Educação-Sonho de Ontem,



Lei de Hoje, Força do Amanhã” e “Meu Povo, Meu Pensamento”. Aliás Sá Carneiro em textos publicados em 24 de Março de 1973 fez o seguinte comentário: “A julgar pelo que os jornais publicaram do discurso proferido em Bragança, no passado dia 17, a democratização do ensino foi integrada por Veiga Simão na questão da democratização social, económica e política. É que não se trata apenas de estabelecer entre os portugueses a igualdade quanto à instrução: trata-se sim de democratizar pelo ensino.” E continua: “afirmou-o o ministro, segundo os jornais noticiaram nos seguintes termos: direito à

educação, igualdade de oportunidades para o pobre e para o rico, direito à saúde, direito à liberdade, direito ao salário que permite viver com dignidade; amor à Pátria e ao trabalho deveres para os que nos rodeiam, criando para eles e para nós uma comunidade onde impera a justiça e, onde, através da educação se construa uma sociedade democrática.”

Este foi o meu pensamento como Ministro da Educação Nacional, esta foi a razão para o exercício de cargo.

A evolução não foi como eu pretendi, o 25 de Abril interpretado pelos militares nas circunstâncias que se conhecem, abriu uma nova era... Confesso porém que passados 38 anos, em 2012, a *Democracia que continuamos a desejar, apesar de inegáveis progressos, continua por cumprir. Está doente e a ser tratada ao pormenor por doutores estrangeiros.*



Na Emissora Nacional em 1971 (Reforma Educativa) (cortesia de J. Veiga Simão).

Um dos seus grandes legados foi a reforma educativa, que marcou para sempre o país. Como é que pensou essa reforma?

A Reforma da Educação foi impulsionada pelo meu percurso de vida e permaneceu sempre *em nós do fio da minha memória*. A vivência da sociedade inglesa e a convivência com outras sociedades democráticas apontavam para responsabilidades como cidadão perante a “inteligência congelada nos ribeiros do interior” no dizer de Aquilino Ribeiro – a quem prestei homenagem nas terras do Demo, dando o seu nome a uma Escola perante a estupefacção e as objecções de muitos. As responsabilidades eram ainda crescentes perante a “inteligência aprisionada nas savanas ou em bairros de lata nos subúrbios das cidades”.

A Reforma da Educação de 1970 honrou, ainda, os ideais da I República, de acordo com os quais *um homem vale pela educação*. Foi, por isso, que perante a falta, ao tempo, de normas constitucionais, o direito à educação, a igualdade de oportunidade e o acesso pelo mérito foram consagrados na primeira Lei de Bases do Sistema Educativo do nosso País. A Reforma expandiu e diversificou a educação; retomou da I República a institucionalização da

educação pré-escolar; conferiu “igualdade social” mantendo e modernizando a “diversidade curricular” entre o ensino liceal e o ensino técnico-profissional; expandiu e diversificou o ensino superior com a criação de novas universidades, de institutos politécnicos e de escolas normais superiores, designação destas a homenagear a I República.

Tenho pena de que nos primeiros anos pós-Abril a Educação se tivesse transformado num laboratório de experiências ideológicas onde uma osmose perversa entre progressistas e reaccionários determinou um atraso que só foi parcialmente recuperado com a Lei de Bases do Sistema Educativo de 1986.

A sua concretização seguiu o sonho inicial, ou antes, ficou aquém ou além desse sonho?

Os sonhos que alimentam a vida nunca se concretizam na totalidade. A Reforma, como disse, resultou de uma observação e vivência de terras e de pessoas em lugares muito diferentes, nunca tendo esquecido os “sabores do granito”. Este sabor do granito colhido na cidade da Guarda e na aldeia de Prados da Serra, aldeia de meus pais, temperado na Lusa Atenas com a camaradagem académica, assentou numa base inigualável: o desígnio dos meus pais em educar os filhos. Esse desígnio foi sublimado na “velha e sempre nova Democracia inglesa” através de cultura que me foi transmitida na Universidade de Cambridge, onde tive oportunidade de recolher não só ensinamentos académicos mas também os aprendidos em convivência impar com o carácter britânico enriquecido pela luta contra o monstro nazi e a que se juntou, por mero acaso, o conhecimento da tragédia do povo polaco, um povo em sofrimento às mãos dos campos de concentração alemães e soviéticos... É que famílias inglesas e polacas foram meus senhorios.

Mas, acima de tudo, em Inglaterra reforcei a ideia de que a construção de um País deve assentar numa estratégia da educação e formação e num serviço nacional de saúde, modeladamente organizado, de que eu e a Madalena beneficiámos. É que em Inglaterra nasceu a nossa primeira filha, Luísa.

Por outro lado, mais tarde o exemplo dos portugueses que combatiam e dos que trabalhavam em Moçambique, as aspirações legítimas da população no desejo de progresso deram origem a que sonhasse com um projecto para o meu País, a que fui sempre fiel, com independência de pensamento: o direito à felicidade que passa pela educação. Afinal acabei apenas por ir ao encontro da herança que os meus pais me legaram.

Numa análise sumária posso dizer, em concreto, que a Reforma Educativa programada para uma década teve quatro anos de vida em continuidade, sendo executada em cerca de 50%, conforme se pode concluir de uma análise rigorosa dos resultados obtidos. Muitos objectivos foram retomados mais tarde, mas muito tempo se perdeu. Aliás uma leitura do IV Plano de Fomento (1974 a 1979) consubstancia este meu pensamento.

Em particular tenho pena, por exemplo, de que ainda hoje não tenhamos *um canal de TV só para a qualificação dos*

portugueses, conforme estava previsto, com verbas atribuídas e que se perderam em investimentos irrecuperáveis derivados de os governantes não terem dado conta das consequências do primeiro choque petrolífero de 1973... A verdade é que ao longo dos tempos os governos raramente tiveram consciência da verdadeira utilidade e rentabilidade dos investimentos públicos. Infelizmente os erros têm-se repetido, digo melhor, agravado pelo que, hoje, uma troika obrigou-nos a ler e a assinar um *memorandum* a que não pudemos fugir... Não vivemos em País exíguo mas sim em Democracia exígua.



Em 1973, a condecorar o Ministro da Educação Francês, Joseph Fontanet em 1973 (cortesia de J. Veiga Simão).

### Foi necessário e difícil “contornar” a ideologia do regime?

A estratégia por mim adoptada, correspondendo às condições colocadas para aceitação do lugar, foi o de com clareza privilegiar *a evolução contra a continuidade*. Este posicionamento tem factos simbólicos que o definem. Permito-me citar um ou outro. Numa reunião de professores no Algarve, quando um amigo meu de Coimbra da oposição ao regime me interpelou dizendo: “Oh Zé, sabes que eu sou da oposição mas estou contigo na Reforma”; eu respondi-lhe: “Caro Campos Coroa (era médico escolar) a Reforma está aberta a todos os portugueses qualquer que seja a sua ideologia política”. A carta que recebi de Marcello Caetano nessa altura revela as pressões conservadoras a que estava sujeito.

Menciono também um artigo do *Manchester Guardian* de 1 de Março de 1974 intitulado: “Educação que coloca a autocracia em risco: um plano revolucionário”. Nessa entrevista foi-me perguntado o que pretendia com a democratização do ensino e a criação de novas universidades e o que pretenderiam os seus diplomados. James MacManus, o jornalista relata: “O Ministro respondeu numa palavra: Democracia”. As críticas foram muitas.

Permito-me, por último, mencionar que em Conselho de Ministros quando foi discutido o decreto-lei da expansão e diversificação do ensino superior, um dos meus colegas criticou-me dizendo que o que eu pretendia era espalhar

a subversão pelo País... Por seu lado outro colega, aliás professor universitário, comentou que eu estava desactualizado porquanto a política europeia, designadamente em países como a Inglaterra e a França, após Maio de 1968, estavam a retroceder na política educativa e eu pretendia exactamente o contrário...

Acresce que a minha postura frontal de não aceitar os “carimbos vermelhos da PIDE” que impediam contratar professores e funcionários, ao exigir de que me tinham de “explicar os crimes que tinham cometido” e que não aceitava “razões de pensamento político” mas só “condenações em tribunal comum”, deu origem a pressões e polémicas enormes. Marcello Caetano dava-me conselhos de prudência, escrevia-me cartas mas acabava por aceitar as minhas posições. Foram centenas os que beneficiaram desta minha atitude. Não me devem nada; eu apenas cumpro o dever para comigo.

São conhecidos também, por se terem tornado públicas, as minhas divergências com o Ministério do Interior, mas esses problemas tem “faces diferentes” pois os intérpretes de acontecimentos ligados a crises académicas uns defendiam a liberdade e a democracia, mas outros eram militantes de outras ditaduras ou da anarquia... A guerra do Ultramar acabou por dar origem a episódios que me ultrapassaram. O Gabinete do Chefe do Estado-Maior General das Forças Armadas, General Costa Gomes, transmitia-me pessoalmente e por documentos preocupações legítimas na defesa da honorabilidade dos soldados portugueses.



### Em que é que o seu doutoramento em física determinou o espírito dessa reforma?

É uma questão interessante que se pode encarar por diversos ângulos. Dando asas ao pensamento direi que a Física está muito próxima da Filosofia. Não é por acaso que em 1958, logo após os meus dois doutoramentos, um em Cambridge e outro em Coimbra, escrevi um artigo na Revista *Humanitas*, da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, intitulado “A Física Atómica e os Gregos”. Entre

outros aspectos nele salientava que “pensadores notáveis como Sir James Jeans, Bertrand Russell e Anton von Mörl nos seus livros famosos “Growth of Physical Science”, “History of Western Philosophy” e “The Birth of Science”, respectivamente, atribuíram papel de extraordinário relevo à influência clássica no pensamento científico ao longo dos tempos.

No caso português era e é notória a falta de formação científica da maioria dos políticos portugueses, mesmo em assuntos de cultura geral de base, como por exemplo os relacionados com a origem da vida, a estrutura da matéria, a origem do Universo, a entropia e a morte do Universo, as leis da Natureza e a sua capacidade de regeneração, a lógica de três valores, a energia e os limites do desenvolvimento, as fragilidades e as potencialidades da Economia como Ciência, o significado do princípio da incerteza de Heisenberg, a cultura da qualidade e a sua mensurabilidade. Para muitos a cultura literária historiográfica e jurídica são mais do que suficientes. A verdade é que o segredo está no equilíbrio criativo entre a cultura científica e a cultura humanística. Infelizmente, o desequilíbrio entre estes tipos de formação agravou-se nos últimos trinta anos. É penoso verificar que os debates em momentos de crise, interpretados por políticos actuais e por comentadores, designados por politólogos, mas na sua maioria *tudólogos* (sabem tudo sobre *fait divers*), emitem sentenças sobre factos políticos e sobre actos praticados por artistas do futebol.

Em síntese, tudo isto serve para revelar que a cultura da Física que me foi transmitida quer pela Escola de Ciência de Cambridge (Cavendish Laboratory) quer pela Escola de Ciência de Coimbra (Laboratórios de Física e Química), me ensinou quão útil era aprender com o passado e saber correr riscos na construção do futuro, para o que era essencial formar equipas com a ambição. O lema era fazer melhor aproveitando o que de bom tenha sido feito e que os passos seguros deviam ser dados recolhendo lições da experiência. Este posicionamento é hoje contrariado pela emergência de uma “partidocracia” que privilegia “motivações individualistas”. Daí que todos queiram começar a construir “mundos novos”, donde tem resultado a destruição progressiva de tudo o que possa representar o “Estado inteligente”. É o caso dos gabinetes de estudo e planeamento, dos laboratórios de Estado, do nível de qualidade da maioria dos directores gerais, presidentes e conselhos de administração de organismos da administração indirecta e autónoma do Estado e das empresas públicas.

A situação resultante recorda-me a explicação que, por falta de conhecimento, era dada ao fenómeno da ionização na química: “os iões passam uns pelos outros como os dançarinos pelas dançarinas nas danças antigas chamadas quadrigas ou *grand-chain*”. E assim é hoje nas trocas de lugares, pois

que o negócio comanda a política e os políticos já falam do seu valor no mercado.

A consequência trágica é que este “clima de governação” desconhece as lições que a teoria da relatividade traz para o sucesso de qualquer modelo de desenvolvimento. É patente a ignorância de que a civilidade deixou de ser bidimensional ou mesmo tridimensional para ser quadridimensional, integrando o factor tempo. Ainda não se compreendeu que quem não faz as coisas a tempo está perdido.

#### Como resumiria para um jovem de hoje o melhor do seu trabalho como Ministro da Educação Nacional?

Rómulo de Carvalho, Gedeão, no seu excelente livro sobre a “História da Educação em Portugal” escreveu uma síntese sobre a Reforma Educativa que, como sempre saliento, tive a honra de protagonizar com uma equipa de eleição. É dele o poema onde se diz que “o sonho comanda a vida”. Os textos dos meus livros anteriormente referidos traduzem não só o sonho de que um “Homem mais culto é um Homem mais livre” mas também a constatação de que a maior vitória dessa cruzada foi a de ter despertado a consciência de todos os portugueses para o *direito à educação*. Foi o que transmiti a Marcello Caetano na sua visita ao Ministro da Educação Nacional em Fevereiro de 1974.

É por esse direito na sua plenitude, consagrado constitucionalmente, que com civismo os estudantes de hoje devem lutar sem tréguas. Não resisto a mencionar estas palavras transcritas em entrevista a Joaquim Letria ditas em Londres, aquando da minha visita de Estado a convite de Margareth Thatcher, Ministra da Educação de Edward Heath (e que foram reproduzidos no *Expresso* e no *Diário de Lisboa*): “quando se contestam as estruturas para uma melhoria do ensino, sou pela contestação estudantil”. E não resisto a citar Antero Quental: “o nome da mudança é revolução: revolução não quer dizer guerra mas sim paz; não quer dizer licença, mas sim ordem; ordem verdadeira pela verdadeira liberdade”. É que só o trabalho livre é fecundo; e o jovem deve ter direito à educação e ao trabalho. A responsabilidade é de todos nós.



Em 1974, entregando as credenciais de embaixador de Portugal na ONU ao secretário-geral Kurt Waldheim (cortesia de J. Veiga Simão).

Tem acompanhado a evolução, dos tempos da sua reforma até aos dias de hoje, do ensino da ciência no ensino secundário?

São passados quase quarenta anos sobre a Reforma Educativa que, ao contrário do que alguns pensam, começou logo a 15 de Janeiro de 1970. A estratégia na altura prosseguida foi a de que a promulgação da Lei de Bases do Sistema Educativo coroava legislação, medidas e acções reformistas, abrangendo todo o sistema educativo. A Lei consagrou como referi o direito à educação, a igualdade de oportunidades, o acesso pelo mérito e o amor à Pátria. O parecer da Câmara Corporativa elaborado no início de 1973 afirmava que a Lei de Bases em discussão já estava em grande parte implementada por decretos-leis, portarias, despachos e experiências pedagógicas...

O IV Plano de Fomento, a vigorar entre 1974 e 1979, equacionava a maioria das restantes medidas e continha as dotações necessárias para prosseguimento da Reforma. Essas verbas seriam complementadas por orçamentos de funcionamento a aprovar anualmente entre 1975 e 1979. A evolução crescente em meios financeiros entre 1970 e 1974 foi significativa.

Após Abril, durante o PREC, a Educação foi um laboratório onde se ensaiaram projectos e decisões oscilando entre a utopia e o mais puro reaccionarismo educativo. Sottomayor Cardia, com quem criei grande amizade pessoal, exerceu com coragem um ministério que, dentro do possível, paralisou a “anarquia” e reduziu o “facilitismo levado ao paroxismo”... Nada pôde fazer para evitar a extinção das escolas técnico-profissionais resultante da “unificação do ensino secundário”, iniciado pelo IV Governo Provisório. As consequências ainda hoje se fazem sentir. Alguns dos defensores dessa unificação vieram a confessar a perversidade da medida que prejudicou os que pretendiam beneficiar. Assim se expressou o meu amigo professor Sedas Nunes em entrevista ao *Expresso*, confessando honestamente o erro cometido.

A Lei de Bases do Sistema Educativo de 1986 recuperou ideias e valores da Lei de Bases de 1973, mas perdeu o rasgo, porquanto não se deu conta de que estando os direitos fundamentais consagrados na Constituição Política, não devia restringir-se a ordenar, a regulamentar e a propor uma panóplia de decretos-leis e outra legislação, grande parte da qual nunca foi publicada. Antes devia colocar-se na vanguarda do pensamento, designadamente no culto da civilidade, da consciência da terra, do novo crescimento, da arte e o desenvolvimento e do imperativo da cultura. No entanto a utilidade da Lei foi evidente.

A urgência actual em introduzir alterações curriculares e na aprendizagem para o cumprimento de uma escolaridade obrigatória de doze anos determina caminhos novos, muitos por descobrir. O cumprimento dessa escolaridade e o significado da sua gratuitidade têm de ser debatidos a nível nacional. Estão em causa as missões e funções do Estado e da sociedade civil. Se meditarmos um pouco verificamos também que a expansão educativa se desenvolveu num percurso em que se questiona em todos os graus de ensino

o equilíbrio do binómio qualidade-quantidade. Não é aqui altura para aprofundar esta questão. Direi apenas que a evolução demográfica veio determinar uma nova concepção da rede escolar, e que não pode ser impulsionadora da desertificação do interior. Falta uma visão estratégica para o desenvolvimento do País. A tudo isto acresce a necessidade de desenvolver novos modelos de formação de professores aproximando a sua cultura dos saberes de novas gerações que são colhidos fora da escola.

De qualquer modo, os desafios educativos desta segunda década do terceiro milénio em que o “alimento” do desenvolvimento é o “conhecimento” torna urgente perspectivar a capacidade de transformação desse conhecimento em bens e serviços económicos e culturais. É a era do empreendedoris-



mo de base científica. Esse desígnio nacional exige na Escola uma “cultura e observação científica” em estado de “novação”.

Em particular, ao entrarmos na análise das inúmeras alterações curriculares no ensino básico e secundário não posso deixar de mencionar que a Física, a Química e as Ciências Naturais foram em regra ostracizadas, em múltiplas medidas pseudo-reformistas. O ensino experimental tem sido sinónimo de lacuna grave. O ensino profissional introduzido em escolas secundárias polivalentes privilegiou em demasia cursos dirigidos a serviços de proximidade, mas tolhidos nas bases científicas. Com alguma utilidade imediata não asseguram o futuro da sociedade do conhecimento.

Tudo isto é verdade, mas de qualquer modo é justo referir que no universo educativo português existem nichos de excelências em todos os graus de ensino como nunca houve. Falta vencer o hiato referido entre a criação do conhecimento e a sua transformação em bens económicos e culturais. Mas cautela, o empreendedorismo daí derivado precisa de base científica, pois de outro modo seria o triunfo da mediocridade e dos bens efémeros.

Uma observação final: perante a dimensão do desafio apontado há uma medida imediata com efeitos a longo prazo: tornar obrigatória e gratuita a educação pré-escolar dos 3 aos 5 anos e dar apoio atempado às crianças de famílias sem rendimentos na alimentação, no acesso a equipamentos educativos e no transporte escolar.

#### A que se deveu, e como se materializou, o empenho do seu ministério na investigação científica?

A investigação científica constituía uma das prioridades da Reforma Educativa, abrangendo todos os níveis de ensino. Aliás, a investigação científica e a cultura, foram objecto de legislação estruturante, incentivadora e inovadora. A formação qualificada de docentes, investigadores, com base no doutoramento, era essencial para a dinamização de equipas de investigação pura e aplicada. Naturalmente a maior incidência era no âmbito do ensino superior. Por isso as dotações atribuídas para a qualificação de jovens nas melhores universidades e centros de investigação do mundo, designadamente da Europa Ocidental e dos Estados Unidos da América, constituem um marco singular da Reforma Educativa. Orgulho-me, também, da plêiade ilustre de professores e personalidades da vida científica e cultural que constituíram os conselhos para as políticas científicas e cultural, os quais se reuniram periodicamente comigo.

Por outro lado a simples consulta às listas de bolsiros do Instituto de Alta Cultura e das próprias Universidades que no período de 1970-1974 obtiveram o doutoramento fala por si. No caso da Física,

as doutoras Conceição Abreu e Teresa Peña conhecem tão bem como eu vários professores que se doutoraram nessa altura com bolsas do Instituto de Alta Cultura, mantendo os seus lugares nas universidades.

Registe-se que a equivalência dos doutoramentos no estrangeiro que teve lugar nesse período foi uma onda de modernidade de que muito beneficiaram as Universidades e outras instituições como os Laboratórios de Estado. Os obstáculos criados à concretização dessa equivalência merecem ser analisados para compreender melhor o ambiente universitário dominante, designadamente nalgumas Faculdades e que explicam algumas razões para os nossos atrasos. É justo acrescentar que para além das bolsas concedidas no âmbito do Ministério da Educação Nacional outras instituições se associaram a essa verdadeira cruzada, mercê de uma política de cooperação criativa, designadamente com a Fundação Calouste Gulbenkian. O entendimento entre o Ministro e os meus queridos amigos Doutor Azeredo Perdigão e Dr. Sá Machado foi decisivo e traduzido em preciosos documentos. Essa colaboração fortaleceu-se não só nos apoios concertados a bolsiros em relação a vários domínios científicos e culturais, mas também na área dos equipamentos dos centros de investigação. Ao mesmo tempo o Ministério beneficiou de apoios significativos da OCDE e dos governos dos Estados Unidos, Inglaterra e França através de organizações existentes no nosso País e directamente com instituições científicas desses Países e dos próprios governos, como resultado do apoio que os Ministros devam à “democratização pela educação” em Portugal.

Não cabe aqui pormenorizar os projectos de investigação científica que foram lançados em ligação ao Instituto de Alta Cultura e à Comissão de Estudos da Energia Nuclear e, bem assim, a instituições autónomas como o Instituto de Física e Matemática, o Complexo Interdisciplinar em que cooperavam várias universidades e localizado no campus do Instituto Superior Técnico e o embrionário Instituto de Altas Partículas, interligado ao IN2P3 de França e à sua inserção na rede do CERN.

Foi pena o que aconteceu após o 25 de Abril, sob a égide da “investigação ligada às massas”, dos órgãos de gestão radicalmente politizado. Com esta orientação vários investigadores estrangeiros, designadamente franceses e ingleses tiveram de abandonar o País.

#### O que pensa dos sistemas de ensino de vários países e dos exames?

É redutor verificar como políticos, educadores e comentadores circunscrevem a questão de exames a comparações entre o “antigo regime ditatorial”, e o “regime democrático”. A verdade é que o período de 1926 a 1974 é muito heterogéneo, sendo necessário caracterizar com rigor o Estado Novo de Salazar com *nuances educativas visíveis* e o Estado Social de Marcello Caetano. Por sua vez, o período de 1974 a 2012 é também heterogéneo, abrangendo o PREC, os cinco governos provisórios, os períodos dos governos constitucionais, tutelados pelo Conselho de Revolução e a Democracia plena de 1982 até 2012. Infelizmente, por

causas de desvarios dos governantes desde meados de 2011 vivemos um período em que a soberania nacional foi aprisionada, muito para além das obrigações de tratados internacionais, por uma entidade abreviadamente designada por Troika – Comissão Europeia, Banco Central Europeu e o Fundo Monetário Internacional. Essa entidade impõe medidas na Educação, ou seja, o *memorandum* das condicionais que foram impostas aos portugueses para se evitar a falência do Estado, condiciona a política educativa.

Pela minha parte continuo a pensar que os sistemas de ensino inspirados em modelos descentralizados anglo-saxónicos têm mais virtualidades dos que os modelos centralizados de inspiração napoleónica-latina. Portugal pela sua dimensão podia ter desenvolvido um sistema de ensino equilibrado entre o Estado e a Sociedade Civil. Só que os políticos têm destruído as instituições de um Estado inteligente e a Sociedade Civil vive em demasia da subsidio-dependência do Estado.

Sobre os exames faz bem ter memória. Por mim nunca esqueço os propósitos e as realizações da I República que não restringiu a questão dos exames a uma polémica ideológica. Por outro lado seria salutar proceder a análises comparativas rigorosas com países mais desenvolvidos do mundo englobando as experiências das mais velhas democracias ocidentais e das mais novas dos Países do Leste. E observar os sucessos e insucessos nesses países. Devo confessar que o acompanhamento que fiz de análises comparativas, na qualidade de *Research Fellow* do Institute for Social and Policies Studies da Universidade de Yale e a minha participação no *Steering Committee* do “Legislative Reform Program” do Conselho da Europa me permitiu aprofundar diversos aspectos estruturantes dos diversos sistemas de ensino. Entre eles cito o equilíbrio da formação humanística e da formação técnica ao longo dos percursos escolares a diversos níveis, a avaliação rigorosa de conhecimentos como instrumento de igualdade de oportunidades, a eliminação de facilitismos degradantes através de estruturas de apoio aos alunos com dificuldades de aprendizagem, a actualização, a formação de professores e os graus de autonomia na “diversidade” de escolas. No caso das estruturas de apoio são essenciais as equipas de psicólogos,



Acompanhando o presidente da República, Ramalho Eanes, na inauguração das instalações do LNETI, em 1980 (cortesia de J. Veiga Simão).

sociólogos, a adopção de metodologias de aprendizagem diferenciados, o fortalecimento de ensino experimental, a associação do ensino as actividades criativas; fomentando iniciativas individuais enriquecedoras na realização de objectivos concretos. Uma coisa é certa: as “passagens formais” por razões de “engenharia estatística” associados a “concepções de traumas psicológicos” não contribuem para o desenvolvimento das faculdades potenciais dos jovens e lança-os no universo do desemprego. A Escola não pode renegar o mérito e a sua avaliação interna e externa. O envolvimento das comunidades é decisivo.

**Em 1983 assumiu a pasta de Ministro da Indústria e Energia. Antes disso desenvolveu várias actividades e continua hoje muito activo. Tem integrado muitas comissões, grupos de trabalho e está a dar o seu contributo na Associação Industrial Portuguesa.**

Após Abril de 1974, a convite do Presidente da República General António Spínola, aceitei ser nomeado embaixador de Portugal nas Nações Unidas, cargo que desempenhei entre Maio de 1974 e Junho de 1975. Foi uma experiência inolvidável. Nesta entrevista permito-me recordar que a residência oficial do embaixador, onde vivia, era no célebre Dakota Building, em 1 West 72<sup>th</sup> Street, onde residiam Lauren Bacall, Rex Harrison e John Lennon, a qual foi palco de reuniões magníficas e úteis com embaixadores e governantes dos países pertencentes a todos os grupos políticos representados na ONU. Foi o caso do Grupo onde se insere Portugal, o da Europa Ocidental, Estados Unidos da América e Canadá; foi o caso de grupos do designado Terceiro Mundo, dos países da órbita da União Soviética, dos Países Árabes, da União Africana... A Assembleia Geral das Nações Unidas que decorreu de Setembro a Dezembro de 1974, as reuniões com o Comité dos Vinte e Quatro relativo à descolonização, a minha proposta para uma descolonização que não conduzisse à tragédia da fuga dos portugueses, impropriamente designados por retornados, a eliminação do incidente de Wiriamu da agenda como caso lamentável da Guerra do Ultramar em prol da defesa da honra do “soldado português”, o meu discurso no 38º aniversário da criação das Nações Unidas são episódios, entre muitos outros, que marcam esse período a minha vida.

A onda de saneamentos políticos atingiu-me sem nunca ter sido ouvido, mas os três anos que como exilado permaneci nos EUA possibilitaram-me experiências inesquecíveis na Universidade de Yale, no Lesley College, no Massachusetts Institute of Technology (MIT), na Portuguese Heritage Foundation e em projectos académicos de parceria com professores de outras instituições universitárias de New England. Embora tivesse sido readmitido na cátedra de Coimbra logo em 1976, acabei um projecto relacionado com a concepção de um Instituto

de Energia para Portugal, que me fora solicitado no tempo do governo de Mário Soares pelos ministros Walter Rosa, Sousa Gomes, e Nobre da Costa com a concordância de Sottomayor Cardia. Regressado ao meu país sou nomeado Presidente da Comissão Instaladora do INETI, organismo criado pelo Ministro Eng<sup>o</sup> Nobre da Costa. O LNETI que organizei após ter sido criado constituiu uma experiência inesquecível a nível nacional e internacional, o que criou suspeições e as invejas típicas no nosso país. O Plano Tecnológico de Desenvolvimento da Indústria Transformadora, uma parceria entre o LNETI, o MIT e o Banco Mundial foi um marco decisivo para a modernização da indústria e energia, incentivando a componente tecnológica. O número de doutores e técnicos de alta qualidade aumentou exponencialmente entre 1979 e 1992.

E somos chegados a 1983. Até essa altura nunca tinha sido filiado em qualquer partido político, quer na Acção Nacional Popular antes do 25 de Abril, quer após Abril de 1974.

A evolução política portuguesa havia criado no meu pensamento que a corrente social-democrata, próxima do trabalhismo inglês – que eu admirava pela obra de reconstrução e justiça social que proporcionou após a guerra em Inglaterra – se havia legitimado no Partido Socialista português, que abandonara o dogma do marxismo. Uma consequência, aliás, da morte do meu amigo Sá Carneiro, com quem tivera conversas nos EUA. O PS tomou a iniciativa de me convidar por carta da sua Direcção para ingressar nas suas fileiras e, após algumas hesitações, assim aconteceu, sob proposta de Mário Soares e de Almeida Santos.

Os dois anos e meio de governo como Ministro da Indústria e Energia, num ambiente de crise e de aliança PS-PSD foram, apesar de tudo, cheio de realizações. O Plano Tecnológico foi aprovado por Resolução do Conselho de Ministros. É a época do lançamento dos Centros Tecnológicos, da Rede de Extensão Industrial, dos Contratos de Desenvolvimento Industrial com Universidades, da revisão do Plano Energético Nacional, cuja primeira versão foi elaborada no Governo da Aliança Democrática e aprovada pelo Ministro Baião Horta. E também o início da reestruturação do sector empresarial do Estado no âmbito da Indústria e Energia, que ficou marcado pela publicação de um relatório coordenado por Aurora Murteira. Nesse relatório, divulgado em 1985, analisam-se não só as consequências das nacionalizações precipitadas, mas acima de tudo os investimentos irrecuperáveis que tiveram lugar após 1975, determinados por se não ter sabido avaliar as óbvias consequências do primeiro choque petrolífero. Foram perdidos, por irrecuperáveis economicamente, mais de 40 mil milhões de euros a preços de hoje.

Seria fastidioso enumerar aqui as múltiplas actividades em que participei com várias universidades públicas (por ex. Beira Interior, Aveiro, Algarve) e privadas (Internacional e Autónoma) e outras entidades, designadamente nas áreas da pós-graduação e do planeamento estratégico. Saliente, no entanto, a frutuosa experiência da presidência do Conselho de Avaliação das universidades públicas (o chamado 1<sup>o</sup> ciclo de avaliação) para a qual fui nomeado pelo Conselho de Reitores e pela Fundação das Universidades portuguesas. Infelizmente, o ministro do Ensino Superior e Ciência – maximizando alguns erros cometidos pelo posterior Conselho de Avaliação do Ensino Superior, derivados essencialmente de uma estrutura desadequada e paralisante de decisões oportunas – extingue-o em vez de o aperfeiçoar, dando origem a um hiato de vários anos que se arrastou até à criação de Agência de Avaliação e Acreditação. Um episódio insólito em que o Partido Socialista protagonizou um modelo e o seu contrário, satisfazendo “egos” de alguns políticos.

Durante este período presidi ainda ao Ano Europeu da Educação e Formação ao Longo da Vida, com a colaboração de uma excelente equipa de personalidades e de peritos dos vários ministérios, tendo sido publicado a “Carta Magna da Educação e Formação ao Longo da Vida” em Janeiro de 1998.

A minha agradável colaboração com a Associação Industrial Portuguesa intensificou-se a partir de 1992 como consultor da Presidência que Rocha de Matos protagonizou, incentivando estudos e programas de acção relacionados com a inovação e competitividade, e de que são exemplos a Carta Magna da Competitividade e as Cartas Regionais de Competitividade.



Na Assembleia da República, como Ministro da Indústria e Energia, 1984 (cortesia de J. Veiga Simão).

Pode a formação em física, mesmo apenas ao nível do ensino secundário, contribuir para a formação da mentalidade de quadros de um país? Como?

A Física, e igualmente a Química, são duas disciplinas fundamentais para a formação de quadros qualificados, designadamente para um elevado número de empresas inseridas na economia do conhecimento. Numa entrevista

que dei à Gazeta de Física em 2003 (Vol. 26, fascículos 2 e 3) afirmei que “Subalternizar a Física e a Química significaria que nos atrasaríamos mais de uma década”. Nessa altura, perante informações de professores que me relataram como o ensino destas disciplinas estava a ser minimizado, alertei para que elas eram essenciais para uma “maturação formativa na Ciência, na Tecnologia e na Inovação”. No meu entendimento, só por ignorância das perspectivas de evolução da sociedade do conhecimento é que se não procedia à intensificação do seu ensino e da componente experimental. Por outro lado, para além da instrumentação científica e tecnológica, a “qualidade” e a sua medida, incluindo a qualidade ambiental, emergiam como áreas transversais de inovação empresarial.

Acrescentei quase dez anos depois, ao fazer-se um balanço resultante da multiplicidade de políticas educativas incoerentes e por vezes antagónicas, que não se estava a privilegiar o saber pensar, o rigor científico e a qualidade do raciocínio, eliminando-se dos *curricula* bases culturais, científicas e tecnológicas essenciais para os bits que continuam a comandar as máquinas... Entretanto, maiores apostas na interdisciplinaridade (caminho com realizações interessantes ainda que sinuoso na procura de modelos teleológicos do saber), fizeram emergir a ligação das ciências físicas e químicas às ciências naturais, tendo sido significativos os progressos na Biofísica, na Bioquímica, na Biomedicina, na Biotecnologia... Permito-me recordar de novo o meu artigo na *Humanitas* recordando as palavras de Max Born: “Todos os que desejarem aprender a arte da profecia científica não devem confiar só na razão abstracta, mas decifrar a linguagem da Natureza através de documentos da natureza: os factos da experiência”. Estas palavras estão na vanguarda do desenvolvimento sustentado e sustentável na sociedade do conhecimento. É por aí que temos de caminhar.

**A física e os físicos portugueses têm dado inspiração ou contributo nacional nestes domínios? Que se poderá fazer para intensificar essa contribuição?**

A Física é, como referi, um pilar estratégico de um novo modelo de desenvolvimento para o nosso país, consciente de que o modelo actual está não só esgotado como agravará “o estado de falência” para onde políticos sem cuidar da formação científica arrastaram o nosso país. E o perigo é o de que nestas condições a modernidade pode vir a integrar a mediocridade, e o empreendedorismo a potenciar a ignorância empreendedora, em regra ávida de lucros ilegítimos.

O culto dos princípios básicos da Física, e aí associa-se a Matemática, a Química, a Biologia, a Geologia e outras ciências naturais, permitem aos decisores políticos, económicos e sociais, equilibrar a ânsia do curto prazo com o médio e longo prazo e a obediência a valores. Mais uma vez aqui a Física se aproxima da Filosofia e impulsiona as “boas práticas”, “o culto da inovação, o “valor da cooperação” entre actores e a *produtividade*, instrumentos de competitividade de Portugal entre as Nações.

Em Março de 1993, a minha filha Cristiana infelizmente já falecida, sabendo das minhas preocupações, ofereceu-me o livro do Italo Calvino “Seis propostas para o próximo



Como ministro da Defesa Nacional, na Bósnia-Herzegovina (1997) e no Pentágono, EUA (1998) (cortesia de J. Veiga Simão).



milénio”. Nele, e em síntese, a Física e a Filosofia abraçam-se em torno de visões de futuro de que devem impregnar os programas e as acções do presente. Vejamos como tais valores se ligam e cultivam na Física: a **leveza**, que dá asas ao pensamento; a **rapidez** que integra a agilidade de raciocínio e a economia dos argumentos; a **exactidão**, que exige uma cultura científica e filosófica, que a Escola nunca deve abandonar; a **visibilidade**, para a qual concorre a observação científica do mundo real e a verbalização correcta do pensamento; a **multiplicidade**, que nos revela a vida de cada um de nós ser uma enciclopédia, um inventário de factos, um catálogo de estilo; e a **consistência**, que é vital para na assunção da humildade de erros e no orgulho dos sucessos, sem branqueamento dos factos.

Estes são os valores que a Física pode transmitir na Escola e oferecer à Sociedade.

**Que pensa sobre o crescimento do número de físicos, a diferenciação das licenciaturas, mestrados e doutoramentos em física e engenharia física, em Portugal, e do papel desta realidade no desenvolvimento do país?**

É urgente analisar a miríade de cursos que emergiram de forma voluntarista nas inúmeras instituições de ensino superior, as quais adoptaram padrões

mínimos de “igualdade” e não de “diversidade”. Por outro lado, nem sempre os projectos de criação de conhecimento atingem dimensões críticas mínimas e cultivam a qualidade atraindo equipas de professores, investigadores e técnicos, assentes em infra-estruturas físicas e técnicas de vanguarda. Ao mesmo tempo, para além do culto da ciência pela ciência impõe-se a dinamização de práticas que associem a criação à transformação do conhecimento, orientada para a produção de bens económicos e culturais. Na era do conhecimento emerge a chamada *Hélice Tripla*, que põe em evidência a cooperação institucional não através de círculos fechados de competência, mas de espaços de interacção e cooperação que permitem, adoptando os princípios básicos da relatividade, introduzir o factor tempo determinante do sucesso na sociedade do conhecimento. Quem não faz as coisas a tempo está perdido.

Uma análise do que existe com a perspectiva de diminuir o hiato entre a criação e a utilização do conhecimento seria benéfica para todos e conduziria a decisões adequadas a um desenvolvimento mais harmónico do nosso país. Devo dizer que numa análise a que uma equipa de cientistas e economistas da Associação Industrial Portuguesa está a proceder concluímos que é já muito significativa a interacção Universidade-Indústria com potencialidades para equilibrar a economia dual actualmente existente. É essencial que os centros de investigação universitários e os *spin-offs* empresariais se integrem na perspectiva de atingirem dimensões significativas a nível internacional. O exemplo do *Mittelstand* alemão devidamente adaptado à realidade portuguesa devia ser estudado como base de acção. A miríade de mestrados e doutoramentos devia ser analisada com este pano de fundo.

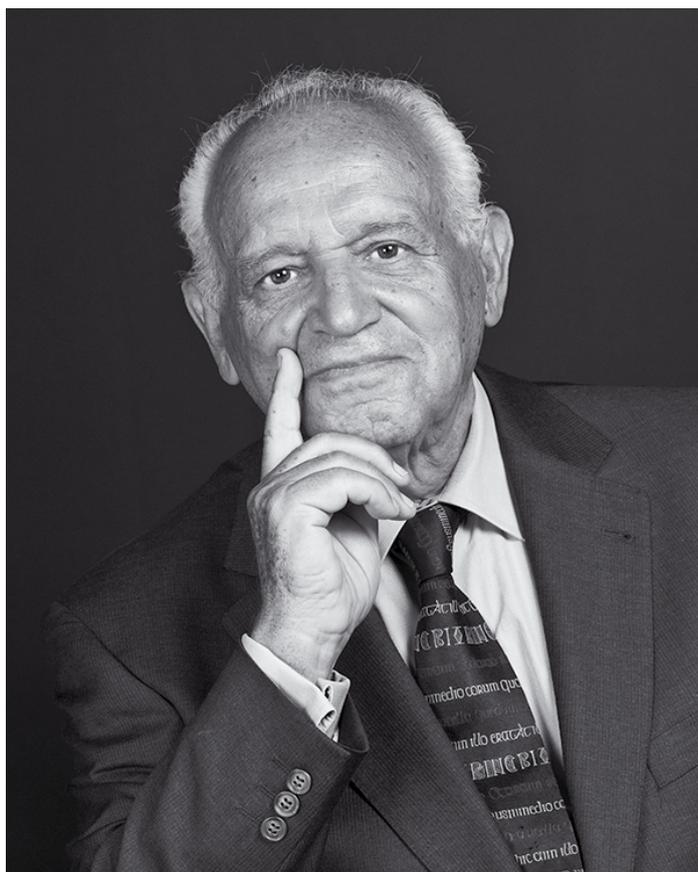
É pois necessário que o aumento significativo de licenciados, mestres e doutores, nos quais se incluem os físicos e engenheiros, numa proporção derivada do grau de desenvolvimento da “indústria” – entendida em termos anglo-saxónicos – seja articulado com empresários inovadores, que compreendam o valor do risco, e com um “Estado inteligente”, que adopte políticas públicas com visão estratégica.

#### Se fosse possível voltar atrás, acha que faria de novo um doutoramento em física?

É com satisfação incontida que sinto que os grandes problemas inerentes ao meu doutoramento em Física permanecem na sociedade de hoje. Aliás, mantêm-se os desafios que citei numa intervenção nos anos 80 na Academia de Ciências, em particular, os que pretendem desvendar a origem da vida, a criação do universo, o armazenamento da energia e a busca da felicidade. O meu doutoramento, as conclusões que retirei dos meus estudos e as

meditações sobre estes domínios do conhecimento, os novos métodos e processos de ensino e de aprendizagem fazem-me sentir, em termos gerais, que o *objecto* e o *sujeito* continuam a estar um para outro em *estado de novação*.

Sendo assim, posso dizer que o meu percurso pela Física, apesar da minha plena aceitação, foi obra do acaso; e afirmar que, sabendo o que sei hoje, não só me doutorava em Física como me teria preocupado mais, nas posições políticas que ocupei, em que os partidos fossem *escolas de ciências políticas*, impregnadas de ciências físicas e filosóficas.... Por essa via, mais tarde ou mais cedo o culto da inteligência e do serviço público impor-se-ia ao culto do emprego a todo o custo... *Os quanta devem cintilar na vida humana*.



Os autores, em nome da *Gazeta de Física* e da *Sociedade Portuguesa de Física*, agradecem a amabilidade e o empenho que José Veiga Simão dedicou a esta entrevista.

# A guerra das cordas

Carlos Fiolhais

A “guerra das cordas” foi o nome por que ficou conhecida uma polémica entre os cépticos e os partidários da teoria de cordas (que considera as partículas elementares como cordas e supõe dimensões adicionais do Universo para além das quatro do espaço-tempo) que ocorreu após a publicação de dois livros que desafiavam a visão dominante segundo a qual aquela teoria seria a da unificação final que os físicos procuravam há muito. Com efeito, em 2006 saíram duas obras que apontavam debilidades e incapacidades da teoria das cordas: “O Problema da Física. A Ascensão da teoria das cordas, a queda de uma ciência e o que vem a seguir”, de Lee Smolin, investigador no Perimeter Institute, no Ontário, Canadá, e “Nem Sequer Está Errado. O falhanço da teoria das cordas e a continuada tentativa de unificar as leis da Física”, de Peter Woit, professor na Universidade de Columbia em Nova Iorque. Os dois livros não estão traduzidos em português, embora o primeiro vá estar, inserido na colecção *Ciência Aberta*, da Gradiva. As críticas de Smolin e Woit assentavam no facto de a teoria de cordas não ser unívoca mas múltipla e de não ser possível, qualquer que fosse a versão, testá-la observacional ou experimentalmente, pelo menos com os meios actuais ou previsíveis a médio prazo. Acrescia o facto de ela ter um peso excessivo na comunidade de físicos teóricos, não estando a ser encorajada a busca de alternativas por estudantes de doutoramento e pós-docs. Alguns adeptos de teoria de cordas saíram logo ao caminho desses dois autores, cruzando os seus argumentos com os deles.

Certo é que ninguém convenceu o grupo rival. Uns e outros continuaram a fazer mais ou menos o que já faziam, mas sem conseguirem novos grandes avanços. Passados seis anos, não se pode dizer que a teoria das cordas se tenha desenvolvido extraordinariamente. Mas, se não se pode encontrar provas da teoria das supercordas na Terra, pode-se sempre olhar para os céus. Uma via que tem originado muito debate relaciona-se com uma ideia de Smolin, explorada num seu livro anterior, “A Vida do Cosmos”, que falava de múltiplos universos, com diferentes constantes físicas, e da



selecção natural deles. A combinação da teoria das cordas com a teoria do Big Bang, incluindo nesta o modelo inflacionário, proporciona muitos universos (que formam o Multiverso, um termo cunhado pelo filósofo e psicólogo William James no século XIX), sendo lícito pensar que cada um deles poderia ser descrito por uma das muitas teorias de cordas. Muitas? Muitíssimas! Demasiadas para o gosto mais comum. E é de pouca parcimónia resolver o problema do excesso de teorias de cordas com um excesso de Universos.

O físico de cordas Brian Greene, da Universidade de Columbia e autor de “O Universo Elegante”, comparou, num recente artigo publicado na *Newsweek*, a situação actual dos físicos à de Newton, sentado de baixo da sua macieira. Suponhamos que ele observou a queda das maçãs e concluiu que certas maçãs, as que viu, caem e outras, as que não viu, sobem ao céu (onde estão há muito tempo). Analogamente, não veríamos os outros Universos por estarem para lá das nossas possibilidades da visão. Embora improvável, há, porém, a hipótese de o nosso Universo colidir com outros universos do vasto Multiverso, resultando daí algum sinal observável, como por exemplo alterações na radiação cósmica de fundo. Mas nada disso se viu até agora. As ideias das muitas teorias de cordas e dos múltiplos universos poderão ser mais metafísica do que física, tal como a teoria das maçãs que sobem ao céu.

## notícias

## Acontece

## 150 anos das equações de Maxwell

Filipe Moura

Completam-se este ano 150 anos da publicação, por parte do físico teórico escocês James Clerk Maxwell, do artigo “Linhas físicas de força”, na revista *Philosophical Magazine*. Neste artigo, dividido em quatro partes, Maxwell estabelece as quatro equações diferenciais, que viriam a ter o seu nome, que regulam e relacionam os campos eléctricos e magnéticos.

Cada uma das equações de Maxwell corresponde à forma diferencial, local (em cada ponto e cada instante), de uma lei previamente estabelecida experimentalmente para regiões do espaço (isto é, na forma integral). Essas quatro leis são a lei de Coulomb eléctrica (sobre o campo electrostático criado por cargas eléctricas), a lei de Coulomb magnética (a inexistência de cargas magnéticas), a lei de Ampère (o campo magnético causado por um fio percorrido por uma corrente) e a lei de indução de Faraday (campos magnéticos a variarem no tempo induzem uma força electromotriz). A lei de Ampère não tinha sido estabelecida ainda na sua forma definitiva: foi Maxwell que, num dos seus artigos, lhe acrescentou um novo termo (a chamada corrente de deslocamento), com uma motivação puramente teórica: de forma a torná-la compatível com a equação da continuidade, que traduz a conservação da carga eléctrica. Este termo só é detectável para campos eléctricos variáveis no tempo, pelo que não tinha sido observado experimentalmente por Ampère.



Das equações de Maxwell prevê-se que, no vácuo, na ausência de fontes (cargas e correntes eléctricas), os campos electromagnéticos propagam-se como ondas, com uma velocidade constante: a velocidade da luz. Com efeito, a relatividade restrita já está implícita nas equações de Maxwell, 45 anos antes de ter sido formulada por Einstein. A confirmação experimental, por Hertz, da existência destas ondas, confirmou definitivamente as equações de Maxwell, colocando-o na galeria dos grandes físicos da história.

O génio de Maxwell consistiu em ter sabido relacionar as quatro leis, que até então eram vistas como independentes. As equações de Maxwell reuniram numa mesma descrição a electricidade, o magnetismo e a óptica, até então especialidades separadas, tendo constituído uma das mais bem sucedidas teorias de unificação em Física.

Em Portugal, a primeira obra a abordar sistematicamente a teoria de Maxwell foi “Teoria da Electricidade” [1], tratado em dois volumes da autoria de António da Silveira, baseado no curso apresentado pelo autor no Instituto Superior Técnico. Esta obra pioneira foi objecto de uma reedição, através do Instituto Nacional de Investigação Científica (entretanto extinto), em 1985, encontrando-se presentemente esgotada.



## Referências

1. António da Silveira, “Teoria da Electricidade” (2 vols.), Bertrand, Lisboa (1941); Lisboa (1958)

# Aconteceu

## Olimpíadas

Fernando Nogueira

### Olimpíadas Regionais de Física

A XXVIII edição das Olimpíadas de Física arrancou no passado dia 28 de Abril, quando decorreu a primeira fase do evento, as Olimpíadas Regionais de Física. Este ano, pela primeira vez, esta fase decorreu em simultâneo em cinco locais distintos: os Departamentos de Física das Universidades do Porto e de Coimbra, o pólo do Instituto Superior Técnico no Taguspark, em Oeiras, a Universidade dos Açores, em Ponta Delgada, e a Universidade da Madeira, no Funchal. Embora as provas (uma prova teórica e uma prova experimental) sejam as mesmas para todas as delegações da SPF, as escolas participam nesta fase das olimpíadas deslocando-se à delegação da SPF a que estão associadas. Merece por isso especial destaque a realização dos eventos nos Açores e na Madeira, que evitaram a deslocação a Lisboa dos alunos insulares e conduziram ao aumento do número de participantes oriundos destas regiões. Note-se que, dada a dimensão destas regiões, o número de prémios atribuído ao escalão B (11º ano) é menor que o das regiões Norte, Centro e Sul: apenas são premiados os três primeiros classificados (medalhas de Ouro, Prata e Bronze) enquanto nas regiões Norte, Centro e Sul são ainda atribuídas sete menções honrosas.

Participaram neste evento 1003 alunos de cerca de 300 escolas de todo o país, agrupados em dois escalões etários: 525 alunos do 9º ano competiram no escalão A e 478 alunos do 11º ano concorreram ao escalão B. A prova do escalão B é individual, mas no escalão A os alunos concorrem em equipas com três elementos.

Os vencedores da etapa regional foram:

#### Escalão B

##### Região Norte

1. Alexandre Carvalho Truppel  
(E.S. c/ 3º ciclo Aurélia de Sousa, Porto)
2. Inês Maria Lucas Crista de Sousa Castro  
(Colégio Luso-Francês, Porto)

3. João Filipe dos Santos Faria  
(E.S. c/ 3º ciclo José Régio, Vila do Conde)
- Ana Rita Ferreira (E.B. 2,3+S Oliveira Júnior, São João da Madeira)
- Ana Sofia Monteiro Figueiredo Lopes  
(E.S. c/ 3º ciclo D. Maria II, Braga)
- Carlos Diogo Monteiro Fernandes  
(E.S. c/ 3º ciclo D. Dinis, Santo Tirso)
- Catarina Rita Botelho Andrade (E.S. c/ 3º ciclo Santa Maria da Feira, Santa Maria da Feira)
- Inês Sofia Carneiro Madureira  
(E.S. c/ 3º ciclo Paredes, Paredes)
- Jéssica Sofia Mateus Costa (E.B. 2,3+S Dr. Manuel P. Vasconcelos, Paços de Ferreira)
- Mariana Jorge da Costa Almeida  
(E.S. c/ 3º ciclo D. Maria II, Braga)



## Região Centro

1. Hugo Miguel Barcelos Figueiredo  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)
2. Carlos Miguel Cardoso Garrido  
(E.S. Alves Martins, Viseu)
3. João Filipe Seabra da Costa  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)

Ana Jorge Valente Marques Gonçalves  
(E.S. Dr. Mário Sacramento, Aveiro)

Ana Luísa Moreira de Carvalho  
(E.S. José Estevão, Aveiro)

João Marcelo de Almeida Cabral  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)

Maria João Saraiva Borges Cardoso  
(E.S. José Falcão, Coimbra)  
Mariana Robalo Cordeiro  
(E.S. Infanta D. Maria, Coimbra)

Pedro Almeida da Conceição  
(E.S. de Molelos, Molelos)

Pedro Miguel Silva (E.S. D. Duarte, Coimbra)

3. Joana Lima  
(E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)

## Madeira

1. Ana Filipa Silva (E.B.+S. da Calheta, Calheta)
2. Mariana Moreira (E.B.+S. da Calheta, Calheta)
3. Diogo Racherte Silva  
(E.B.+S. da Calheta, Calheta)

## Escalão A

### Região Norte

1. Paulo Duarte Mourão,  
Diogo Ferreira Oliveira Santos  
e Leonor Baptista da Costa Silva Santos  
(E.B. 2,3 Fernando Pessoa, Santa Maria da Feira)
2. Pedro Cruz Silvestre,  
Jorge Miguel Oliveira Figueiredo  
e Adriana Macedo Afonso Moreira  
(E.S. c/ 3º ciclo S. Pedro, Vila Real)
3. João Marcelo Fernandes de Carvalho,  
Rafael Alexandre Faria de Barros  
e Margarida de Fátima Ramos Viana  
(E.B 2,3+S de Lanheses, Viana do Castelo)

## Região Sul

1. João Ferreira Machado  
(E.S. c/ 3º ciclo do Restelo, Lisboa)
2. Maria Margarida Rosado  
(E.S. Júlio Dantas, Lagos)
3. António Silva  
(Externato Marista de Lisboa, Lisboa)

Andreia Cristina Bernardino Faustino  
(Externato Frei Luís de Sousa, Almada)

Filipe Manuel Andrade de Matos  
(E.S. c/ 3º ciclo de Vergílio Ferreira, Lisboa)

José Maria Pinto Basto Cyrne de Castro  
(E.T.L. Salesiana de Sto. António, Estoril)

Leonel Quinta Queimada  
(E.S. c/ 3º ciclo D. Manuel I, Beja)

Miguel Alexandre de Oliveira Passos Serafim  
(E.S. Leal da Câmara, Rio de Mouro)

Rita Barroca Dias Teixeira da Costa  
(E.S. Gabriel Pereira, Évora)

Tomás Martins de Oliveira Albuquerque Reis  
(Colégio Salesiano Oficinas de S. José, Lisboa)

## Região Centro

1. Afonso Marques, Diogo Gonçalves e Filipa Prior  
(E.B. Marquês de Marialva, Cantanhede)
2. Diogo Silva, Marta Rodrigues e Marta Lourenço  
(E.S. c/ 3º ciclo de Sever do Vouga, Sever do Vouga)
3. Rafael Figueiredo, Henrique Aguiar e Pedro Roque  
(E.S. José Estevão, Aveiro)

## Região Sul

1. Afonso Vaz Ramires Ferreira Pinheiro,  
João Leandro Câmara Serra  
e Francisco de Barros Gomes Cruz Almeida  
(Academia de Música de Santa Cecília, Lisboa)
2. Nuno Lopes Heitor, Raquel Alves da Silva  
e Bruno de Amaral Neves  
(Colégio dos Plátanos, Rio de Mouro)
3. Rodrigo de Ataíde Oliveira,  
Maria Bandeira Brás Monteiro  
e Carla Maria Ramos Ferreira  
(Colégio Marista de Carcavelos, Parede)

## Açores

1. António Fernandes, Sara Goulart e Diana Teixeira  
(E.S. das Laranjeiras, Ponta Delgada)
2. Inês Faria Medeiros, Gonçalo Carrola e Júlia Viveiros  
(E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
3. Pedro Estorninho, Tiago Carquejo e Ana Raposo  
(E.B.+S. da Graciosa, Graciosa)

## Açores

1. Henrique Ferreira  
(E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
2. Adriana Maria Silva  
(E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada)

## Madeira

1. Helena Santos Sousa, Edna Joana Alves Baptista e Maria Dolores Correia Gama  
(E.B. 2,3 do Caniço, Caniço)
2. Francisco Xavier Gomes Aveiro, David Tiago Teixeira Vieira e Emanuel Ricardo Rodrigues Roque  
(E.B.+S. de Machico, Machico)
3. António Silva, Pedro Silva e Margarida Sousa  
(E.B.+S. da Calheta, Calheta)

## Olimpíadas Nacionais de Física

A segunda e última etapa das XXVIII Olimpíadas de Física são as Olimpíadas Nacionais de Física, que foram mais uma vez organizadas pela Delegação Sul e Ilhas da SPF e decorreram no Museu da Electricidade, em Lisboa, nos dias 8 e 9 de Junho. Participaram na etapa nacional todos os premiados da etapa regional, isto é, 33 alunos do escalão A, divididos em 11 equipas, e 36 alunos do escalão B.

Durante a tarde, enquanto decorria a correcção das provas, todos os alunos e professores acompanhantes fizeram uma visita guiada ao Museu da Electricidade e participaram depois num debate sobre a participação nas Olimpíadas Internacionais de Física e o impacto dessa participação na vida académica e profissional dos alunos portugueses (na imagem). O debate contou com a presença dos ex-olímpicos Rui Travasso e Hugo Pires.

Os vencedores desta etapa foram:

### Escalão B

1. Tomás Martins de Oliveira Albuquerque Reis  
(Colégio Salesiano Oficinas de S. José, Lisboa)
2. Rita Barroca Dias Teixeira da Costa  
(E.S. Gabriel Pereira, Évora)
3. Carlos Miguel Cardoso Garrido  
(E.S. Alves Martins, Viseu)  
  
Alexandre Carvalho Truppel  
(E.S. c/ 3º ciclo Aurélia de Sousa, Porto)  
  
Andreia Cristina Bernardino Faustino  
(Externato Frei Luís de Sousa, Almada)  
  
Carlos Diogo Monteiro Fernandes  
(E.S. c/ 3º ciclo D. Dinis, Santo Tirso)  
  
Filipe Manuel Andrade de Matos  
(E.S. c/ 3º ciclo de Vergílio Ferreira, Lisboa)  
  
Hugo Miguel Barcelos Figueiredo  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)  
  
João Ferreira Machado  
(E.S. c/ 3º ciclo do Restelo, Lisboa)  
  
Pedro Almeida da Conceição (E.S. de Molelos, Molelos)



### Escalão A

1. Pedro Cruz Silvestre, Jorge Miguel Oliveira Figueiredo e Adriana Macedo Afonso Moreira  
(E.S. c/ 3º ciclo S. Pedro, Vila Real)
2. António Fernandes, Sara Goulart e Diana Teixeira  
(E.S. das Laranjeiras, Ponta Delgada)
3. Paulo Duarte Mourão, Diogo Ferreira Oliveira Santos e Leonor Baptista da Costa Silva Santos  
(E.B. 2,3 Fernando Pessoa, Santa Maria da Feira)

Os vencedores da etapa nacional ficaram pré-seleccionados para uma preparação a decorrer durante o próximo ano lectivo que os poderá levar a representar Portugal em 2013 na XLIV Olimpíada Internacional de Física (Copenhaga, Dinamarca) ou na XVIII Olimpíada Ibero-Americana de Física (Paraguai). Os seguintes alunos ficaram também pré-seleccionados para esta preparação:

- Adriana Maria Tavares Pereira Silva  
(E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada)
- Ana Luísa Moreira de Carvalho  
(E.S. José Estevão, Aveiro)
- Ana Rita Ribeiro Ferreira  
(E.B. 2,3+S Oliveira Júnior, São João da Madeira)
- Inês Maria Lucas Crista de Sousa Castro  
(Colégio Luso-Francês, Porto)
- Inês Sofia Carneiro Madureira  
(E.S. c/ 3º ciclo Paredes, Paredes)
- João Filipe Seabra da Costa  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)



João Marcelo de Almeida Cabral  
(E.S. Homem Cristo, Aveiro)

Luís Diogo Recharte Silva  
(E.B.+S. da Calheta, Calheta)

Maria Margarida Santos Rosado  
(E.S. Júlio Dantas, Lagos)

Mariana Robalo Cordeiro  
(E.S. Infanta D. Maria, Coimbra)

Os vencedores do escalão A estão pré-seleccionados para representar Portugal, em 2014, na XII Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO'2014), a decorrer em Atenas, na Grécia.

### Olimpíadas Internacionais de Física

As Olimpíadas Internacionais de Física decorreram em Tallinn e Tartu, Estónia, de 15 a 24 de Julho, tendo participado na competição 378 estudantes finalistas do ensino secundário de 81 países. Nesta competição, os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. A maioria dos temas abordados não consta dos programas oficiais do ensino secundário português, incluindo sobretudo assuntos que são abordados apenas no primeiro ano dos cursos universitários de Física e alguns tópicos que são abordados no segundo ano desses cursos. Note-se no entanto que o *syllabus* destas olimpíadas coincide com o programa do ensino secundário de um vasto número dos países participantes.

As provas deste ano foram particularmente difíceis, sobretudo pela criatividade que era requerida para chegar à solução final dos problemas. Da lista de problemas colocados aos alunos, destacam-se a determinação da força entre dois cilindros ocós supercondutores, o estudo do gerador de Kelvin, a análise da formação de uma proto-estrela e a determinação experimental da permeabilidade magnética da água. O vencedor absoluto desta olimpíada, que obteve a melhor classificação no conjunto dos dois testes, foi um estudante da Hungria, Attila Szabo.

A equipa portuguesa foi preparada ao longo do ano lectivo na escola *Quark!*, que decorre em Coimbra, no Departamento de Física da FCTUC, e em sessões específicas de treino (sobretudo teórico) que decorreram no mesmo local na semana anterior à partida para a Estónia. Durante a Olimpíada Internacional os alunos foram acompanhados pelos *team-leaders* Fernando Nogueira e Rui Travasso, do Departamento de Física da FCTUC. A prestação dos alunos portugueses na prova teórica foi bastante razoável mas o resultado final foi seriamente afectado pela sua má prestação na prova experimental, ficando mais uma vez bem patente a muito deficiente preparação experimental ministrada no

nosso ensino secundário. Mesmo assim, os alunos portugueses obtiveram uma medalha de bronze e três menções honrosas. A lista dos estudantes portugueses é a seguinte:

Francisco Leal Machado  
(E.S. Infanta D. Maria, Coimbra)  
– Medalha de Bronze

Simão Meneses João  
(E.S. Jaime Moniz, Funchal) – Menção Honrosa

Pedro Miguel Reis Bento Paredes  
(E.S. Avelar Brotero, Coimbra)  
– Menção Honrosa

Matheus Silva Marreiros  
(E.S. de Eça de Queirós, Lisboa)  
– Menção Honrosa

Manuel Maria Pacheco do Valle Pereira Cabral  
(Externato Ribadouro, Porto)

As Olimpíadas de Física são uma actividade promovida pela Sociedade Portuguesa de Física com o patrocínio dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior através da Agência Ciência Viva, do Ministério da Educação e da Fundação EDP. A escola *Quark!* de Física para jovens tem o apoio do programa operacional QREN-Mais Centro.

Na página na Internet das Olimpíadas Portuguesas de Física (<http://olimpiadas.spf.pt/>) podem-se obter as provas e a lista dos alunos premiados nas várias fases das Olimpíadas Portuguesas e nas Olimpíadas Internacionais e Ibero-americanas de Física.



# Como percebem os professores do ensino secundário os conceitos relativistas de massa e energia?

M. A. Albuquerque<sup>1</sup>, L. Peralta<sup>2</sup>

1. Escola Secundária de Casquilhos, Barreiro

2. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Lisboa

anjo@lip.pt, luis@lip.pt

## Massa dependente da velocidade: definição ou mais confusão?

A Física Nuclear e das Partículas é seguramente uma das áreas da Física em que a Relatividade Restrita é mais amplamente utilizada. Uma das equações chave na compreensão de muitas reacções entre partículas elementares é a que relaciona a massa  $m$ , energia  $E$  e momento linear  $p$  de uma partícula livre e que se pode escrever como

$$(mc^2)^2 = E^2 - (pc)^2$$

sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo. Para um conjunto de  $n$  partículas livres a expressão é generalizável para

$$mc^2 = \sum_i^n m_i c^2 = \sum_i^n \sqrt{E_i^2 - p_i^2 c^2}$$

tomando também frequentemente  $m$  o nome de *massa invariante*. A razão da nomenclatura vem do facto desta grandeza ser invariante para as transformações de Lorentz, logo, o seu valor numérico é o mesmo em qualquer referencial de inércia. Em particular, se uma partícula subatómica se desintegra dando origem a um certo número de partículas descendentes, a sua massa pode ser obtida a partir das medidas de energia e momento linear das partículas suas descendentes. Este é um método poderoso que nos permite, independentemente do referencial em que fazemos as medidas, descobrir a existência de uma partícula que se formou numa reacção, mas que decaiu antes de termos oportunidade de a detectar directamente. Também de uma forma absolutamente natural, aceitamos que a massa de uma partícula livre é efectivamente uma das suas características e que nada tem que ver com a sua velocidade!

Ora, em muitos livros de Física Geral (e não só) é introduzido o conceito de dependência da massa com a velocidade,

partindo da popular expressão  $E = Mc^2$  em que, propositadamente e para evitar confusões, utilizamos a letra  $M$  maiúscula. A grandeza a ela associada é vulgarmente designada por *massa relativista* e para uma partícula com velocidade de magnitude  $v$  será dada por  $M = m / \sqrt{(1 - v^2 / c^2)}$ . Uma das razões para a sua utilização em cursos mais elementares está no facto do momento linear relativista ser definido com  $\vec{p} = M\vec{v}$  logo, a massa relativista substituiu a massa newtoniana  $m$  na expressão do momento e tudo parece ficar na mesma.

Talvez o grande responsável pela confusão que esta substituição gerou no ensino de nível elementar da física, tenha sido um autor tão insuspeito com Richard Feynman (um físico da área da Física de Partículas, prémio Nobel da Física). Foi ele que usou o conceito de massa relativista nas suas famosas "The Feynman Lectures on Physics" [1]. Mas afirmando, cautelosamente e no tom ligeiro que o caracteriza, que quem só quiser fazer contas basta saber que tem que substituir  $m$  por  $M$  nas equações de Newton. Simples de dizer, sim, mas nem sempre completamente percebido por quem lê. E daí a origem de todas as confusões, que de resto não são apenas dos nossos manuais nem de agora.

Em 1989, Lev Okun, um eminente físico teórico de Física de Partículas, escreve o artigo "The Concept of Mass" na revista *Physics Today* [2] explicando quais as vantagens do abandono do conceito de massa relativista, reconhecendo contudo que era um conceito amplamente divulgado ao nível do ensino secundário. Já dois anos antes Carl G. Adler, no seu artigo "Does mass really depend on velocity, dad?", publicado no *American Journal of Physics* [3],

tinha discutido a confusão que se instala na cabeça dos estudantes (e não só) quando se utiliza o conceito de massa dependente da velocidade. Como explicavam Okun e Adler, este conceito levanta mais problemas do que aqueles que resolve. Também a propósito do mesmo tema, Jorge Valadares escreveu na Gazeta de Física [4] um artigo em duas partes, que de uma forma clara, expõe os conceitos fundamentais de massa e energia em relatividade, artigo que infelizmente parece ser desconhecido de alguns autores de manuais escolares. Diga-se, como aliás é referido em vários textos, que o próprio Albert Einstein não via grande utilidade na definição de uma massa dependente da velocidade.

A expressão fundamental que resulta da teoria da Relatividade é a equação que exprime a equivalência entre a energia de repouso de um corpo  $E_0$  e a sua massa  $m$  (muitas vezes referida, de forma desnecessária, de massa em repouso)  $E_0 = mc^2$ . Um corpo, mesmo quando parado tem uma forma de energia que deriva da sua massa. Isto não significa que consigamos converter sempre essa energia numa forma utilizável. Já um corpo com massa  $m$  e com uma energia cinética  $E_k$  terá então uma energia total dada por  $E = E_k + mc^2$ , relação que alternativamente pode ser colocada na forma

$$E = mc^2 / \sqrt{(1 - v^2/c^2)}.$$

E se a uma massa  $m$  corresponde uma energia  $E_0$ , a uma energia  $E$  corresponde necessariamente uma massa? O fóton é o contra-exemplo mais flagrante, uma vez que não possui massa, mas possui energia. Isto não significa que, à emissão ou absorção de um fóton não corresponda uma diminuição ou aumento da massa (*em repouso*) do corpo. Efectivamente às variações de energia *interna* de um corpo correspondem variações de massa. Um corpo que absorve energia aumentando a sua temperatura aumenta consequentemente a sua massa. Essa variação será assim traduzida pela relação  $\Delta E_0 = \Delta mc^2$ . Mas a energia interna refere-se à energia de todas as partículas que formam um corpo no referencial do centro de massa do mesmo, e portanto este aumento de massa não significa que as variações de massa devidas à translação ou à rotação do centro de massa se traduzem em variações de massa, e que portanto esta varie com a velocidade global do corpo, a velocidade do seu centro de massa. Note-se ainda que, tal como mostra Okun [2], a massa  $m$  (*em repouso*) continua a ser a mesma que encontramos nas equações da mecânica newtoniana e a única que pode traduzir correctamente o conceito de inércia do corpo [3]. No final do seu artigo, Adler discute os prós e contras da utilização de um conceito de massa relativista. Sem surpresa verificamos que os prós se radicam quer em razões de ordem sociológica (a expressão  $E = Mc^2$  é talvez a equação mais famosa da Física), quer em razões de aparente simplificação de explicações

de fenómenos físicos como o desvio para o vermelho gravitacional [5]. Contudo, nenhuma das razões se baseia nos fundamentos da teoria da Relatividade (Restrita ou Geral). Além disso, notamos que o conceito de massa relativista não acrescenta nada à questão sobre a origem da massa, uma vez que o mecanismo de Higgs, actualmente aceite como uma possível explicação para a origem da massa das partículas elementares, não recorre a esse conceito.

Afinal massa e energia são uma mesma grandeza? Já vimos que quando há uma variação da energia interna de um sistema isso irá corresponder a uma variação de massa. Por outro lado, de um ponto de vista formal, podemos afirmar, tal como Taylor e Wheeler no seu livro "Spacetime Physics" [6] que a massa é a magnitude do quadri-vector energia-momento, enquanto que a energia é apenas uma das suas componentes. Mas também não podemos deixar de notar que, tal como escreveu Einstein referindo-se à expressão  $E_0 = mc^2$ , "*mass and energy are therefore essentially alike ; they are only different expressions for the same thing*" [7].

### Um inquérito aos docentes do ensino secundário

Colocou-se-nos então a questão de saber de que forma os docentes do ensino secundário percebem os conceitos de massa e equivalência massa-energia no quadro da teoria da Relatividade. Tendo em consideração o peso que os manuais escolares tradicionalmente têm na preparação das aulas e o facto de muitos dos docentes (a sua maioria, efectivamente) não ter frequentado uma licenciatura em Física, a nossa expectativa era a de que a maioria iria inclinar-se para a abordagem do manual escolar adoptado. A pertinência da questão deve-se ao facto de nos últimos anos ter havido mudanças nas abordagens que são feitas ao nível dos manuais escolares. Assim, podemos verificar que a situação não é uniforme e que, enquanto alguns manuais introduzem o conceito de dependência da massa com a velocidade, outros seguem o conceito de independência da velocidade, havendo ainda outros que misturam as duas abordagens.

Verificámos que as respostas dadas pelos docentes estão maioritariamente na linha das concepções apresentadas nos manuais escolares existentes em Portugal para o nível de ensino secundário que adoptam o conceito de massa relativista. Pode-se até dizer que esta posição não é única nem de agora.

Pensámos então em elaborar um questionário com diversas perguntas de escolha múltipla que traduzissem as diferentes opções metodológicas em confronto sobre os conceitos de massa e equivalência massa-energia. De forma a aproximar o questionário da linguagem seguida pelos docentes, a formulação das opções de resposta baseou-se em afirmações veiculadas em diversos livros científicos e/ou didácticos. Assim, algumas questões têm uma formulação com a qual não nos identificamos mas que traduzem abordagens seguidas por outros autores. O questionário foi colocado na internet em 2010 e um grupo de mais de 700 docentes foram contactados por email, sendo-lhes solicitado que respondessem de forma anónima, tendo cerca de 10% respondido ao questionário.

O questionário foi construído de tal forma que as opções apresentadas a cada questão traduziam perspectivas diferentes do mesmo conceito, não estando necessariamente uma opção mais correcta do que outra. Aliás, os participantes eram informados de que não se tratava de um teste, pelo que não se pretendia fazer qualquer tipo de avaliação dos conhecimentos dos docentes que nele participavam.

No que diz respeito ao conjunto dos participantes, a sua maioria é constituída por professores licenciados ou detentores do grau de mestre com formação inicial bastante diversificada (física, química, engenharia, ou física e química). Uma vez que estes conteúdos não têm sido frequentemente leccionados no ensino secundário, procurámos saber qual o grau de dificuldade sentida pelos docentes na sua prática lectiva. Uma maioria bastante expressiva dos docentes (74%) admitiu ter sentido dificuldade na abordagem do conceito relativista de massa-energia e o recurso a outra fonte além do manual escolar foi também expresso por 97% dos professores inquiridos. O questionário foi constituído por mais questões do que aquelas que neste artigo iremos discutir. Dois temas nucleares que nos preocuparam e cujas abordagens ainda são controversas, quer na literatura científica quer na literatura didáctica, são os seguintes:

- 1) A massa de uma partícula livre depende, ou não, da sua velocidade?
- 2) Massa e energia são uma mesma grandeza física ou são grandezas distintas?

### Análise dos resultados do Inquérito

Analisemos então de forma breve as respostas obtidas a quatro das questões colocadas no questionário.

#### Será a massa um invariante?

Uma das questões colocadas aos participantes foi a seguinte:

*“A – Relativamente à dependência da massa com a velocidade escolha as opções que lhe parecem mais correctas:”*

1. A massa de um corpo depende da sua velocidade.
2. A massa é uma grandeza invariante e independente do referencial em que é medida.
3. As variações de massa previstas por Einstein só são significativas para partículas que se deslocam a velocidades da ordem da velocidade da luz.
4. Nenhuma das opções.

A Figura 1 permite observar as opções dos docentes relativamente à questão A. Observa-se que 49 % dos inquiridos escolhe a opção 3 e 3 % a opção 1, sendo que 34% do total assinalam como correctas, em simultâneo, estas duas opções.

A opção 2, que é claramente distinta das duas anteriores, é escolhida apenas por 12% dos inquiridos como se pode observar no gráfico da figura 1.

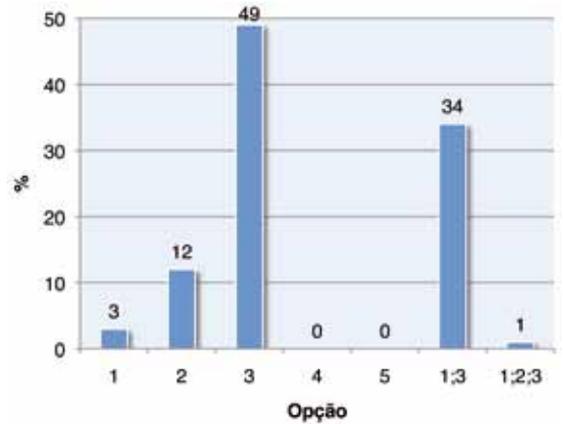


Fig. 1 - Resultados da questão A. No eixo das abcissas estão assinaladas o conjunto das opções escolhidas. Para se obter o número total de respostas numa determinada opção é necessário somar as várias parcelas (por ex. o número de respostas na opção 2 é de 12+1).

Outra das questões colocadas, relativamente ao conceito de massa foi:

*“B – A propósito da massa escolha as opções que lhe parecem mais correctas:”*

1. A grandeza  $(mc^2)^2$  dada pela equação  $(mc^2)^2 = E^2 - p^2c^2$  é um invariante de Lorentz e não depende do referencial em que é medido.
2. Observadores situados em diferentes referenciais inerciais medirão o mesmo valor para a energia de repouso (de um sistema isolado) e para a massa de repouso.
3. A massa própria ou massa em repouso não se conserva, mas num sentido relativista (em que a massa depende da velocidade) a massa conserva-se, tal como a energia total que lhe é equivalente.
4. Não existe conservação da massa. Apenas conservação da energia total do sistema.
5. Nenhuma das opções.

Os resultados da questão B encontram-se representados no gráfico da Figura 2. Nele é possível observar que 15% dos docentes escolhe a opção 1, 19% a opção 2, 18% a opção 4 e 7% não escolhe nenhuma das opções. É curioso notar que 6% dos docentes escolhe, em simultâneo, as opções 1 e 3, claramente contraditórias entre si.

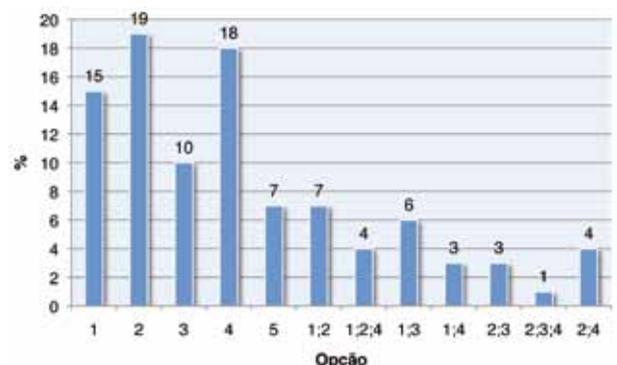


Fig. 2 - Resultados da questão B.

### Equivalência entre massa e energia

Mais controversa que a dependência da massa com a velocidade, é, em nossa opinião, a questão da equivalência massa-energia. Assim, foram colocadas as seguintes questões:

“C – Relativamente à relação massa - energia escolha as opções que lhe parecem mais correctas:”

1. Massa e energia para um corpo em repouso são a mesma grandeza Física, expressas em unidades diferentes, sendo o factor de conversão  $c^2$ .
2. Massa e energia de um corpo em repouso são grandezas físicas diferentes mas podem converter-se uma na outra sendo o factor de conversão  $c^2$ .
3. A massa e a energia são equivalentes, formam um só invariante que podemos denominar massa-energia.
4. Nenhuma das opções.

Nesta questão a preferência dos docentes recai sobre a opção 2 dado que 43% dos inquiridos assinalam esta opção de resposta. Mesmo considerando os docentes que optam, em simultâneo, por duas opções a preferência continua a incidir sobre opção 2 (56%). Seguem-se depois com 19% a opção 3, 7% a opção 1 e finalmente 7% a opção 4.

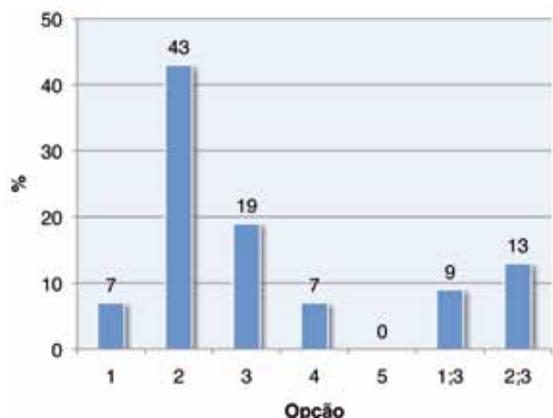


Fig. 3 - Resultados da questão C.

Outra das questões colocadas, foi:

“D – Escolha as opções que lhe parecem mais correctas sobre o princípio da conservação da massa/energia:”

1. O princípio da conservação de massa e o princípio da conservação de energia deram lugar ao princípio da conservação da massa-energia.
2. Um corpo que irradia ou absorve uma quantidade de energia  $\Delta E$  sofre uma perda de massa ou um aumento de massa  $\Delta m$  dada por  $\Delta E = \Delta mc^2$

3. As variações de energia de um corpo são sempre acompanhadas de variações da sua massa, ou seja de um aumento ou diminuição da sua inércia.

4. Nenhuma das opções.

Os resultados obtidos para a questão D permitem observar que 13% dos docentes assinalam a opção 1, 31% a opção 2 e 12% a opção 3, enquanto que 7% dos inquiridos consideram que nenhuma destas três opções está correcta. Neste caso, é sem dúvida a opção 2 que reúne maior consenso entre os docentes uma vez que 60% dos inquiridos a assinala isoladamente ou a par com outras opções de resposta.

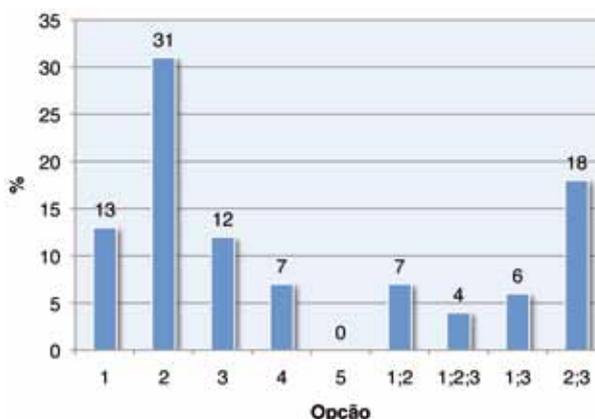


Fig. 4 - Resultados da questão D.

### Conclusão

A forma como ao longo dos anos os conceitos de massa e energia, no âmbito da teoria da Relatividade, têm sido apresentados quer na literatura científica, quer nos manuais escolares, tem conduzido a interpretações ambíguas e que seguramente confundem estudantes e docentes. Como vimos, o assunto continua a levantar polémica na actualidade. As respostas um tanto dispersas dadas ao nosso questionário parecem, em última análise, provar isso mesmo. Se, por um lado, o conceito antiquado de massa relativista parece ainda recolher a preferência da maioria, as dúvidas e contradições quanto ao papel da massa parecem ser evidentes a partir das respostas dadas. Assim, talvez já fosse tempo de fazermos uma revisão dos conceitos ensinados tendo em atenção que se trata de um campo da Física em evolução.

### Agradecimentos

Queremos exprimir o nosso agradecimento a todos os colegas que colaboraram, respondendo ao questionário que serviu de base ao artigo. Um agradecimento especial é devido ao Prof. Paulo Crawford pelas discussões que connosco teve e pelas muitas sugestões dadas.

### Leituras em português

Jorge Dias de Deus, “Viagens no espaço-tempo”, Gradiva (1998).

João Resina Rodrigues, “Introdução à teoria da Relatividade Restrita”, IST Press (1998).

## Referências

1. R. Feynman, R.B. Leighton e M. Sands, "The Feynman Lectures on Physics", Addison-Wesley (1977).
2. Lev Okun, "The concept of mass", Physics Today, Junho 1989, pags. 31-36.
3. Adler, C. A., "Does mass really depend on velocity, dad?", American J. Physics, 55 (8), 739-743 (1987).
4. Jorge Valadares, "O conceito físico de massa: I - Introdução histórica", Gazeta de Física 16 (1), 9-14 (1993) e "O conceito físico de massa: II - Análise do conceito", Gazeta de Física 16 (4), 13-19 (1993)
5. K. Krane, "Modern Physics", John Wiley (1996).
6. Edwin F. Taylor e John A. Wheeler, "Spacetime Physics, Introduction to special relativity", W. H. Freeman and Company (2ª edição, 1992).
7. Albert Einstein, The Meaning of Relativity, 6ª edição, primeira edição em 1955, edição da Elecbook, Londres, em 1997, disponível em <http://www.combat-diaries.co.uk/diary29/Link%2014%20Einstein.PDF>

# Software Livre para Visualização e Estudo do Som

Albino Pinto<sup>1</sup>, Carlos Saraiva<sup>2</sup>

1 Escola Secundária de Vila Cova da Lixa, Lixa

2 Agrupamento de Escolas de Trancoso, Trancoso

albinorafael@sapo.pt; carlos.saraiva1@gmail.com

O som é um conteúdo abordado nos 8º e 11º anos. Nos manuais escolares adoptados em Portugal, nestes anos de escolaridade, há actividades laboratoriais em que os autores usam geradores de sinais e osciloscópios. No entanto, o preço destes equipamentos faz com que, por vezes, as ditas actividades não sejam realizadas ou então sejam substituídas por demonstrações em que os professores usam os equipamentos e os alunos observam.

Neste trabalho vamos apresentar um gerador de sinais virtual, que pode ser instalado num computador e permite visualizar sons com frequências e intensidades diferentes, e também um software, que transforma um computador num osciloscópio virtual e permite visualizar e determinar o período e a frequência das ondas sonoras. Ambos os programas são livres, muito simples de usar, e excelentes para serem explorados tanto no 8º ano como no 11º ano. Com estes programas, é possível que nas escolas os professores possam preparar aulas laboratoriais, em que os alunos trabalhem em grupo sem estarem limitados ao número de equipamentos necessários.

Nas Orientações Curriculares do ensino Básico não estão indicadas actividades Laboratoriais, mas achamos importante que os alunos observem ondas produzidas por diapasões, por instrumentos musicais e sons do dia-a-dia e, também, que se use o gerador de sinais para observar a variação da frequência e amplitude de uma onda sonora.

No programa do 11º ano, está previsto nas actividades práticas de sala de aula que os alunos façam a “observação de sinais harmónicos produzidos por um gerador de sinais” e a “audição e observação de sinais sonoros não harmónicos”. Também na actividade laboratorial (AL 2.1) os alunos deverão “medir períodos e calcular frequências dos sinais obtidos com um gerador de sinais, comparando-os com os

valores nele indicados”. Todas estas actividades podem ser feitas a custo zero com os programas que referimos.

De seguida, vamos sugerir algumas actividades que podem ser desenvolvidas com os recursos que já referimos e também com material que existe nas escolas.

**Material necessário:** 1 Computador (PC1) para instalar o osciloscópio virtual; 1 Computador (PC2) com colunas para instalar o gerador de sinais; diapasões de frequências diferentes e respectivos martelos; 1 microfone.



Fig. 1 - Material necessário

## Procedimento

### Determinação do Período e Frequência de um diapasão

Instalar o osciloscópio virtual num computador (PC1). Ligar o microfone ao PC1 e activar o osciloscópio virtual. Percutir com o martelo um diapasão, para produzir som e aproximá-lo do microfone. Podemos visualizar a onda. A frequência marcada no diapasão que usámos era de 440 Hz. Este osciloscópio virtual permite determinar a frequência. Para isso, podemos clicar em *Pause* na janela que aparece. Para aparecer esta janela basta clicar nas teclas CTRL ou ALT. A imagem pára e depois é preciso clicar no canto superior esquerdo para medir o tempo (ver setas vermelhas da Fig. 2). Na janela aparece esse tempo (ver Dt na Fig. 3).



Fig. 2 - Janela do WinOscillo

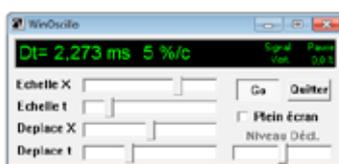


Fig. 3 - Período da onda

No monitor do osciloscópio virtual aparecem duas linhas verticais vermelhas a tracejado. Também se podem premir simultaneamente as teclas CTRL e V para aparecerem estas linhas. A linha com traços maiores pode ser deslocada na horizontal, para fazer coincidir com a outra o tempo correspondente ao período da onda (Fig. 4). Como o período corresponde a 2,273 ms (0,002273 s), a frequência pode calcular-se,  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,002273 \text{ s}} \approx 439,9 \text{ Hz}$ . Este valor é muito próximo do valor marcado. Podemos também variar a escala horizontal (escala do tempo), clicando na janela em *Echelle t*. Neste exemplo cada quadrícula corresponde a 1 ms. Esta opção pode ser útil, quando usamos sons com frequências muito diferentes. Também se pode deslocar a onda na horizontal clicando na janela em *Deplacet* para modificar a sua posição.

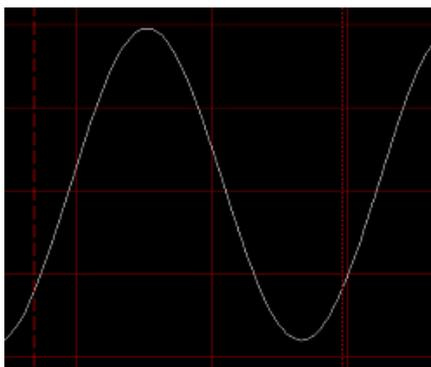


Fig. 4 - Onda do diapásão

### Determinação do Período e Frequência do gerador de sinais

Instalar o gerador de sinais no segundo computador (PC2). Ligar os altifalantes (colunas) ao computador. Ao activar o gerador de sinais virtual aparece uma janela (Fig. 5). Este gerador produz duas ondas e podemos variar a frequência e

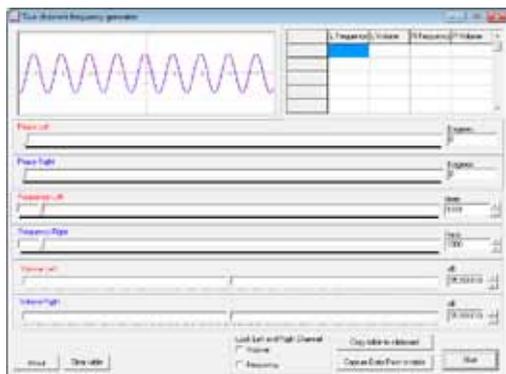


Fig. 5 - Gerador de sinais

intensidade de ambas. Mas, podemos produzir apenas uma, basta no volume de uma escolher 0 dB. Podemos depois variar a frequência e intensidade da outra onda. Este gerador é excelente, porque os alunos podem ouvir o som e visualizar no monitor o gráfico correspondente.

Também podemos aproximar o microfone, para visualizar e determinar o período e frequência do som com o osciloscópio virtual e compará-lo com o valor seleccionado no gerador. Podemos escolher outra frequência e repetir o procedimento anterior. Vamos dar um exemplo. Escolhemos no gerador uma onda de 1000 Hz (Fig 6). O período da onda detectada pelo osciloscópio (Fig. 7) foi de 0,998 ms (Fig. 8).

Fazendo as contas,  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,000998 \text{ s}} \approx 1002 \text{ Hz}$ . Este valor é muito próximo do que foi seleccionado no gerador (1000 Hz). Podemos escolher outras frequências no gerador e repetir o procedimento anterior, para determinar esses valores no osciloscópio virtual.

Também podemos variar a intensidade do som com o gerador e ver a correspondente variação da onda no osciloscópio, para que os alunos façam a relação entre sons fortes ou fracos com o que eles ouvem.

A escala vertical do WinOscillo permite a comparar a intensidade dos sons detectados. Basta clicar na janela onde está a informação em percentagem ou premir as teclas CTRL e H. Aparecem duas linhas verdes horizontais a tracejado. A linha com traços maiores pode ser deslocada para servir de referência.

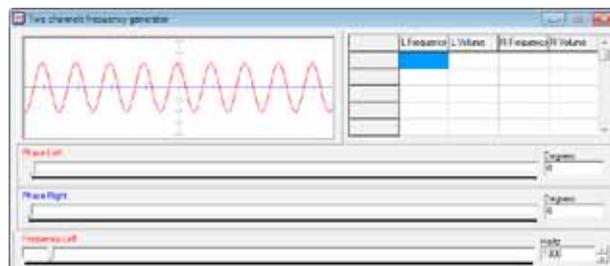


Fig. 6 - Onda de 1000 Hz

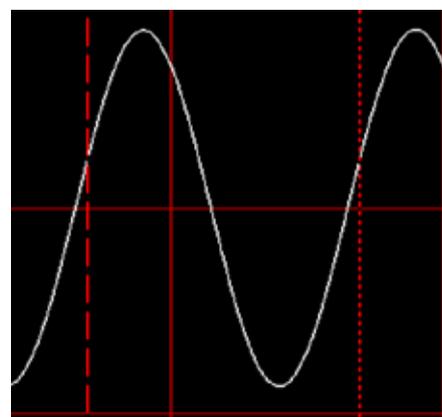


Fig. 7 - Onda do gerador

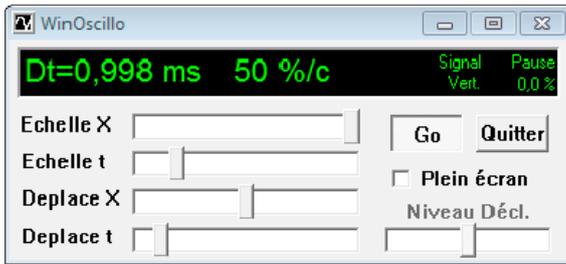


Fig. 8 - Período da onda

### Sobreposição de ondas

Produzimos duas ondas diferentes com o gerador de sinais. Na figura 9 pode ver-se uma onda de 564 Hz e 39 dB (linha vermelha) e uma onda de 1270 Hz e 34 dB (linha azul) que foram produzidas. Com o osciloscópio obtivemos uma imagem que é a onda resultante da sobreposição das duas (Fig. 10). As ondas produzidas pelo gerador são puras, mas o sinal detectado pelo osciloscópio virtual indica que a soma das duas é um som complexo. Este é um exemplo que pode ajudar os alunos a reconhecerem os sons complexos como sobreposição de sons harmónicos.

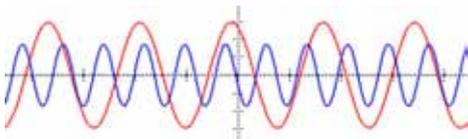


Fig. 9 - Ondas produzidas pelo gerador



Fig. 10 - Onda resultante detectada pelo osciloscópio

### Sons do dia-a-dia

Com o microfone e o osciloscópio também podemos visualizar sons do dia-a-dia e sons produzidos por instrumentos musicais. Na figura 11 está o sinal detectado ao pronunciar a vogal “a” e na figura 12 o som produzido por um despertador mecânico. Nas aulas os alunos acham muito interessante quando produzem sons e depois visualizam os respectivos sinais.

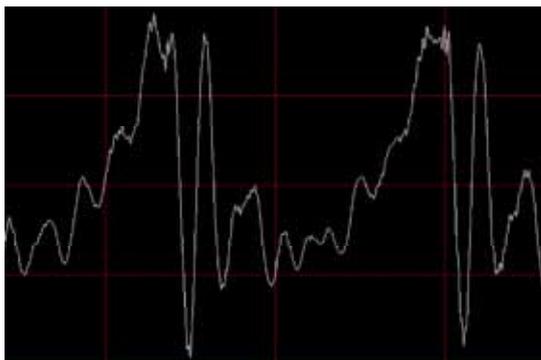


Fig. 11 - Som da vogal “a”

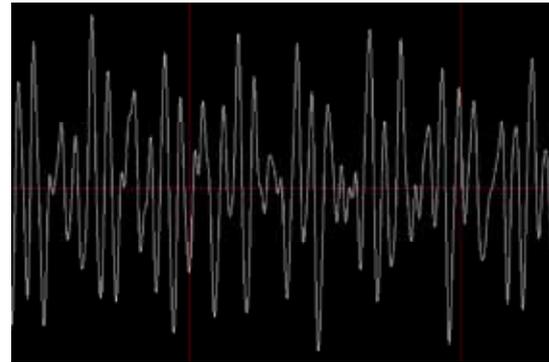


Fig. 12 - Som do despertador

### Outra aplicações

#### Medir a frequência com a base de tempo

No software WinOscillo v0.88 também é possível medir a frequência usando a informação da janela que indica a base de tempo. Este tipo de exercícios aparece com frequência nos manuais do 11º ano e também nos exames nacionais. Vamos dar um exemplo. Usámos um diapasão em que a frequência marcada era de 870 Hz. Na janela a base de tempo corresponde a 2 ms por quadrícula (2 ms/C) como se vê na figura 13. Na onda visualizada no ecrã (Fig. 14) pode ver-se que 7 períodos correspondem a aproximadamente 4 quadrículas e, como cada quadrícula corresponde a 2 ms, então 7 períodos equivalem a 8 ms. Por isso, 1 período vai corresponder a 1,14 ms (0,00114 s). Calculando a frequência,

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,00114 \text{ s}} \approx 877 \text{ Hz} .$$

Este valor é próximo do valor indicado no diapasão (870 Hz). Nas aulas os professores podem aproveitar este software para colocar este tipo de exercícios aos alunos.

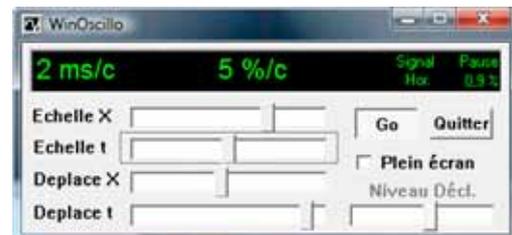


Fig. 13 - Base de tempo

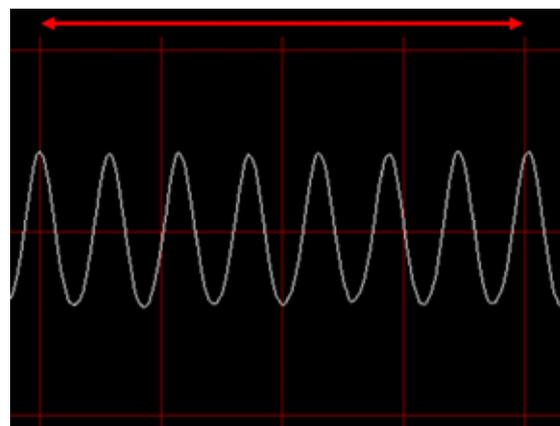


Fig. 14 - Determinar a frequência usando a base de tempo

## Copiar e guardar Imagens

Outra opção que o osciloscópio virtual tem é a possibilidade de gravar as imagens das ondas obtidas. Para isso, depois de clicar em *Pause*, clicar nas teclas CTRL e C do computador para copiar as imagens. Depois, para colar as imagens no Word, clicar em CTRL e V. Com o gerador podemos criar ondas com frequências e intensidades que quisermos e depois gravar as imagens, que podem ser muito úteis para os professores fazerem exercícios para as fichas de avaliação. Vamos dar um exemplo. Usámos o gerador de sinais para produzir dois sons de frequências 300 Hz (Fig. 15) e 600 Hz (Fig. 16), mas com a mesma intensidade. Podemos também guardar imagens com sons de igual frequência, mas intensidades diferentes. Com as imagens os professores podem fazer exercícios, em que os alunos são questionados sobre qual dos sons, por exemplo: a) é mais forte? b) tem maior frequência? c) é mais alto (ou baixo)? Estes gráficos também podem ser usados nas aulas para calcular o período e a frequência.

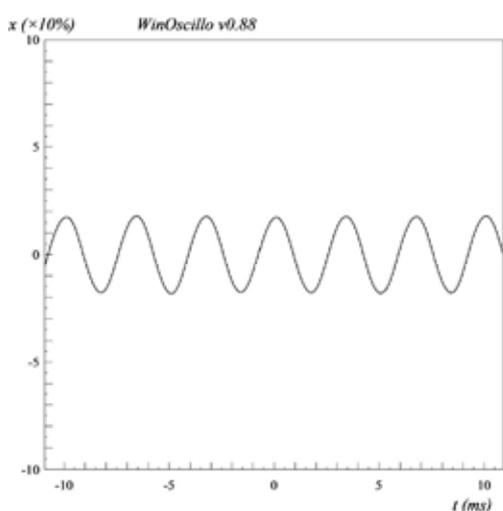


Fig. 15 - Onda com frequência de 300 Hz

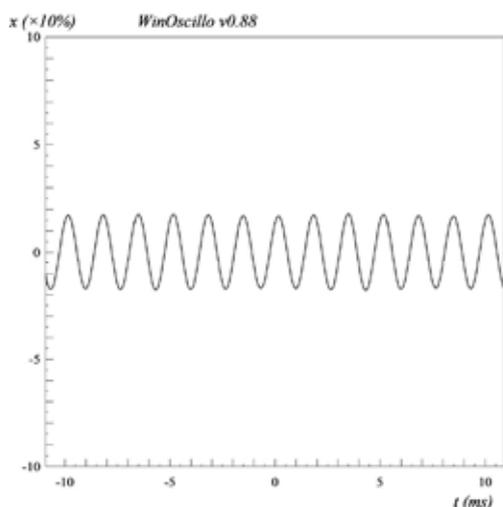


Fig. 16 - Onda com frequência de 600 Hz

## Como gerador de Sinais

O WinOscillo também tem um gerador de sinais, em que é possível criar sons com frequências entre 6 Hz a 22 050 Hz e com intensidades também diferentes e durante um tempo que pode ser também seleccionado. Para esta opção, clicar com o lado direito do rato em cima da janela do programa e depois escolher *Outils*, depois *Générateur* e, finalmente *Sweep* ou premir as teclas CTRL e G (Fig. 17). Ao clicar em *Go* o gerador começa a produzir esse som. No exemplo apresentado a frequência inicial ( $f_1$ ) foi de 200 Hz e a final ( $f_2$ ) de 1000 Hz, com a duração de 10 segundos (Fig. 18). Podemos clicar em *Pause* e o gerador pára e ao clicar outra vez em *Go* volta a produzir som.

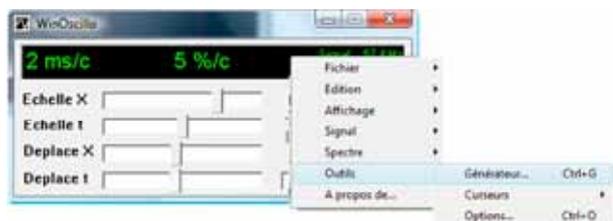


Fig. 17 - Gerador de som



Fig. 18 - Escolha dos valores

## Espectro sonoro

O WinOscillo também permite visualizar o espectro sonoro. Para isso, basta clicar com o botão direito do rato na janela do programa, depois seleccionar *Affichage* e, finalmente, *Spectre* (ou, simplesmente, premir a tecla F3), como indica a figura 19. Para voltar ao modo normal (*Signal*) basta premir a tecla F2). Também se pode clicar na janela onde está escrito *Signal* para visualizar o espectro.

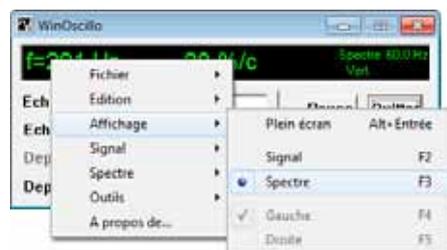


Fig. 19 - Espectro sonoro

As figuras seguintes mostram os espectros sonoros de um diapasão de 440 Hz e de uma flauta em que se tocou a nota lá de frequência 440 Hz.

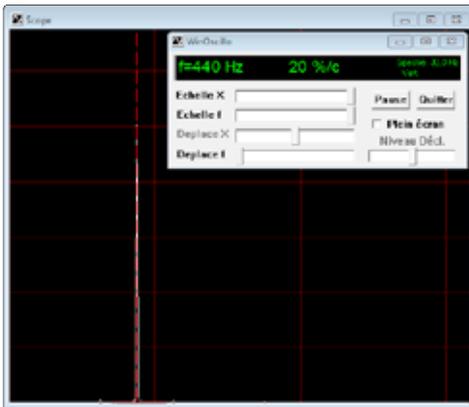


Fig. 20 - Espectro sonoro de um diapásão

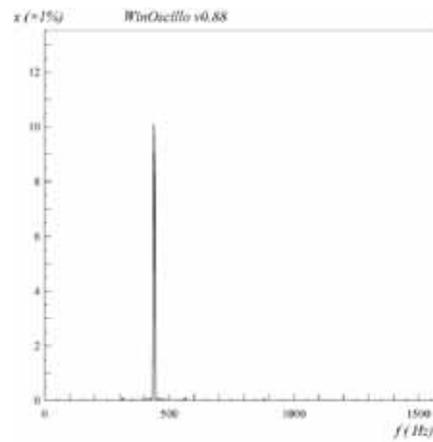


Fig. 21 - Espectro sonoro de um diapásão

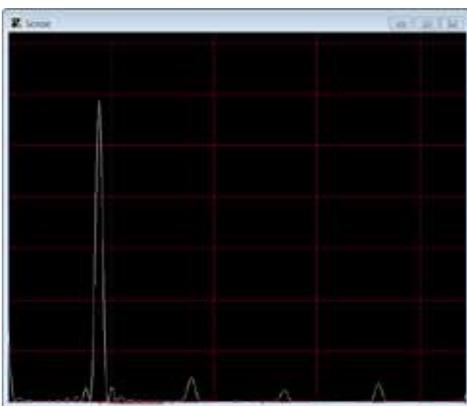


Fig. 22 - Espectro sonoro de uma flauta

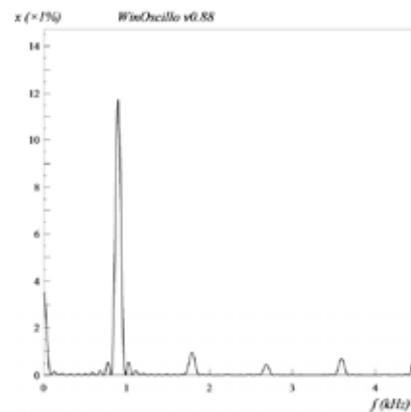


Fig. 23 - Espectro sonoro de uma flauta

O som produzido pelo diapásão é, essencialmente, harmónico, ou seja, tem apenas uma frequência (no nosso caso é de 440 Hz). No entanto, a onda sonora emitida pela flauta contém várias frequências, que incluem a fundamental, de frequência mais baixa (aproximadamente 900 Hz), e os restantes harmónicos de frequências mais elevadas. Para se medir o valor da frequência de cada harmónico clica-se com o botão esquerdo do rato na janela da imagem e arrasta-se a linha vertical (a tracejado) até ao respectivo pico.

Dos livros escolares usados nos 8º e 11º anos (manuais escolares, Guias do Professor e Cadernos de Actividades/Laboratoriais), que consultámos (ver referências), há alguns que apresentam actividades laboratoriais, onde são usados um osciloscópio e

também um gerador de sinais, mas nenhum faz referência a software livre que apresentámos e que pode substituir os referidos equipamentos.

Os alunos usam e têm apetência para as novas tecnologias. Nas nossas aulas, depois de usarmos estes programas, também os fornecemos aos alunos para eles os poderem usar em casa, o que é também uma vantagem em relação aos equipamentos físicos reais (osciloscópios e geradores de sinais) que se usam nas escolas.

Os manuais escolares e os programas são a fonte mais usada para os professores na preparação das aulas e por isso os seus autores deveriam apresentar software livre pelas vantagens que já referimos.

### Agradecimento

Os autores deste trabalho agradecem ao professor de música do Agrupamento de Escolas de Trancoso, José Casanova, por ter tocado a flauta que nos permitiu registar a onda e os seus harmónicos.



Fig. 24 - Forma da onda de uma flauta



### Albino Rafael Mesquita

**Pinto** é professor na Escola Secundária da Lixa, Licenciado em Física e Mestre em Física - Formação Contínua de Professores. Desenvolve simulações utilizando ferramentas

computacionais de acesso gratuito. É autor do

blog: <http://fisicanalixa.blogspot.com/>. Também gosta de meter as “mãos na massa”.



### Carlos Alberto Alexandre

**Saraiva** é Licenciado em Física pela Universidade de Coimbra, Mestre em Ensino de Física e Química pela Universidade de Aveiro e professor no Agrupamento de Escolas de Trancoso. Gosta de construir demonstrações

com materiais do dia-a-dia para motivar os alunos. É autor de vários artigos publicados na *The Physics Teacher*, *Physics Education* e na *Gazeta de Física*.

### Referências

1. WinOscillo v0.88 (Osciloscópio virtual livre) disponível em: <http://www.WinOscillo.com>
2. Two channels frequency generator v.1.0 (Gerador de sinais livre) disponível em: [www.cognaxon.com](http://www.cognaxon.com)
3. Programa de Física e Química A (11º ano), Helena Caldeira e Isabel Martins (coordenadoras), Ministério da Educação, Departamento do ensino secundário, Março de 2003.
4. Orientações curriculares, Ciências Físicas e Naturais, 3º Ciclo, Cecília Galvão (Coordenadora), Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica, Março de 2002.
5. Ontem e Hoje, Física 11º ano, Adelaide Bello e Helena Caldeira, Porto Editora.
6. 11F, Física 11º ano, Graça Ventura, Manuel Fiolhais, Carlos Fiolhais, João Paiva e António Ferreira, Texto Editores.
7. Física na Nossa Vida, Física 11º ano, M. Margarida Rodrigues e Fernando Dias, Porto Editora.
8. Física 11, Física 11º ano, António Silva, Cláudia Simões, Fernanda Resende e Manuela Ribeiro, Areal Editores.
9. Desafios da Física, Física 11º ano, Daniel Silva, Lisboa Editora.
10. Novo Ver +, Física 11º ano, Alexandre Costa, Augusto Moisão e Francisco Caeiro, Plátano Editora.
11. Energia em Movimento, Física 11º ano, Rita Carriche e Teresa Veladas, Santillana Constância.
12. Universo da Matéria, 8º ano, Isabel Pires e Sandra Ribeiro, Santillana Constância.
13. Terra.lab, 8ºano, Adelaide Rebelo e Filipe Rebelo, Lisboa Editora.
14. Física e Química na Nossa Vida, 8º ano, M. Margarida Rodrigues e Fernando Dias, Porto Editora.
15. Eu e o Planeta Azul, 8º Ano, Noémia Maciel, Ana Miranda e M. Céu Marques, Porto Editora.
16. (CFQ)8, 8º Ano, António Silva, Cláudia Simões, Fernanda Resende e Manuela Ribeiro, Areal Editores.
17. Sustentabilidade na Terra, 8º Ano, Cremilde Caldeira, Jorge Valadares, Margarida Vicente e Margarida Neves, Didáctica Editora.
18. FQ 8, Sustentabilidade na Terra, M. Neli Cavaleiro e M. Domingas Beleza, Asa.
19. 8CFQ, 8º Ano, Carlos Fiolhais, Manuel Fiolhais, Victor Gil, João Paiva, Carla Morais e Sandra Costa, Texto Editores.

# Engenharia Biomédica:

## zona de trocas

Teresa Peña

O Curso de Engenharia Biomédica do Instituto Superior Técnico (IST) fez 10 anos neste ano de 2012. Foi uma iniciativa pedagógica e científica que uniu duas escolas de Universidades diferentes, o IST da Universidade Técnica de Lisboa (UTL) e a Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa (FMUL). Surgiu com ele uma cultura e uma estratégia de expansão da capacidade universitária novas, assentes em sinergias e fertilização entre temas de fronteira do conhecimento.

Ambas as instituições não só souberam criar este projecto, o que é de si já difícil, mas também mantê-lo e aprofundá-lo, o que ainda é mais difícil. Certamente o processo de consolidação desta oferta de ensino serviu como realidade precursora da fusão das duas universidades numa nova universidade de Lisboa. Este processo de fusão por sua vez arrancou e avançou a toda a velocidade também em 2012. As suas intenções foram mesmo, no princípio do mês de Agosto, condensadas num Protocolo entre o XIX Governo Constitucional, a UTL e a Universidade de Lisboa. Compromete-se o Governo nesse Protocolo a aprovar o decreto-lei de fusão das duas instituições. Na cerimónia de assinatura, além dos ministros da Educação e Ciência e das Finanças, esteve presente o Ministro da Saúde. Pode-se assim dizer que as trocas iniciadas com a Engenharia Biomédica acabaram por originar um porto de transacções de conhecimento bem maior.

A Engenharia Biomédica é o cruzamento dos princípios e abordagens das ciências da engenharia com as questões biomédicas. Terá nascido de uma cultura espontânea de interface, e foi catalizada pela pressão material e social, e certamente, também, pela opressão da angústia sobre o significado da vida, a doença e a morte. Com o tempo, começou inevitavelmente a consolidar-se, como diz o historiador da ciência Peter Galison sobre as interfaces em ciência, numa *trading zone*, isto é, numa plataforma organizada onde duas comunidades trocam bens,



Fig. 1 - Fotografia dos estudantes da primeira edição da Licenciatura de Engenharia Biomédica, no dia de inauguração do curso, tirada no campus da FMUL, junto à estátua de Egas Moniz. Professores do IST e da FMUL nas duas últimas filas.

os conhecimentos neste caso, coordenam acções e estabelecem contratos.

Foi assim criada em 2001-2002 no Instituto Superior Técnico a primeira Licenciatura em Engenharia Biomédica em Portugal, a que se sucedeu de forma natural em 2006, em sequência da aplicação da legislação referente ao Processo de Bolonha, o Mestrado Integrado em Engenharia Biomédica. No Imperial College, o grau de BSc. bem como o de MSc. em Engenharia Biomédica começou a ser oferecido em 2003, podendo considerar-se que o IST foi pioneiro na sua iniciativa. O objectivo estratégico era potenciar uma intervenção criativa nas tecnologias biomédicas.

O Curso surgiu de uma iniciativa de físicos, do Departamento de Física do IST. A Física, por natureza, é abrangente e enquadra os conceitos que alicerçam a explicação e a intervenção de processos variados, da fisiologia à biomecânica. Com o incentivo do presidente do Departamento na altura, Gustavo Castelo Branco, um pequeno grupo começou a reunir-se no gabinete do Jorge Dias de Deus (Pedro Brogueira, Luís Melo, e eu própria). E aplicámos então a metodologia típica das áreas de interface: a rede social de conhecimentos. Começámos por pedir a Alexandre Quintanilha que nos visitasse numa das suas vindas a Lisboa. Quando nos encontrámos, encantou-me com descrições, em palavras e movimentos de dedos sobre a mesa, da micromecânica do movimento celular e intracelular. Em atmosfera de jantar num restaurante junto ao IST, falámos ainda com António Vaz Carneiro e Nuno Jalles, médicos que conhecíamos pessoalmente, e que traziam ainda nos olhos a experiência de alguns anos nos Estados Unidos.

A iniciativa dos físicos agregou com rapidez e entusiasmo oito departamentos de várias especialidades de engenharia do Instituto Superior Técnico, e o curso beneficiou desde o seu início da participação científico-pedagógica de nove Departamentos do IST. A Física, sempre aberta ao futuro, percebeu que a formação a oferecer devia ser alargada, e chamar-se Engenharia Biomédica, em vez da designação que tínhamos considerado inicialmente, Engenharia Física Biomédica. Tal como Zuckerberg seguiu o conselho de deixar cair o *The*, que particularizava *The Facebook*, os físicos de imediato seguiram a mudança de *branding* sugerida por João Lobo Antunes, nesse tempo presidente do Conselho Científico da FMUL, e que deu sempre grande apoio à ideia e à sua concretização. A FMUL foi pois um parceiro crucial na iniciativa e construção do curso, desde o primeiro instante, e a essa escola cabe ainda hoje a responsabilidade científica e pedagógica de cerca de um quinto das disciplinas. Médicos como Teresa Paiva, Leonor Parreira, Fernando Lopes da Silva, João Eurico da Fonseca, Jacinto Monteiro, e posteriormente José Fernandes e Fernandes, estiveram na linha da frente do curso.

A prudência e bom senso imperaram sempre, por exemplo na restrição do número de vagas de ingresso, que na primeira edição era 25, tendo aumentado suavemente até 2009 para 50, número que se mantém até hoje. Em 2007 a Coordenação do curso apresentou no tempo recorde de três meses o dossiê de acreditação do Curso à Ordem dos Engenheiros, tendo o Conselho Directivo Nacional desta ordem profissional decidido, também em tempo recorde de três meses, no sentido da Acreditação no âmbito do Colégio de Engenharia Química. Os primeiros Engenheiros Biomédicos portugueses passaram decididamente desde então a ser reconhecidos pelos seus pares. No fim de um ciclo de dez anos surgem agora os primeiros doutoramentos dos alunos pioneiros, que se licenciaram há cinco anos.

A Engenharia Biomédica é um dos poucos exemplos de actividade das nossas universidades onde a investigação foi a reboque do ensino, alimentando-se e engrossando-se com este, com as dissertações desenvolvidas por estudantes, e com as sinergias que o ensino, pelo menos no IST, impôs a duas culturas anteriormente bem separadas e distintas: a dos professores engenheiros e a dos professores médicos.

No curso de Engenharia Biomédica conflui muita inovação e ciência de natureza variada. Podemos começar, por exemplo, pela nanotecnologia e a possibilidade de transporte de medicamentos especificamente direccionados, sem desvios, a determinados tecidos, reduzindo efeitos colaterais inevitáveis doutra forma. Há também a revolução da imagiologia com as sofisticadas recentes da técnica de ressonância nuclear magnética, que abre, sem abrir, o cérebro, o pensamento, o desejo, a emoção, a personalidade, de uma forma que deve fazer Freud mover-se no túmulo, com raiva por ter nascido cedo demais.

Com a Engenharia Biomédica, o que é a humanidade, o ser humano, está a mudar depressa. Já não são só os óculos ou as próteses auditivas que nos ajustam nas nossas deficiências de interacção com o mundo e os outros. Os

tecidos e os órgãos com que nascemos começam a poder ser substituídos, amparados e melhorados com verdadeiras maravilhas, emergentes da síntese da mecânica com a ciência dos materiais, e o controlo e processamento de sinais. A possibilidade de sermos meio *cyborgs* / meio humanos já não é um desvario da ficção científica. Um outro exemplo são as base de dados gigantescas, organizadas numa web interactiva, fantásticamente vasta e variada, que têm o potencial de dar aos médicos uma ferramenta fantástica de apoio à decisão, mais informada e universal que nunca.

Como proponente do curso e sua coordenadora durante oito anos, após o convite de Jorge Romão (que tinha substituído Gustavo Castelo Branco como presidente do departamento), quando surgiram dificuldades, deixava-me levar pelo sonho (ou sono, que é terapêutico) de que estava a contribuir para uma nova geração de empreendedores com formação científica, e vice-versa, de cientistas com consciência da importância dos valores do empreendedorismo. Mas não era só sonho. Pois volvidos dez anos, há uma geração aí: com conhecimento na cabeça, vontade na alma.

Deixo-lhes aqui três desafios para o futuro. O primeiro é o da articulação da abertura requerida no desenvolvimento do conhecimento científico com o sigilo fechado das cláusulas impostas pela necessidade do negócio. O segundo é o de conciliar a evolução constante da ciência com os custos de capital das actualizações de instrumentação e prática clínica. Finalmente, o terceiro, sempre foi importante, mas no contexto económico e financeiro actual ainda é mais premente: o de tornar disponível de forma alargada sempre que necessário, uma medicina de base tecnológica e por isso, felizmente melhor e mais certa, mas infelizmente mais cara. Inevitavelmente, tem de ser mais cara?

Entre a Medicina e a Engenharia, a *trading zone* do desenvolvimento científico de interface de que falava Galison, parece estar a evoluir bem. E entre a Medicina e a Gestão? E nas outras áreas? Em geral, como se afirmará a nova universidade, sabendo-se que nos assuntos de conhecimento, muitas vezes o tamanho pode não ser tudo?



Fig. 2 - Projecto de símbolo para o curso realizado pelo aluno da primeira edição do curso João Tiago Fernandes.

CONCURSO  
MAIS ENERGIA

**Na próxima Gazeta de Física  
publicação dos trabalhos vencedores**

fundação  galp energia

 sp física SOCIEDADE  
PORTUGUESA DE FÍSICA

Siga a Gazeta no Facebook:  
[www.facebook.com/Gazeta.de.Fisica](http://www.facebook.com/Gazeta.de.Fisica)





## Projecto **MEDEA**

Medição de Campos Eléctricos e Magnéticos no Meio Ambiente

### **ESCOLAS VENCEDORAS 2012**

#### **1º PRÉMIO**

- Colégio La Salle: **ELETRICOLS**

#### **MENÇÃO HONROSA**

- ES de Sever do Vouga: **MAGNETITTE**
- ES de Sever do Vouga: **BOBINES**
- EB2/3 Cego do Maio: **THE MAGNETIC TEAM**

