



# PULSAR

REVISTA DO NÚCLEO DE FÍSICA DO IST | 1º SEMESTRE 2015/2016 | EDIÇÃO 36 | DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

## *NEW HORIZONS*

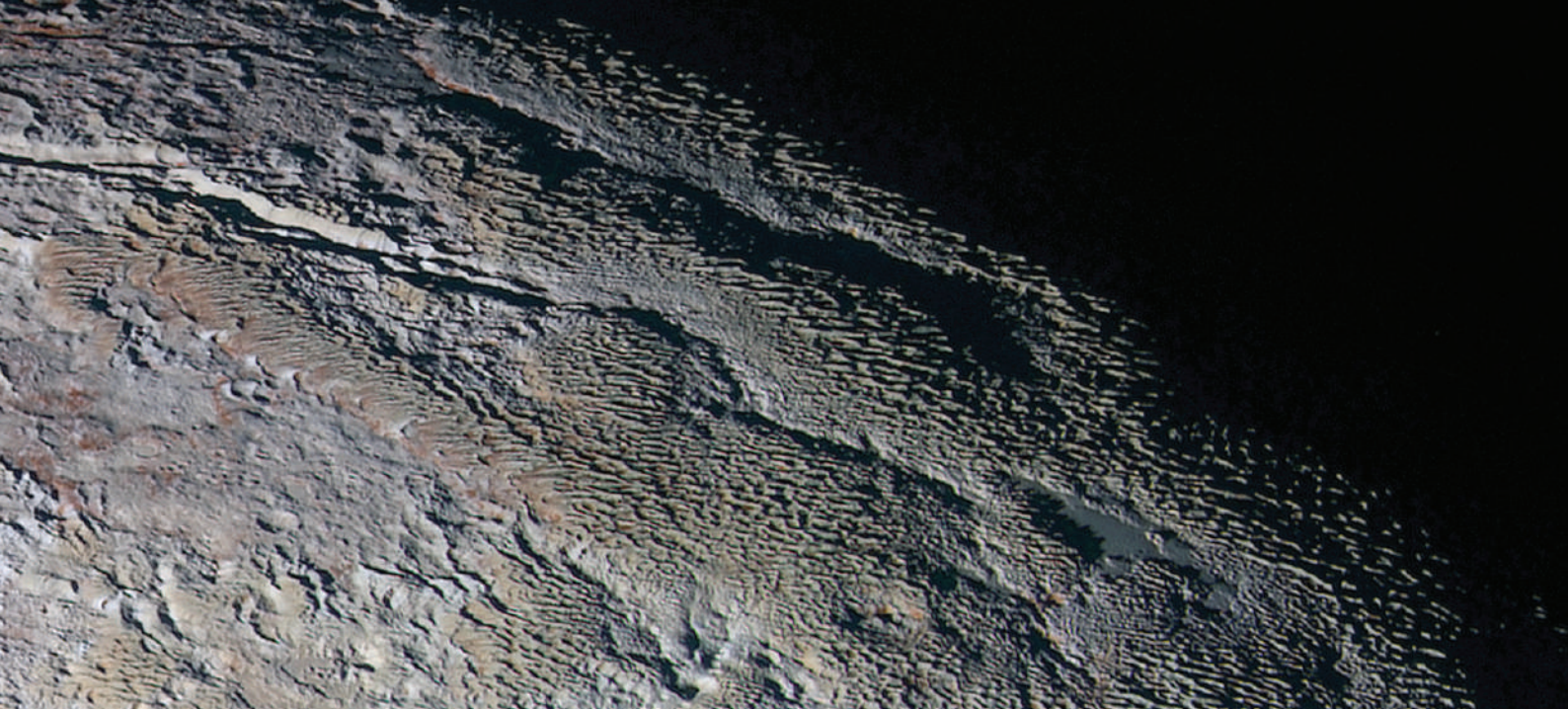
Entrevista com Alice Bowman,  
MOM da missão espacial

## EXPERIÊNCIA LIGO

À (re)descoberta das ondas gravitacionais

## RECONEXÃO MAGNÉTICA

Conversa com Nuno Loureiro, IPFN



**Destaque acima:** Montanhas Tartarus Dorsa na superfície de Plutão.

Fonte: © New Horizons/NASA

**Imagem de capa:** Plutão, combinando imagens de vários ângulos com análise multivariada.

Fonte: © New Horizons/NASA

## Apoios



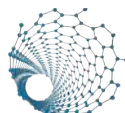
**TÉCNICO**  
LISBOA

**U LISBOA**

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA



**ipfn**  
INSTITUTO DE PLASMAS  
E FUSÃO NUCLEAR



**CeFEMA**

Centro de Física e  
Engenharia de Materiais  
Avançados



centra



**CFTP**  
Centro de Física Teórica de Partículas



**LABORATÓRIO**  
**HERCULES**  
HERANÇA CULTURAL, ESTUDOS E SALVAGUARDA

## Parceiros



Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico



artes gráficas

## Ficha Técnica

### Direcção:

Ana Henriques

Nuno Santos

Rita Teixeira da Costa

### Redacção:

André Gonçalves, André Martins, António Coelho, Beatriz Lopes, Henrique Rodrigues, João Melo, Leonardo Silva, Miguel Ribeiro, Nuno Santos, Rita Neves, Rita Teixeira da Costa, Rodrigo Campos de Carvalho.

*Autores convidados:* José Pereira Leal, Gonçalo Quinta

### Revisão de textos:

Nuno Santos, Rita Teixeira da Costa

## Arte

**Design e montagem:** Ana Henriques, Fábio Cruz, Rita Teixeira da Costa

## Produção

**Impressão:** LST, Artes Gráficas

**Tiragem:** 1500 exemplares

## Contacto

**Site:** <http://pulsar.nfist.pt>

**e-mail:** [pulsar@nfist.pt](mailto:pulsar@nfist.pt)

**Morada:** Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico, Avenida Rovisco Pais, Instituto Superior Técnico, Edifício Ciência - Departamento de Física, 1049-001 Lisboa

**Telefone:** 218419075

**Ext:** 3075

## Índice

- 4** Breves & Crónica *A Very Big Bang*
- 5** DIYPhysics: Gotas Saltitonas
- 6** À conversa com Luís Melo
- 8** Ondas de Faraday
- 10** New Horizons e entrevista a Alice Bowman
- 13** 20 anos de TWEPP
- 14** Experiência de Michelson
- 16** Ondas gravitacionais (*revisited*)
- 18** Como ser um físico milionário
- 18** Gluões: os primos afastados dos fotões
- 19** Pseudociência na medicina
- 22** A física dos Jogos Olímpicos
- 23** Reconexão magnética
- 24** Biologia Computacional
- 26** A física e tecnologia da televisão

## Editorial

Novo ano, nova PULSAR. Nesta nova edição da revista, com uma equipa renovada, fazemos um destaque especial à missão *New Horizons*, e às expedições que a antecederam, bem como à recente detecção de ondas gravitacionais pelo LIGO. Afinal, na PULSAR, o nosso objecto é sempre o infinito e mais além!

Mas, como a Física aqui na Terra também é digna de nota, não ficamos por aqui. Na crónica *DIYPhysics* e no artigo *Ondas de Faraday*, damos a conhecer um lado mais divertido das gotas de água. E, como a PULSAR não é só brincadeira, apresentamos ainda alguns casos de sucesso na Física portuguesa: os relógios do professor Luís Melo, e a investigação de ponta do professor Nuno Loureiro em Física de Plasmas.

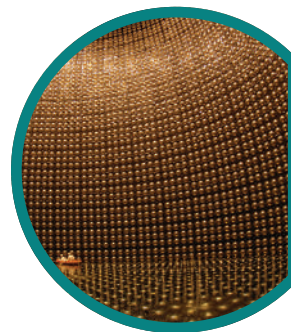
Finalmente, e como este semestre é o de preparação da cobiçada XIX edição da Semana da Física, organizada anualmente pelo NFIST para centenas de alunos do Ensino Secundário, avançamos já uma dica para o tema que escolhemos, num artigo sobre a Física dos Jogos Olímpicos.

Estejam atentos a mais novidades da PULSAR!

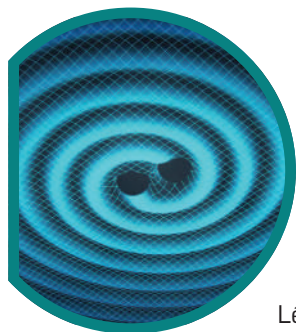
Até breve,  
Rita Teixeira da Costa  
Ana Henriques  
Nuno Santos

## Um Nobel muito leve

O Prémio Nobel da Física 2015 foi atribuído aos físicos Takaaki Kajita (Japão) e Arthur McDonald (Canadá) pela “descoberta das oscilações de neutrinos, que mostra que os neutrinos têm massa”. Estas partículas elementares, de difícil detecção, foram consideradas de massa nula até à descoberta do fenómeno das oscilações de neutrinos pelas colaborações *Sudbury Neutrino Observatory* e *Super-Kamiokande* (ao lado). Na sua próxima edição, a PULSAR explicar-te-á o que estas partículas esquivas nos contam sobre o Universo.



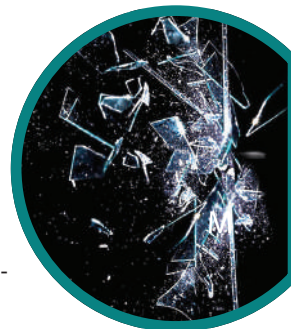
## Ouvir o espaço-tempo



A missão *LISA Pathfinder* da Agência Espacial Europeia (ESA) descolou no passado dia 3 de Dezembro do Porto Espacial Europeu em Kourou, Guiana Francesa. O propósito da missão é observar directamente ondas gravitacionais, flutuações no tecido do espaço-tempo previstas na Teoria da Relatividade Geral, publicada por Albert Einstein há um século. Estas ondas, que se propagam com a velocidade da luz, são emitidas, por exemplo, quando dois buracos negros colidem. A primeira detecção directa das ondas gravitacionais foi anunciada a 11 de Fevereiro. Lê mais sobre este assunto nas páginas 16-17.

## Um Universo quanticamente irreversível

Um artigo recentemente publicado na *Physical Review Letters* sugere que as leis da Termodinâmica são também válidas em Mecânica Quântica. Os autores criaram um sistema quântico isolado, ao qual aplicaram um campo magnético oscilante. A aferição da variação da entropia do sistema levou o grupo de investigadores a concluir que o processo quântico em estudo era irreversível, dado que a entropia do sistema aumentava sempre. Esta descoberta pode vir a ter implicações no desenvolvimento de novas tecnologias, em particular de computadores quânticos.



## Crónica | A Very Big Bang

por Henrique Rodrigues, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**A**firmar que o universo surge a partir de uma singularidade de tremenda densidade e temperatura é uma declaração tão útil em si como uma vela apagada numa sala escura. O Big Bang enquanto puro conceito não basta: onde adquiriu vida foi na potencialização de uma ponte lógica entre o início e o agora. Esta ponte – o modelo proposto por Alan Guth em 1980 – foi baptizada por Modelo Inflacionário.

A enorme libertação de energia originada pelo Big Bang levou a que o universo se expandisse a uma velocidade superior à da luz, tendo em  $10^{-33}$  segundos atingido um diâmetro de 100 km. Princípios relativistas permaneceram inviolados: embora nada possa viajar mais rápido do que a luz, aquilo que se expandiu foi precisamente isso – nada, isto é, o vácuo. Ao mesmo tempo, algo diferente ocorria. De facto, a Superforça que regia toda a interacção primordial subdivide-se sucessivamente na força gravítica, na força nuclear forte e nas forças electromagnética e nuclear fraca, originando as quatro interacções fundamentais; simultaneamente, formam-se os primeiros quarks e

glúões, seguidos de hádrons e mesões, surgindo também o mecanismo de Higgs responsável pela atribuição de massa a estas partículas elementares.

Mas se o Big Bang foi um acontecimento onde se libertou energia, como é que surgiu a matéria? Lembremos que matéria e energia não são grandezas isoladas e independentes – podem interconverter-se. Em aceleradores de partículas, o choque de partículas movendo-se a velocidades quase luminosas leva à formação de novas partículas diferentes. Por isso, a equação  $E = mc^2$  apresentada por Einstein codifica em 3 pequenas letras o princípio de equivalência massa-energia: o mecanismo que permitiu a formação destas partículas elementares.

Utilizando estes tijolos, edificou-se o mundo que hoje conhecemos e desconhecemos. Como? A resposta passa pela guerra entre a matéria e a anti-matéria e levar-nos-á através do tempo, passando pelos núcleos das estrelas, até por fim chegarmos à criação de todos os elementos que hoje nos rodeiam. Mas isso é uma história para uma próxima vez. ■

# DIYPhysics

## Gotas Saltitonas

por Rodrigo Campos de Carvalho\*, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**S**e passas bastante tempo a cozinhar, esta experiência é para ti. Se a culinária te aborrece e aquilo que te diverte verdadeiramente é aquecer uma frigideira e despejar água fria por cima dela porque isso faz barulho e liberta vapor, então também vais gostar desta. Se por outro lado não és fã de fogões nem de evaporar água de forma espetacular, mas apenas uma pessoa que tem frigideiras, então não te preocupes: cumpres todos os requisitos.

Vais precisar de aquecer uma frigideira num fogão, ou simplesmente de ligar uma placa de aquecimento. Depois de esperar alguns minutos, deita umas gotas de água e vê o que acontece. Não é necessário usar um conta-gotas: uma tampa de garrafa serve perfeitamente. Se aquilo que aconteceu foi só a – antes espetacular, daqui a pouco enfadonha – evaporação rápida da água, então tens de deixar a frigideira aquecer mais algum tempo. Ultrapassada uma certa temperatura, se voltares a despejar algumas gotas verás o surpreendente efeito de Leidenfrost. A água, em vez de se evaporar bruscamente, escorrega e saltita de um lado para o outro na superfície da frigideira!



### Gotas de água crepitantes

Deita água sobre uma frigideira ou placa de aquecimento quente e verás gotas a escorregar sobre a superfície.

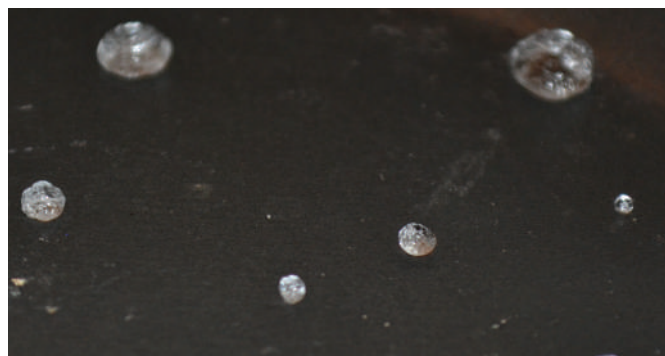
A nossa intuição dir-nos-ia que, se a certa temperatura da frigideira a água se evapora depressa, então a uma temperatura superior ela devia continuar a evaporar-se, ainda mais depressa. E não é que a nossa intuição está correta? O que acontece é que a parte inferior da gota de água vaporiza-se quase imediatamente após o contacto com a superfície quente, segurando o resto da gota por cima de si. Ou seja, a gota, em vez de deslizar, está de certa forma a “levitar”!

Perguntamo-nos agora por que razão a parte superior da gota não se evapora como a parte de baixo. A explicação está relacionada com uma propriedade dos materiais que quantifica a sua habilidade para transportar calor – a condutividade térmica. Por exemplo, se segurarmos com a mão esquerda uma colher de pau, com a mão direita uma colher de metal e as aproximarmos de um bico de gás, é na mão direita que nos queimamos! Isto acontece porque a colher de metal conduz melhor o calor desde a sua extremidade perto do bico de gás até à outra extremidade onde está a nossa mão. Por outras palavras, o metal tem maior condutividade térmica do que a madeira de que é feita a

colher de pau: para um mesmo gradiente de temperaturas (de um lado o bico de gás e do outro a nossa mão), o metal é mais rápido a levar o calor.

Voltemos ao mistério da parte superior que não se evapora. Obviamente, as frigideiras são constituídas por materiais que são bons condutores térmicos. Afinal de contas, é exatamente para isso que elas servem: transportar o calor até aos alimentos! Mas se elas são vencedoras neste campeonato, o vapor de água não passaria da fase de grupos. A sua condutividade térmica é cerca de dez mil vezes menor – quatro ordens de grandeza em linguagem de físico – que a de alguns metais. Assim, após a parte inferior passar ao estado gasoso, torna-se uma barreira que transmite mal o calor da superfície quente para o restante da gota de água, salvando-a da evaporação.

Poderias ver este mesmo efeito se fizesses umas brincadeiras com azoto líquido. Atenção: se antes achei desnecessário alertar para as altas temperaturas da frigideira, agora não será suficiente ter um adulto por perto. É preciso um especialista! Piadas à parte, o azoto líquido é tóxico se ingerido.



No entanto, já houve pessoas que decidiram pô-lo na boca e soprar sem que nada lhes tivesse acontecido. A sua temperatura é tão baixa que o calor da nossa boca é suficiente para que se dê o efeito de Leidenfrost: uma fina camada do azoto líquido, em contacto com o interior da boca, evapora-se rapidamente e impede o contacto do restante com nossa pele. Da mesma forma, se o despejarmos por cima de uma mesa, vê-lo-emos a deslizar e no final a superfície não estará “molhada”. Igualmente, podemos mergulhar a mão num balde cheio dele e retirá-la sem nos queimarmos – apesar da sua temperatura de cerca de  $-200^{\circ}\text{C}$ .

Recapitulando: tal como na experiência da gota de água na frigideira, na do azoto líquido em cima da mesa, a temperatura da superfície é tão elevada relativamente à do líquido que a parte inferior deste último se vaporiza quase imediatamente e cria uma barreira que impede a passagem da parte superior ao estado gasoso.

Ao contrário do que sugere uma tradução livre do nome do médico e teólogo alemão que foi primeiro a descrever este fenómeno, o efeito de Leidenfrost nada tem de “gelado triste”. Prefiro talvez chamar-lhe o efeito do “calor feliz”. ■

### O que vais precisar



Umas gotas de água



Uma fonte de aquecimento

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

# À conversa com Luís Melo

por Ana Henriques e António Coelho\*, alunos do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Em Julho deste ano, foi publicado na *Nature* um artigo da autoria de dois investigadores do IST que explicava o motivo pelo qual se dá o acoplamento do movimento de dois relógios de pêndulo pendurados na mesma parede. A PULSAR foi ter com o professor Luís Melo, um dos investigadores, e, numa conversa bastante animada em que houve tempo para pequenas explicações relativas à matemática do artigo, falou-se de relógios, da ciência em Portugal e do jornal *A Bola*.

**O** artigo que deu tanto que falar durante o verão passado foi publicado pelos professores Henrique M. Oliveira do Departamento de Matemática e Luís V. Melo do Departamento de Física. O conteúdo do mesmo era nem mais nem menos do que esclarecer um problema com mais de três séculos: por que motivo dois relógios de pêndulo pendurados na mesma parede, e partindo de posições completamente diferentes, sincronizam (em oposição de fase) ao fim de algum tempo?

A resposta está nos impulsos sonoros (*sound solitons* no artigo original) que os pêndulos dos relógios transmitem um ao outro num determinado ponto dos seus movimentos. Estes impulsos geram um estímulo energético (um *kick* de energia cinética) que se propaga na parede e perturba ligeiramente o outro relógio, alterando a sua velocidade (ver nota informativa). Para que tal aconteça, é importante que os pêndulos possuam uma frequência natural de vibração muito próxima e estejam presos a uma parede suficientemente rígida. Nesta experiência foi utilizada uma barra de alumínio pela sua qualidade enquanto condutora de som.

**PULSAR (P) – Antes de mais, muitos parabéns pela descoberta! Pode contar-nos como surgiu a ideia de desvendar este mistério?**

**Luís Melo (L) –** A ideia surgiu durante um café com o professor Henrique. Ele falou-me de um modelo matemático que tinha dentro da gaveta e que poderia resolver um problema que [Christiaan] Huygens tinha observado mas não conseguia desvendar. Ficou, então, ali combinado que iríamos montar uma experiência para ver se o modelo correspondia aos resultados experimentais.

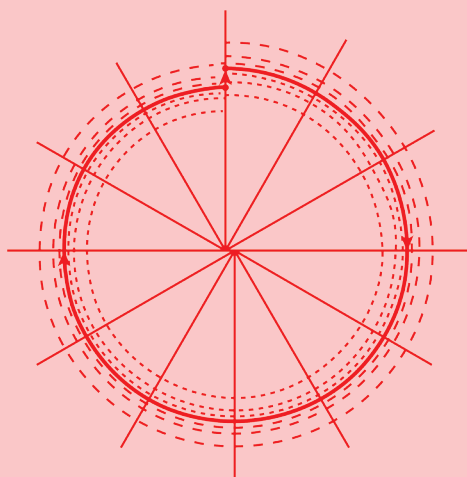
**P – E como correu a montagem da experiência?**

**L –** Começámos por usar aquilo que conseguimos encontrar. Em primeiro lugar encomendámos dois relógios de pêndulo na *Amazon*. Dos mais baratos que havia! Depois trouxe de casa uma placa de aquisição de dados do meu sistema de rega [risos] e comecei a montar a experiência. Usámos ainda, inicialmente, um *laptop* de uma estudante que se tinha ido embora e os primeiros dados adquiridos foram processados no *Excel*, mas o *software* não tinha capacidade para gerir a quantidade enorme de dados que estávamos a obter e acabámos por tratá-los através do *Mathematica*.

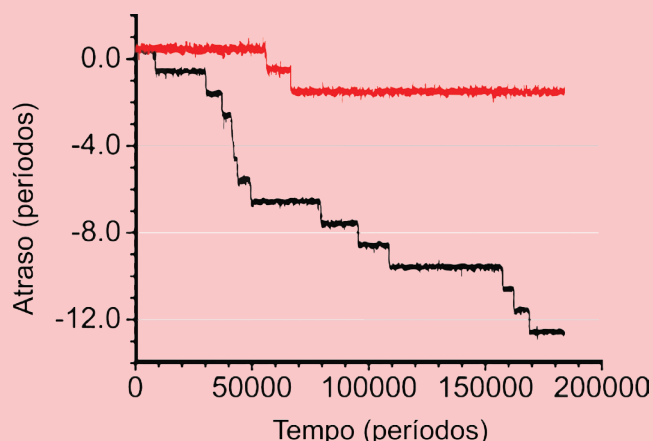
**P – É com a vossa investigação que surge pela primeira vez na literatura a ideia de sincronização através dos ditos *sound solitons*?**



**Figura 1:** O professor Luís V. Melo no laboratório onde foi instalada a experiência.



**Figura 2:** Diagrama do Espaço de fases. Este é um dos diagramas presentes no artigo e sobre o qual o professor Luís nos deu uma pequena explicação durante a entrevista. Neste espaço de fases, o eixo horizontal corresponde à posição angular e o eixo vertical corresponde à velocidade do pêndulo.



**Figura 3:** Simulação do atraso entre os dois pêndulos para frequências de oscilação que diferem de  $3.0 \times 10^{-4}$  rad/s (vermelho) e  $6.0 \times 10^{-3}$  rad/s (preto). Como se pode ver, é fulcral que os relógios possuam frequências naturais de vibração bastante próximas para poderem acoplar.

**L** – Sim, é. O que muitos investigadores antes de nós já tinham feito foi tentar descobrir se o acoplamento se fazia através de impulsos propagados pelo ar e/ou para períodos dos relógios iguais. Nós começámos logo a estudar a transmissão através do suporte no qual os dois relógios estavam presos. Experimentámos calhas de fibra de vidro, de madeira... Mas a única que realmente funcionou foi a de alumínio.

**P** – As notícias desta descoberta foram recebidas com bastante entusiasmo por toda a comunidade científica, mas não só: a imprensa e a população leiga também demonstraram interesse pelo artigo. Tem alguma explicação para este fenómeno que é, aliás, bastante recorrente em Portugal?

**L** – Penso que a razão principal tem que ver com o facto de ser um tema tão quotidiano, já que se trata de relógios de pêndulo; por outro lado, tem-se a sincronização que é um tema que acho que atrai muitas pessoas; e, finalmente, é a questão de se tratar de um problema com 350 anos. No entanto, é óbvio que não estávamos à espera deste *boom* de entrevistas e ficámos bastante surpreendidos. Até saiu uma notícia no jornal *A Bola* [risos]!

**P** – A ciência e a investigação na área da física em Portugal estão num bom caminho ou ainda há muitos aspetos a melhorar?

**L** – Ainda há muita gente que não sabe que se faz ciência em Portugal. Contudo, o facto de, por exemplo, este tipo de notícia ser bastante divulgado e os investigadores terem os seus quinze minutos de fama, faz bem a muitas pessoas que ainda não deram conta que Portugal passou de um país científico e tecnologicamente atrasado para um país que está perfeitamente dentro da média. Em relação a aspetos a melhorar, penso que ainda existem alguns, há sempre coisas a melhorar. Por exemplo, na atualidade, não concordo com o processo de atribuição de bolsas de doutoramento. Está demasiado estratificado.

Um das ideias que o professor Luís salientou bastantes vezes ao longo da entrevista foi a importância da interdisciplinaridade: “é muito importante não nos fecharmos e debatermos ideias com outras pessoas que sabem coisas diferentes. Manter a mente aberta é muito bom e, quem sabe, podem nascer projetos muito interessantes.”

**P** – E em que projetos está agora a trabalhar?

**L** – Neste momento estou a trabalhar em aplicar o mesmo modelo em outros tipos de osciladores. Que é, aliás, uma das grandes aplicações desta descoberta. Podemos aplicar este modelo em sistemas de comunicação digitais e ao estudo dos atrasos nos *clocks*. [Neste ponto, o professor Luís mostrou-nos uma placa de *breadboard* em que estava a trabalhar e explicou-nos que já tinha usado dois arduínos que eram demasiado lentos para aqueles *clocks*.] Este estudo também é relevante nas suas aplicações em sistemas biológicos como ciclos que ocorrem no corpo humano e que podem sincronizar naturalmente. Notem mais uma vez as vantagens da partilha de conhecimento.

**P** – Tem algum conselho para os jovens estudantes que iniciaram agora o seu percurso académico e que visam ingressar no mundo da investigação?

**L** – O grande conselho é fazerem as coisas por gosto. Antes de pensarem na área que dá mais estabilidade financeira, é importante pensar no que é que se gosta mais de fazer para não se cair no erro de enveredar por uma área e, ao fim de alguns anos, pensar: se eu estivesse a estudar o decaimento dos neutrinos e dos muões é que eu estava bem... Outra coisa a notar é que, atualmente, faz-se muita ciência em prol dos benefícios que pode vir a trazer à economia global. O que não está errado. Reparem, é uma maneira de impulsionar o desenvolvimento científico. O problema é que depois fica muito conhecimento por descobrir. Ainda assim, um grande conselho é: acreditem em vocês. Aqui aprendem a pensar e a saber lidar com situações completamente novas. Usem-no. Isso é o mais importante. ■

# @ndas de Faraday

## Física num copo de água

por Leonardo Silva\*, aluno do 5º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**P**odemos fazer muita Física interessante com um copo de vidro e alguma água. Também podemos fazer alguma música. Tudo o que é preciso é um copo, preferencialmente de cristal (mas de vidro) também serve, e um dedo humedecido que irá derrapar ao longo do rebordo do copo, fazendo com que este soe tal e qual como um sino.

Apesar da parte musical desta pequena experiência ser muito interessante por si só, vamos olhar para o que acontece à água no interior do copo. Se fizermos o nosso copo soar continuamente, podemos reparar que se formam umas pequenas ondas na superfície da água. Se pressionarmos o rebordo do copo com mais força e movermos os dedos mais lentamente, transferindo mais energia ao copo, podemos criar ondas maiores e mais nítidas. A princípio, as ondas parecem ser aleatórias, mas excitando o copo com uma frequência e amplitude muito precisas, podemos obter padrões geométricos, tais como círculos, quadrados, triângulos, hexágonos e até formas quasi-cristalinas.

Para estudar este efeito com um pouco mais de precisão, utilizou-se um recipiente transparente colocado sobre um *subwoofer* a vibrar com uma frequência e amplitude bem determinadas, produzindo-se os resultados nas Fig. 1 a 3.

### Explicação das ondas de Faraday

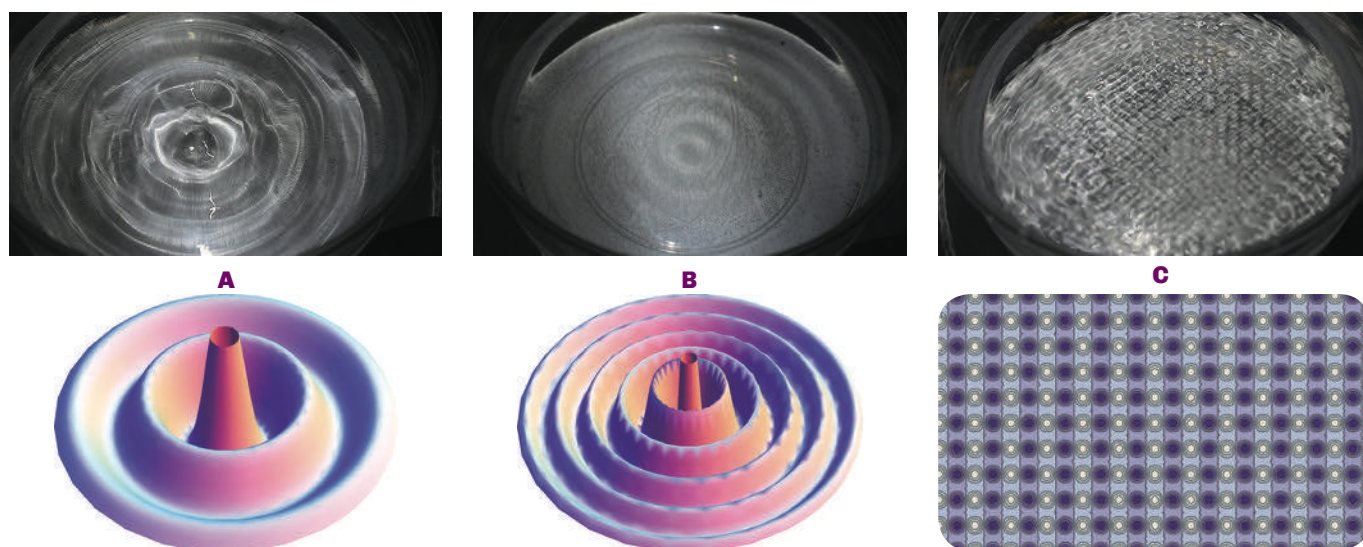
Estas ondas foram interpretadas correctamente por Faraday em 1831 como um caso de ressonância paramétrica e surgem num líquido contido num receptáculo que esteja a oscilar verticalmente. Para compreender ao que

acontece à água quando o copo vibra, recorremos a outra analogia musical: a superfície da água comporta-se como a membrana de um tambor<sup>1</sup>, sendo a tensão da membrana substituída pela tensão superficial da água, que contabiliza a atracção mútua entre as moléculas. Deste ponto de vista, podemos modelar as ondas como se fossem os modos normais de vibração da membrana de um tambor.

Outro aspecto que precisamos de considerar é a viscosidade da água. A viscosidade de um fluido quantifica a resistência que este tem a fluir. Intuitivamente, um líquido muito viscoso pode comportar-se quase como um sólido, como vemos no alcatrão e em algumas resinas. Isto teria o efeito de atenuar a amplitude das ondas que nele fossem geradas. Já a água é fluida o suficiente para nos permitir gerar ondas de grande amplitude. Quão grandes? Pois bem, tão grandes que podem quebrar a superfície da água, formando gotas. Seria o equivalente de rasgarmos a membrana de um altifalante com um som muito alto.

Na verdade, ao explorarmos a instabilidade da ressonância paramétrica, e seleccionando cuidadosamente a amplitude e a frequência da oscilação, podemos não só gerar padrões geométricos com as ondas de Faraday, como podemos também gerar gotas com dimensões muito precisas, até ao nível microscópico.

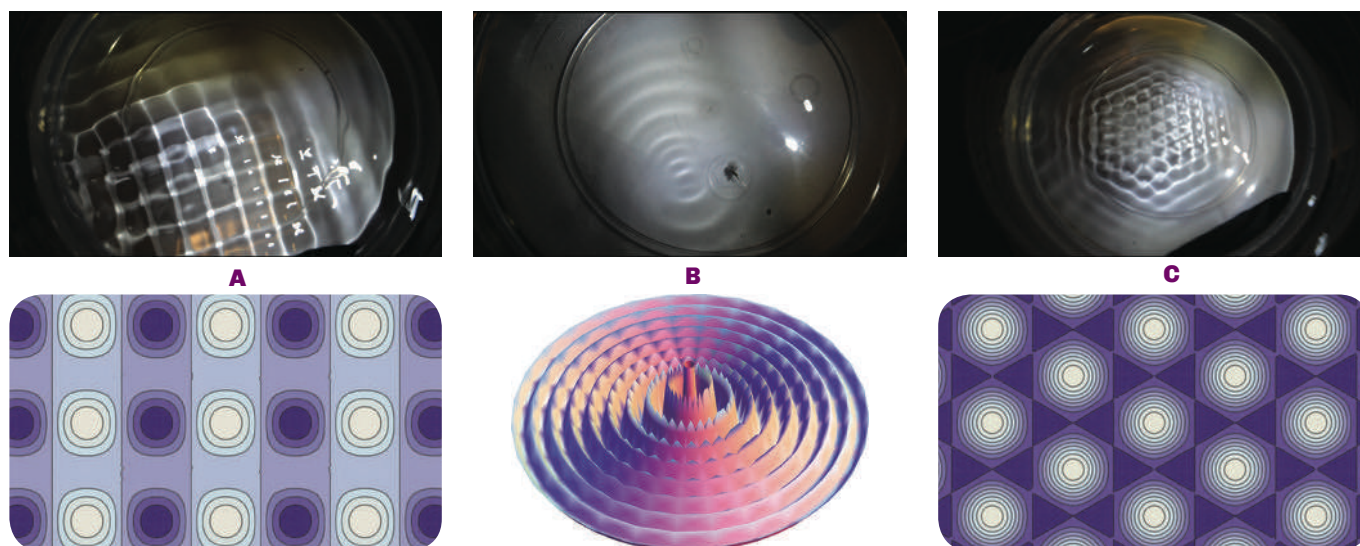
Matematicamente, a descrição de um fluido como a água é feita através das equações de Navier-Stokes. Em geral, são muito difíceis de resolver, e usando algumas aproximações razoáveis, como a viscosidade da água ser desprezável<sup>2</sup> ou o recipiente ser tão grande que não precisamos de considerar o efeito das suas paredes, podemos



**Figura 1:** Modos normais observados na água e esboço teórico como resposta às frequências de excitação 21 Hz (modo menos energético, A, e mais energético, B) e 80 Hz (C). A partir dos 80 Hz, não se observam padrões estáveis.

<sup>1</sup>Os modos normais de vibração de uma superfície são a versão bidimensional das formas de onda que, por exemplo, a corda de uma guitarra adquire ao ser tocada. A sua generalização tridimensional, os harmónicos esféricos, é muito relevante para o estudo do átomo de Hidrogénio em Mecânica Quântica.

<sup>2</sup>Se usarmos outro líquido mais viscoso, tal como a parafina líquida, podemos reintroduzir empiricamente o efeito da sua viscosidade no final.



**Figura 2:** Modos normais observados em vaselina e esboço teórico como resposta às frequências de excitação 37 Hz (A), 62 Hz (B) e 75 Hz (C). Os padrões são mais estáveis do que os observados com água devido à viscosidade acrescida da vaselina.

simplificar a sua resolução e finalmente obter as soluções de onda que procuramos. Encontramos então uma solução que nos diz que a forma da superfície da água é dada pela sobreposição de todos os modos normais de vibração possíveis, com a amplitude de cada modo e a relação de dispersão das ondas a dependerem da densidade, viscosidade e da tensão superficial do fluido, e da frequência e da amplitude da oscilação do recipiente.

Na verdade, dependendo dos parâmetros que escolhemos, podemos ir desde não ter onda nenhuma até termos um sistema altamente caótico, passando por umas ilhas de estabilidade aonde podemos encontrar formas de onda bem definidas. Se a viscosidade for nula então teremos sempre ondas de Faraday a formarem-se, caso contrário, é necessário uma amplitude mínima.

### Importância actual

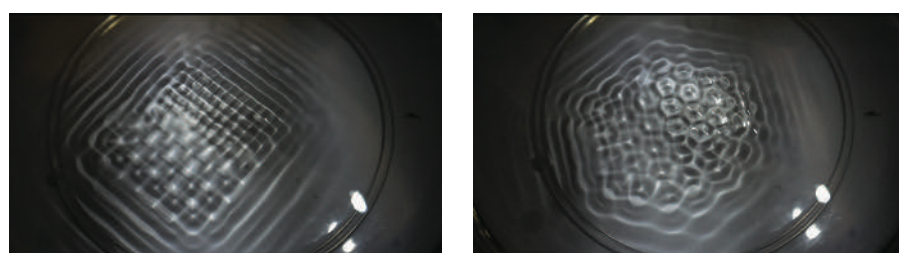
Apesar do impacto visual que as ondas de Faraday têm, estas têm sido estudadas recentemente por um motivo diferente: acontece algo de muito interessante quando nos aproximamos do limiar da formação das ondas de Faraday em meios viscosos. Se chegados a esse ponto, deixarmos cair uma pequena gota do mesmo fluido na sua superfície, esta pode começar a ressaltar indefinidamente, sem nunca ser absorvida. Ao impactar a superfície do fluido, a gota transfere energia suficiente para iniciar uma onda de Faraday, à qual se pode acoplar. A cada ressalto, uma pequena camada de ar é regenerada entre a gota e a superfície, separando-as e permitindo que a gota exista enquanto a

onda de Faraday associada permanecer.

Mais ainda, se conseguirmos colocar duas ou mais gotas ao mesmo tempo e as aproximarmos, não só estas não são absorvidas pelo fluido, como também não coalescem entre si, mantendo-se a distâncias fixas umas das outras, lembrando uma espécie de quantização das suas órbitas, como encontramos na Mecânica Quântica. Na verdade, com estes sistemas de gotas e as suas respectivas ondas de Faraday, conseguimos reproduzir à escala macroscópica vários fenómenos característicos do mundo quântico, como órbitas quantizadas, o efeito de Zeeman, ou até mesmo o tunelamento de uma gota!

A princípio é difícil de acreditar, mas ao que parece a coincidência não é assim tão imprevista quanto isso. A analogia da Mecânica de Fluidos com a Mecânica Quântica foi proposta por David Bohm ao reanalisar a interpretação de Louis de Broglie para a dualidade partícula-onda presente na Mecânica Quântica, juntamente com as equações de Madelung, que são uma forma de reescrever a equação de Schrödinger, dividindo-a numa parte real e noutra imaginária. A existência destas semelhanças pode ser apenas uma coincidência formal e não significar que haja parecenças em matéria de facto, mas podemos sempre estimular a curiosidade inata do ser humano com uma experiência cativante que está ao alcance de todos nós.

Fica aqui o apelo a verem por vocês mesmos os vídeos disponíveis deste fenómeno e àqueles que não o possam evitar, a fazerem a experiência por vocês mesmos e juntarem-se a grandes cientistas como Galileu, Hooke, Rayleigh e Faraday na busca da compreensão do nosso Universo. ■

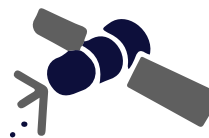


**Figura 3:** Modos normais observados em vaselina como resposta à excitação com sinais de 83 Hz. Foi possível alternar entre os dois padrões modulando a amplitude do sinal forçado.

# New Horizons

## Uma aventura até Plutão

por Nuno Santos, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST



No dia 4 de Outubro de 1957, a então União Soviética (URSS) enviou para o espaço o satélite artificial *Sputnik 1*, o primeiro a orbitar a Terra. Além de um marco na história da exploração espacial, este lançamento representa simbolicamente o início da corrida espacial disputada entre Estados Unidos da América (EUA) e URSS durante a Guerra Fria. Não obstante a sua simplicidade, o *Sputnik 1* contribuiu para o estudo da ionosfera, camada ionizada da atmosfera terrestre responsável pela ocorrência de auroras boreais. Desde esta missão, muitas outras têm sido planeadas e executadas nas últimas seis décadas (ver caixa) e fornecido informações sobre alguns dos corpos celestes que integram o Universo, em particular o Sistema Solar.

Um dos astros que mais interesse tem despertado nos últimos meses é Plutão, o grande corpo do Sistema Solar mais afastado do nosso planeta. O planeta-anão esteve sob o olhar atento de cientistas e curiosos a 14 de Julho de 2015, dia histórico em que a sonda *New Horizons* da NASA fez a aproximação máxima a Plutão, reconhecendo à agência espacial norte-americana o sucesso da missão de reconhecimento de todos os planetas do Sistema Solar, iniciada há meio século pela sonda *Mariner 4*, que passou por Marte.

A missão *New Horizons* – liderada por Alan Stern, do Instituto de Investigação do Southwest, no Colorado, EUA

– visa explorar os confins do Sistema Solar, onde residem milhares de corpos celestes que formam a cintura de Kuiper, cuja existência foi sugerida por Gerard Kuiper em 1951. Esta região estende-se entre a órbita de Neptuno, de aproximadamente 30.1 UA<sup>1</sup> de raio, e uma distância de cerca de 50 UA do Sol. Desta cintura fazem parte Plutão e os seus cinco satélites naturais conhecidos – Caronte, Nix, Hidra, Cérbero e Estige –, bem como milhares de pequenos corpos remanescentes da formação do Sistema Solar, compostos por substâncias voláteis solidificadas, como metano e água. Examinar estes objectos, comumente designados por KBOs (*Kuiper Belt Objects*), é, pois, uma forma de melhor compreender os processos que estiveram na origem e evolução do Sistema Solar.

Embora o reconhecimento de Plutão tenha começado no início do ano passado, culminando, em Julho, na passagem da sonda pelo ponto do seu trajecto mais próximo do planeta-anão (a cerca de 12500 quilómetros da sua superfície), a *New Horizons* partiu da Terra (de Cape Canaveral, na Flórida, EUA) em meados de 2006. Um ano depois, a sonda visitou Júpiter, tendo-se servido do seu intenso campo gravitacional (a massa de Júpiter é cerca de 320 vezes maior que a da Terra) como catapulta para Plutão. Este encontro oportuno colocou à prova a bagagem tecnológica da sonda, a qual desempenhou diversos ensaios de calibração e testes de *performance* nos quatro meses em que manteve

## História do reconhecimento do Sistema Solar

1994

*Ulisses* (NASA/ESA)  
Primeira missão espacial dedicada ao Sol. A sonda visitou os pólos da estrela, os quais são difíceis de observar a partir da Terra.

1962 – *Mariner 2* (NASA)

Primeira sonda espacial a ir, com sucesso, ao encontro de outro planeta (Vénus).

1974 – *Mariner 10* (NASA)

Primeira sonda a aproximar-se de Mercúrio, o planeta mais próximo do Sol. Durante o período da missão, registou mais de 7 mil fotografias da Terra, da Lua, de Vénus e de Mercúrio.

1965 – *Mariner 4* (NASA)

Primeira sonda a fotografar outro planeta: recolheu 22 imagens do planeta vermelho.

1959 – *Luna 2* (URSS)

Primeiro objecto construído pelo Homem a atingir a superfície de outro astro (Lua).

1969 – *Apollo 11* (NASA)

Missão que resultou na primeira ida do Homem à Lua. Mais de 600 milhões de pessoas assistiram, pela televisão, a este momento histórico, o qual é indissociável da célebre frase dita por Neil Armstrong enquanto descia à superfície lunar: “É um pequeno passo para um homem, um salto gigante para a humanidade.”

2011 – *Dawn* (ESA)

Sonda com destino à cintura de asteróides, onde observou Vesta, um protoplaneta. Actualmente, a sonda encontra-se dedicada ao planeta-anão Ceres.

<sup>1</sup> UA – unidade astronómica: 1.4960 x 10<sup>11</sup> m

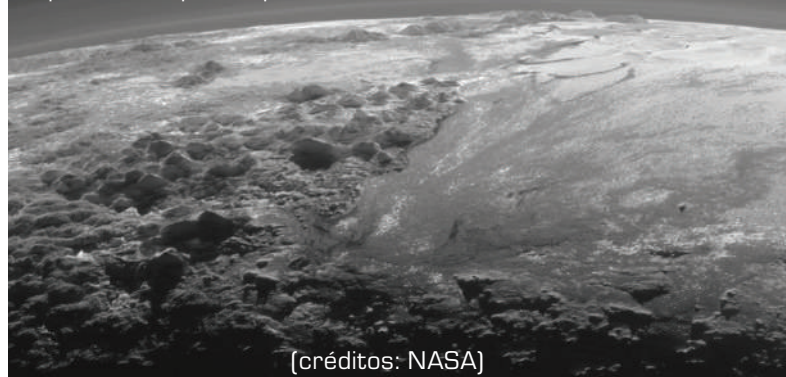
Júpiter sob a mira. Durante esse período de observação, a equipa científica da *New Horizons* dedicou-se, por exemplo, ao estudo da estrutura atmosférica do planeta e ao mapeamento e à caracterização geral dos seus principais satélites.

Despedindo-se de Júpiter, a sonda seguiu a sua jornada até Plutão, do qual se aproximou substancialmente após oito anos de viagem. Desde o passado Verão, os cientistas da NASA têm vindo a receber novas informações sobre o planeta, nomeadamente fotografias detalhadas da sua superfície. Em alguns desses documentos, pode observar-se o chamado “coração de Plutão”, uma região de cor clara e de aproximadamente 1600 quilómetros de diâmetro, onde se encontra a gelada Planície Sputnik, ladeada por montanhas. Crê-se, aliás, que o ciclo hidrológico do astro – surpreendentemente semelhante ao da Terra – se manifesta em grande escala neste “coração”, onde a evaporação de diferentes substâncias solidificadas (como o azoto), a partir da Planície, resulta na queda de neve sobre as cordilheiras adjacentes e na formação de glaciares cujas características geográficas se assemelham às dos glaciares existentes na Gronelândia e na Antárctica. Além disso, os dados sugerem que a atmosfera rarefeita do planeta – cuja extensão se aproxima da atmosfera terrestre – pode ser dividida em mais de dez camadas.

Apesar de a sonda já ter terminado o processo de reconhecimento daquele mundo gelado, há ainda muita informação a analisar sobre a sua vida geológica, pelo que se espera que, nos próximos meses, novas conclusões venham a ser divulgadas à comunidade científica e ao grande público.

Entretanto, a *New Horizons* está já a caminho de um outro objecto da Cintura de Kuiper, 2014MU69 – o encontro está marcado para Janeiro de 2019. Até lá, muitos outros horizontes podem ser explorados. ■

Fotografia da superfície de Plutão registada 15 min. após a aproximação máxima da sonda *New Horizons* ao planeta-anão. À direita, observa-se a gelada Planície Sputnik, flanqueada por montanhas sinuosas.



[créditos: NASA]

### 10 anos e mais de $4.8 \times 10^9$ km...

**19/01/2006:** *New Horizons* é lançada do Cabo Canaveral, Flórida, sendo a sonda mais rápida já lançada.

**02/2007:** *New Horizons* recebe assistência gravitacional de Júpiter e recolhe novos dados sobre o planeta gigante e as suas luas.

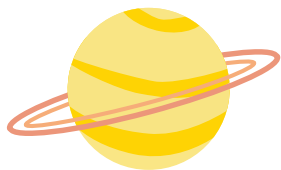
**2014:** O reconhecimento de Plutão começa cerca de 200 dias antes da passagem pelo ponto mais próximo do planeta.

**2015:** A exploração de Plutão inicia-se com um estudo intensivo de 6 meses. A 14 de Julho, *New Horizons* passa pelo ponto mais próximo do planeta e das suas luas.

**2017-2020:** A sonda vai ser redireccionada para objectos da Cintura de Kuiper.

#### 2005 – *Huygens* (ESA)

Primeira sonda a aterrar em Titã, uma das luas de Saturno.



#### 1973/4 – *Pioneer 10/11* (NASA)

Sondas que atravessaram a cintura de asteróides e pela primeira vez contactaram directamente com os planetas gigantes. A *Pioneer 10* teve o primeiro encontro imediato com Júpiter em 1973 e a *Pioneer 11* o segundo, um ano depois. Esta última visitou Saturno em 1979.



#### 2014 – *Rosetta* (ESA)

Sonda que está a orbitar o cometa 67P/Churiomov-Gerasimenko. Em 2014, a pequena sonda Philae foi lançada da sonda Rosetta e aterrou no núcleo do corpo celeste.



#### 2015 – *New Horizons* (NASA) Reconhecimento de Plutão!



# A very special MOM

por Rita Neves, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Aeroespacial, IST

A 7 de Outubro, Alice Bowman, MOM da missão *New Horizons* visitou o Instituto Superior Técnico para dar uma palestra intitulada *Reaching New Horizons*. Com a ajuda da cientista, a Pulsar foi descobrir como é que se organiza uma missão espacial.

.....

**A**lice Bowman é a *Mission Operations Manager* da missão *New Horizons* da NASA, ou MOM, como todos lhe chamam. O nome adequa-se, já que se refere à nave como sua filha, que tem de acompanhar 24 horas por dia e precisa de constante atenção. Lidera uma equipa multidisciplinar de controladores de missão, envolvidos no projecto desde que a sonda começou a ser construída em 2001, no laboratório de Física Aplicada Johns Hopkins, em Maryland, onde toda esta missão da Agência Espacial Norte-Americana se processa.

Agora, três meses após o objectivo principal da missão ter sido cumprido, Alice Bowman percorre o mundo para contar a sua experiência: desde a sua infância, altura em que o interesse pelo Espaço foi despertado por séries como *Star Trek*, passando pelo seu primeiro emprego na indústria de Defesa, analisando detectores de infra-vermelhos, até se tornar a MOM de uma missão tão ambiciosa como a *New Horizons*. Em Portugal, um dos sítios onde veio falar sobre tudo isto foi o Instituto Superior Técnico, onde a PULSAR esteve à conversa com a engenheira.

**PULSAR (P) – O início da sua carreira foi na área de Defesa, e na universidade escolheu estudar Física e Química. O que a levou à indústria Espacial?**

**Alice Bowman (A)** – Desde muito cedo que tenho interesse no Espaço, e quando fui para a universidade escolhi essas áreas precisamente porque achei que me davam muitos conhecimentos-base para o que quisesse fazer em exploração espacial. Por exemplo, podia usar o que aprendi em Física para aprender a desenvolver detectores de estrelas distantes, enquanto Química é muito útil para conhecer a composição das estrelas.

**P – Quais são as características que considera fundamentais para trabalhar na sua área?**

**A** – Acho que, quando se está na Universidade, uma pessoa deve escolher as cadeiras mais desafiantes e interessantes, ter determinação e perseverança para as completar. Principalmente, temos de nos lembrar que ninguém consegue ser muito bom a tudo. Quando os desafios parecem grandes demais, devemos tentar regressar ao que nos move: a paixão pela Ciência. Para além disso, convém ser um bom comunicador e trabalhar bem em equipa. Especialmente quando se lidera, é muito importante saber ouvir e respeitar as opiniões dos outros.

**P – Os últimos meses têm sido muito atarefados, com todas as imagens e dados a chegar da sonda. Antes da aproximação a Plutão, durante os nove anos desde que a missão foi lançada, o que faziam?**

**A** – Disseram-nos que iríamos ficar aborrecidos, mas antes pelo contrário: temos constantemente de monitorizar a saúde e segurança da nave, assegurar a qualidade da informação transmitida, verificar temperaturas, e muito mais. Por exemplo, em 2008 começámos a programar os comandos para a realização das observações de 2015 – há muito que se vai fazendo à medida que as coisas vão acontecendo.

**P – Como é um dia normal de trabalho para si?**

**A** – Não há dias ‘normais’ de trabalho... Nesta área há problemas diferentes e desafiantes a resolver todos os dias.

**P – Mas tem de estar constantemente a monitorizar a nave, dentro e fora do local de trabalho. Consegue gerir o stress de forma a que este não afecte a sua vida?**

**A** – Sim, é verdade, tenho de estar sempre atenta e a pensar na nave, mesmo quando estou em casa. Lida-se com o *stress* de forma semelhante a ter um filho: preocupas-te com ele constantemente, mas aprendes a viver com isso.

**Figura 1:** Alice Bowman, no Salão Nobre do Instituto Superior Técnico, a apresentar a palestra *Reaching New Horizons* a uma audiência cheia (créditos: José Santos).



**P – O que diria a alguém céptico relativamente ao investimento gasto nesta missão e aos seus propósitos?**

**A –** Acho que, enquanto seres humanos, temos curiosidade acerca de tudo. Queremos explorar outros mundos para percebermos melhor o nosso... E também pela simples alegria de aprender coisas novas e conhecer o nosso Universo.

**P – Que expectativas tem para o resto da missão e a visita ao objecto da cintura de Kuiper [2014 MU69]?**

**A –** Espero que a nave continue saudável... Continuo a ficar impressionada com os dados que têm chegado de Plutão, e espero que o mesmo aconteça com os objectos da cintura de Kuiper. Graças à missão *New Horizons*, todos os dias nos deparamos com imagens fascinantes com que não estávamos a contar e que nunca antes tínhamos visto. ■

## CRONOLOGIA



## 20 anos de TWEPP

por Beatriz Lopes e Miguel Ribeiro\*, alunos do 2º e 3º anos do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Entre os dias 28 de Setembro e 2 de Outubro, dezenas de investigadores e técnicos de eletrónica de universidades e laboratórios em todo o mundo reuniram-se no Centro de Congressos do IST, no Pavilhão de Engenharia Civil, para discutir o que de mais recente se passa no mundo da eletrónica, nomeadamente soluções e ideias que estes avanços trazem para a física experimental, na área das partículas – segundo Alessandro Pezzotta, estudante de doutoramento na Universidade de Milão e participante do TWEPP, “a eletrónica para Física de Partículas é uma escolha obrigatória”, já que “os requisitos para as experiências em Física aumentam constantemente com cada descoberta, especialmente no que toca a detetores”.

Este *workshop* contou com a participação em peso de investigadores do CERN, que procuram manter-se sempre na fronteira do conhecimento, como é o caso de Davide Ceresa, 26 anos, que trabalha no detetor CMS do LHC desde os 23, tendo apresentado na conferência uma ideia para um protótipo a ser aplicado no CMS. Também estiveram presentes membros seniores do CERN, como é o caso de François Bourgeois, que trabalhou nesse centro de investigação desde a sua formação, em 1954.

Durante estes dias, discutiram-se temas relacionados com a microeletrónica de detetores de partículas, algoritmos de otimização, entre outros, em palestras e *workshops* que decorreram de manhã e ao princípio da tarde. Em seguida, houve algumas atividades destinadas ao convívio e discussão informal entre os investigadores, discussões estas que foram, de acordo com vários participantes entrevistados pelos repórteres da PULSAR, no mínimo tão produtivas como as palestras que faziam efetivamente parte do programa. Houve também um conjunto de sessões de posters, que se encontravam expostos no pavilhão de Engenharia Civil.

De acordo com Jimmy Hansen, do Instituto Niels Bohr, é importante que este *workshop* se continue a realizar, porque “é essencial encontrarmo-nos com colegas, trabalhar continuamente para melhorar contactos, discutir novas técnicas e retirar ideias para as nossas investigações”. Até porque, acrescentou outro participante, “são tudo projetos que envolvem muito dinheiro, temos que saber o que toda a gente anda a fazer, para evitar esforços duplicados – não quero estar à procura de uma solução que já alguém encontrou”. ■

\*Os autores escrevem ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

# Experiência de Michelson

por Nuno Santos, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

No final do século XIX, muitos físicos acreditavam na existência de um meio onde as ondas electro-magnéticas se propagavam: o éter. A experiência de Michelson, excutada pela primeira vez em 1881, mostrou que tal meio não existe e abriu as portas para a formulação da Relatividade Restrita por Albert Einstein.

Em 1865, James Maxwell [1831-1879] vê publicado *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Nesse artigo, o físico escocês, após formular as equações gerais do campo electromagnético, estabelece a teoria electromagnética da luz e conclui que esta é uma manifestação das oscilações dos campos eléctrico e magnético. Além disso, relaciona a velocidade da luz no vácuo,  $c$ , com duas constantes características do meio, a permissividade,  $\epsilon_0$ , e a permeabilidade,  $\mu_0$  :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

À época, o carácter ondulatório da luz sugeria a existência de um meio onde as ondas electromagnéticas se propagavam – assim como ondas sonoras se propagam no ar, seria de esperar que também a luz se propagasse num determinado meio. Por outro lado, o valor finito e absoluto da velocidade da luz em cada meio, função apenas das suas propriedades, parecia não ser consistente com a natureza relativa das velocidades da mecânica de Newton. A invariância da velocidade da luz para que apontavam as equações de Maxwell desafiava a lei de adição de velocidades de Galileu. Perante isto, surgiram duas hipóteses para explicar a

propagação de ondas electromagnéticas:

1) a hipótese do éter, que supunha a existência do *éter luminoso*, um meio que preenchia o espaço e onde as ondas electromagnéticas se propagavam; esta hipótese admitia que a teoria de Maxwell era apenas válida no referencial em repouso em relação ao *éter*, onde a velocidade da luz seria  $c$ ;

2) a hipótese da invariância da velocidade da luz, segundo a qual a luz – ou, mais geralmente, a radiação electromagnética – se propagava à velocidade  $c$  no vácuo, em todos os referenciais de inércia.

A hipótese [1] garantia o princípio da relatividade da mecânica newtoniana, não violando a lei de adição de velocidades de Galileu ao assumir o *éter luminoso* como espaço absoluto. Neste caso, qualquer movimento em relação ao *éter* designar-se-ia movimento absoluto. Por oposição, a hipótese [2] pressupunha a validade das equações de Maxwell em todos os referenciais de inércia. Logo, para que a velocidade da luz tivesse o mesmo valor em todos eles, a lei de transformação de velocidades entre dois referenciais

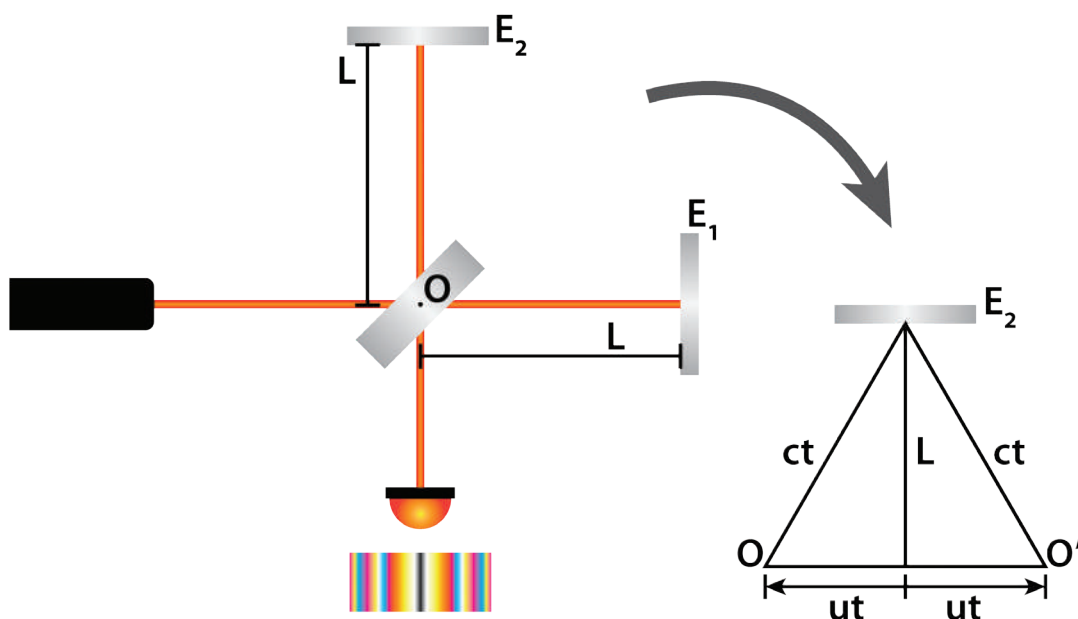


Figura 1: Montagem da experiência de Michelson.

inerciais não poderia ser a de Galileu, mas a contida na teoria electromagnética.

Por outras palavras, no século XIX, os físicos procuravam confirmar ou rejeitar o movimento absoluto, um dos alicerces da mecânica clássica, formulada na obra de Isaac Newton (1643-1727) *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Dada a firmeza, à época, da mecânica newtoniana, esperava-se a detecção do éter, ou seja, a verificação experimental da hipótese [1].

Nesse sentido, em 1881, Albert Michelson (1852-1931) executou uma experiência para detectar o movimento relativo da Terra através do hipotético *éter*<sup>2</sup>. Para o efeito, construiu um interferómetro, hoje conhecido como interferómetro de Michelson – Figura 1. Este aparato experimental é constituído por uma única fonte de luz (F), cujo feixe luminoso emitido é tornado paralelo por uma lente convergente. Ao atingir uma superfície plana semitransparente (S), o feixe é dividido em dois feixes de igual intensidade, que viajam em direcções perpendiculares até aos espelhos E1 e E2, onde sofrem reflexão normal. Os feixes reflectidos são reunidos pela superfície S e interferem um com o outro. O padrão das franjas de interferência é observado através de uma luneta. Caso a franja central do padrão se encontre no centro do retículo da luneta, então o tempo de percurso de ambos os feixes é o mesmo.

Michelson ajustou a sua montagem de modo a que o comprimento dos dois braços fosse igual com grande precisão [seja L]. Supondo esta configuração e admitindo que o interferómetro se move através do *éter* segundo x e com a mesma velocidade com que a Terra descreve a sua órbita, v, determine-se os tempos de trajecto dos feixes. Estes apenas diferem graças à divisão do feixe pela superfície S, da qual resulta um feixe a mover-se segundo x (**feixe I**) e outro segundo y (**feixe II**). O **feixe I**, quando se dirige ao espelho E1 com velocidade c, vê-o a afastar-se com velocidade v. Por outro lado, após a reflexão, vê a superfície S a aproximar-se com essa mesma velocidade. Logo, o tempo de trajecto do **feixe I** é dado por

$$t_I = \frac{L}{c-v} + \frac{L}{c+u} = \frac{2cL}{c^2 - u^2}$$

Já o tempo de percurso do **feixe II** é, tendo em conta o sempre útil teorema de Pitágoras,

$$t_{II} = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - u^2}}$$

Como  $v \ll c$ , podemos escrever

$$t_I \approx \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)$$

$$t_{II} \approx \frac{2L}{c} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}\right)$$

A diferença entre os intervalos de tempo  $t_I$  e  $t_{II}$  traduz-se na diferença de fase

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(t_I - t_{II}) = 2\pi \frac{Lv^2}{\lambda c^2}$$

em que  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz. Dada as condições experimentais de extrema precisão, seria de esperar a detectar um (pequeno mas observável) desvio das franjas do padrão de interferências. Porém, tal efeito nunca foi observado, o que indicava a inexistência de qualquer diferença entre os tempos de trajecto dos dois feixes e apontava para a invariância da velocidade da luz. Classicamente, este resultado só faria sentido se a Terra estivesse imóvel!

A experiência de Michelson, repetida por Michelson e Edward Morley (1838-1923) em 1887, pôs em causa a hipótese do éter e tornou-se a experiência falhada mais famosa até hoje! A explicação actualmente aceite do resultado nulo da experiência de Michelson foi proposta por Albert Einstein (1879-1955) em 1905, no seu célebre artigo *On the Electrodynamics of Moving Bodies*. Aí, o físico alemão ignora a hipótese do *éter* [1] e expõe novas noções de espaço e de tempo, fundando a teoria da relatividade restrita.

Além de ter alumiado caminho até ao postulado da invariância da velocidade luz, Michelson legou-nos ainda um interferómetro cujas principais características podem ser encontradas nos interferómetros do LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*), que anunciou a detecção de ondas gravitacionais a 11 de Fevereiro. ■



**Figura 2:** Albert Abraham Michelson. Albert Michelson, nascido em 1852 na antiga Prússia (actual Polónia), mudou-se para os Estados Unidos com apenas dois anos. Escreveu os clássicos *Velocity of Light* (1902), *Light Waves and their Uses* (1899-1903) e *Studies in Optics* (1927). Recebeu o Prémio Nobel da Física em 1907.

<sup>1</sup>  $c = 299\,792\,458$  m/s

<sup>2</sup> Dado o movimento de translação da Terra em torno do Sol, poderia dar-se o caso de o nosso planeta se encontrar em repouso em relação ao *éter* numa dada altura. Porém, tal não seria o caso seis meses depois.

# Ondas Gravitacionais *(revisited\*)*

por Gonçalo Quinta, aluno de Doutoramento do Centro Multidisciplinar para a Astrofísica (CENTRA), IST

Previstas por uma teoria já centenária, as ondas gravitacionais têm-se provado muito difíceis de detectar. Finalmente, em Fevereiro deste ano, a experiência LIGO conseguiu obter evidências concretas na passagem de uma onda gravitacional. Neste artigo, olhamos em detalhe para a montagem desta enorme colaboração científica.

**E**m Novembro de 1915, Einstein revolucionou o paradigma da gravidade com a sua teoria da Relatividade Geral que, entre outras consequências, previa a existência das chamadas ondas gravitacionais. Este tipo de onda induz uma variação na curvatura do espaço-tempo, ou seja, as propriedades do próprio espaço e tempo são alteradas. A título de exemplo, se uma onda destas passar por uma régua, um observador distante irá ver o seu comprimento a oscilar entre comprimentos maiores e menores que o tamanho original. Mais ainda, se houver um relógio preso a essa mesma régua, o observador irá notar que o ritmo a que os ponteiros se mexem aumenta e diminui alternadamente em relação ao seu próprio relógio. Detectar uma onda gravitacional significa medir directamente estas flutuações de intervalos de espaço e tempo. No entanto, a sensibilidade necessária para um detector deste tipo de ondas é muito grande: para uma régua que se estenda desde a Terra até ao Sol, a variação do seu comprimento será da ordem do tamanho de um átomo.

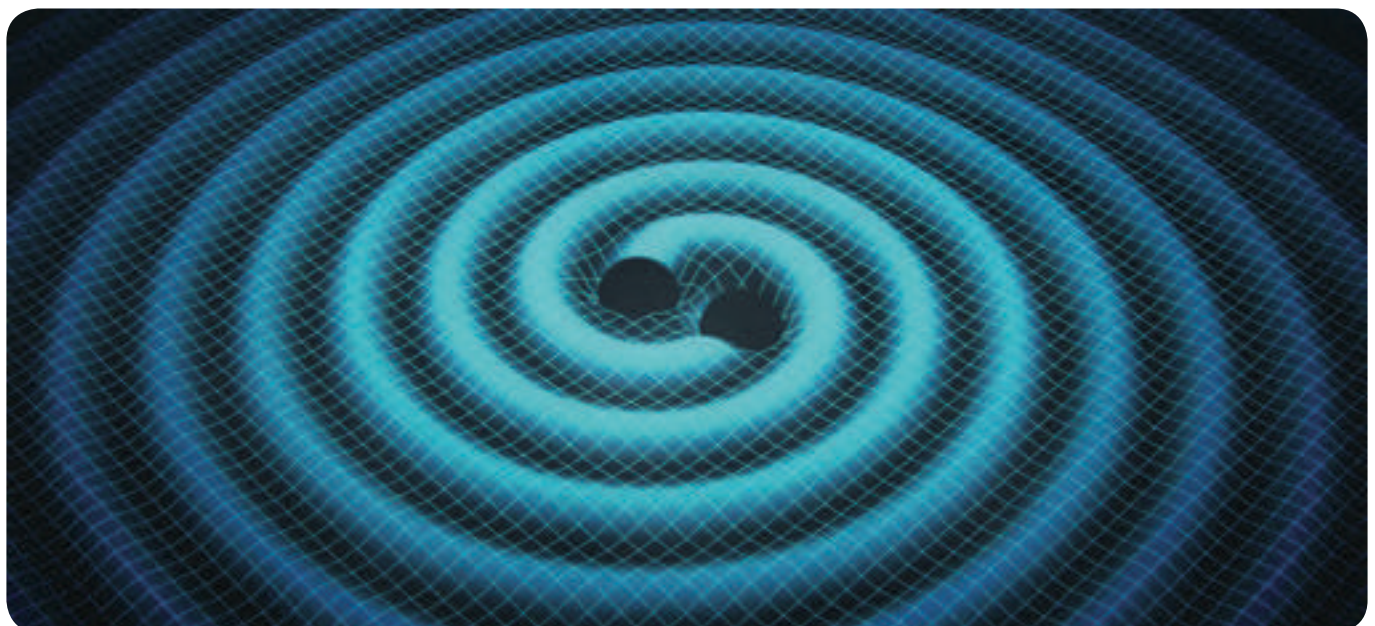
## Uma ideia simples...

LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*) é o nome da experiência que observou directamente pela primeira vez uma onda gravitacional através de um in-

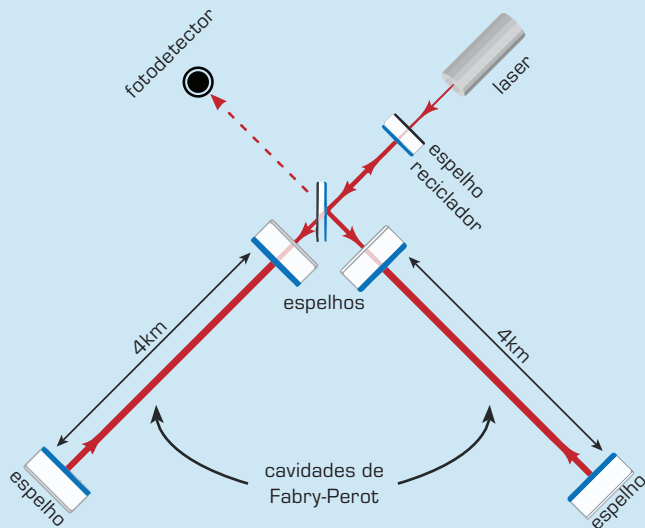
terferómetro laser. A ideia é simples: divide-se um raio de luz laser em dois, forçando as duas partes a viajar em sentidos perpendiculares, reflectindo-os passada uma determinada distância e juntando-os de novo num fotodetector. Se não houver influências nos raios de luz enquanto viajam, estes irão formar no final um sinal igual ao original; caso contrário, o sinal será diferente. A ideia é que os dois braços do interferómetro irão ter os seus comprimentos a variar com a passagem da onda gravitacional, pelo que a luz irá percorrer uma distância diferente em cada braço, e consequentemente os raios irão juntar-se com uma diferença de fase diferente, produzindo um padrão de interferência. Devido à enorme intensidade do laser, é na verdade mais útil sincronizar os raios de luz divididos de forma a que se cancelem quando se juntam novamente, tal que o detector não receba luz na ausência de uma onda gravitacional.

## ... mas um desafio complicado

No entanto, os efeitos que se querem observar são tão incrivelmente pequenos que surge um sem-fim de complicações, começando pelo comprimento dos braços do interferómetro. Como as flutuações do comprimento destes irão ser proporcionais ao seu tamanho, quanto maiores forem melhor. Acontece que o tamanho mínimo necessário



**Figura 1:** Ondas gravitacionais produzidas pela interacção de dois buracos negros (créditos: Swinburne Astronomy).



## Funcionamento do LIGO

O feixe de um laser, amplificado utilizando um sistema de reciclagem, é dividido em dois. Cada um dos novos feixes é feito percorrer uma cavidade de Fabry-Perot de 4 km. Finalmente, são combinados para serem detectados pelo fotodetector.

Se houver passagem de uma onda gravitacional, a luz irá percorrer uma distância diferente em cada cavidade e consequentemente as ondas apresentam uma diferença de fase, produzindo um padrão de interferência.

**Figura 2:** Configuração de um interferómetro de Michelson-Morley com cavidades de Fabry Perot e um sistema de espelhos recicladores de potência (créditos: LIGO).

para ter alguma esperança de detectar uma onda gravitacional é da ordem das centenas de quilómetros, o que é obviamente impraticável. Para complicar mais ainda a situação, os tubos têm que conter um dos vácuos mais perfeitos na Terra. A solução que se encontrou consistiu em construir um tubo de 4 quilómetros e um sistema de cavidades ópticas, denominadas cavidades de Fabry-Perot, tal que os raios divididos fossem reflectidos diversas vezes antes de se voltarem a encontrar, aumentando efectivamente a distância percorrida. Neste caso, cada raio repete o percurso cerca de 280 vezes, aumentando a distância viajada para 1120 quilómetros, tornando o efeito das ondas gravitacionais proporcionalmente maior.

Outro factor importante é a potência do laser que, quanto maior for, maior a sensibilidade do aparelho. O laser inicialmente criado tem uma potência de 200 W, mas, para que o sistema trabalhe com a sensibilidade máxima, é necessário que seja de 750 kW, algo que é tão impraticável de gerar logo de início como construir um tubo de 1120 Km. Para amplificar a potência do laser utilizam-se espelhos recicladores de potência, de modo a que só uma pequena percentagem da luz reflectida nos braços do interferómetro seja direccionada para o fotodetector final. A restante percentagem volta de novo para o interferómetro para repetir a viagem pelos braços, acumulando assim luz suficiente para chegar à intensidade desejada (Figura 2).

O facto de haver uma intensidade máxima não está relacionado com limites práticos, mas com o sistema de espelhos reflectores na ponta dos braços do interferómetro. Os espelhos estão engenhosamente assentes por fios metálicos de forma a eliminar uma quantidade enorme de ruído de fundo, que, combinado com uma grande intensidade do laser, dá origem a uma sensibilidade sem precedentes. Contudo, a sensibilidade aumenta tanto que, se o laser ultrapassar os 750 kW de potência, torna-se possível ver os desvios da posição dos espelhos devido ao momento linear carregado pela própria luz do laser, o que irá perturbar o padrão captado pelo fotodetector.

Para além do desafio tecnológico, existe ainda o computacional. Para começar, é necessário monitorizar as possíveis perturbações exteriores que originam ruído de fundo

e podem ser confundidas com o sinal que se quer detectar. Estas variam desde veículos nas estradas, terremotos, pequenas variações de temperatura entre os braços do detector, até a variações da atração da Lua. Sempre que um sinal sobressai desta monitorização, ele é comparado com milhões de sinais gerados numericamente para vários cenários possíveis. Sempre que um desses sinais corresponde a um sinal observado, existe a possibilidade de se estar perante uma detecção. Por outro lado, existe sempre a possibilidade de não se detectar algum sinal porque não se fez o cálculo para essa situação em particular. Para assegurar que uma detecção é verdadeira, foram também construídos dois detectores independentes a milhares de quilómetros de distância. Um sinal verdadeiro deverá ser observado em ambos os detectores, com o intervalo de tempo correcto entre cada detecção. Como último *check*, existem ocasiões em que se injecta secretamente sinais falsos que simulam detecções, de forma a confirmar que todo o processo está a funcionar correctamente.

## Finalmente, a detecção!

A 14 de Setembro de 2015, o projecto LIGO deu pela primeira vez frutos, detectando uma onda gravitacional compatível com a colisão de dois buracos negros com 29 e 36 massas solares, resultando na formação de um novo buraco negro com 62 massas solares. O défice de energia de 3 massas solares entre os estados finais e iniciais foi libertado na forma de ondas gravitacionais num intervalo de tempo de cerca de 0.2 segundos. A potência gerada neste processo equivale a cerca de 50 vezes a potência gerada por todo o universo visível, tornando este evento um dos mais violentos na natureza. A quantidade enorme de energia gerada, juntamente com o facto de que as ondas gravitacionais interagem muito pouco com a matéria, tornou possível que o sinal percorresse 1.3 biliões de anos-luz até chegar à Terra. Com a construção de uma rede de detectores com cada vez maiores sensibilidades, estas medições serão cada vez em maior número e mais precisas, possibilitando a detecção de eventos deste género e outros mais, a uma distância cada vez maior. ■

\*Podes ler mais sobre ondas gravitacionais na edição 34, disponível em [http://pulsar.nfst.pt/pulsar\\_revistas.php](http://pulsar.nfst.pt/pulsar_revistas.php)

# Como ser um físico milionário

por André Gonçalves\*, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

O termo “ciência social” foi usado pela primeira vez em 1824. Desde então, tem havido um esforço crescente por traçar a fronteira entre as ciências socio-económicas e as ciências exactas. Mas, em anos recentes, à medida que mais cientistas cruzam a fronteira e conquistam lugares de relevo, esta linha tem sido obscurecida.

**A** era da complexidade chegou à economia! O atual contexto socioeconómico conjuntamente com a crise financeira que o mundo atravessou nas últimas décadas favoreceu a emergência de novas formas de lidar com os problemas e resolvê-los de modo mais eficiente e aqui a Física não poderia deixar de ter um papel relevante.

Historicamente, há mais de um século que a Matemática e a Física tentam aplicar os seus métodos às Finanças e aos modelos económicos – o estudo remonta a 1900 quando Louis Bachelier sugeriu que as flutuações nos preços dos títulos e das participações em mercados financeiros seriam aleatórias. Ao fazê-lo, este físico desenvolveu, na sua tese de doutoramento intitulada “A Teoria da Especulação”, toda a matemática e todas as expressões que Einstein viria a demonstrar cinco anos mais tarde para o movimento Browniano, e deste modo conseguiu construir uma teoria para o passeio aleatório, que, segundo a sua tese se aplicaria às flutuações dos preços e cotações bolsistas.



**“Professor [Max] Planck of Berlin, the famous originator of the Quantum Theory, once remarked to me that in early life he had thought of studying economics, but he had found it too difficult!”**  
– Jonh Maynard Keynes

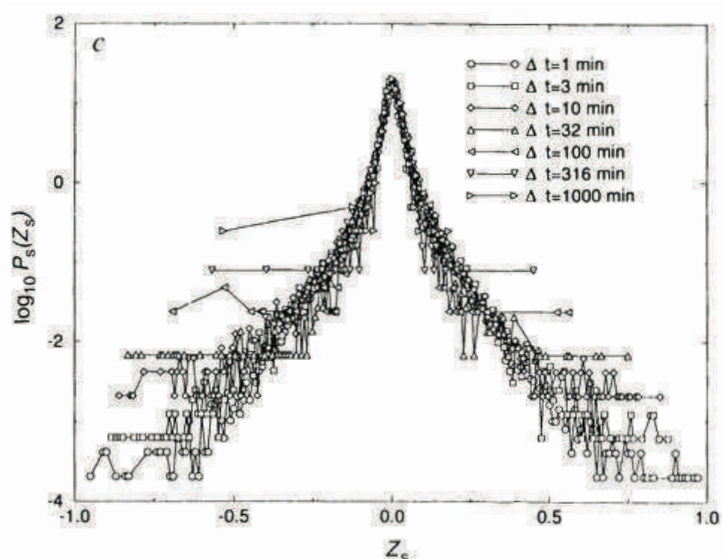
Contudo, esta tese acabou por passar despercebida quer a físicos quer a economistas, pois os primeiros não viam a relevância que a tese poderia trazer aos avanços na Física e os segundos porque achavam que este tipo de explicação não era compreensível para eles, não vendo impacto na forma de lidar com a Economia.

Numa primeira abordagem, Bachelier considerou que a distribuição dos valores das flutuações deveria seguir uma distribuição gaussiana, uma vez que todos os valores resultam de um passeio aleatório – contudo nunca conseguiu totalmente explicar a razão que levava estes valores a tomar esta forma, afirmava apenas que eram uma característica inerente aos dados experimentais. Esta tese do físico, que teve como orientador Henri Poincaré, um dos matemáticos mais conhecidos do último século, teria como conclusão que grandes flutuações do valor médio, reconhecidas em economia como momentos de *crash*, teriam uma probabili-

dade quase nula de acontecer; a questão é que estas flutuações acontecem de facto, e portanto algo deveria estar a falhar na tese de Bachelier. Assim, na década de 60, Benoît Mandelbrot introduziu o conceito de “caudas gordas”: próximo de grandes flutuações as caudas da curva seriam mais inchadas, representando uma maior probabilidade desses eventos ocorrerem. A justificação para esta mudança prende-se com o argumento de que, para estas grandes variações, a curva não seria uma gaussiana mas sim um processo estável de Levy. Este processo resulta fundamentalmente de assumir que as flutuações não seguem um passeio aleatório normal, mas sim um voo de Levy, no qual o passo de cada movimento aleatório não é constante, podendo ser maior ou menor [o exemplo disto pode ser também a alimentação de uma gaivota – quando tem alimento perto realiza pequenos movimentos aleatórios; quando o alimento escasseia tem de fazer maiores deslocações até encontrar novo alimento, logo regressa a pequenas variações no seu movimento].

Com o objetivo de conseguir fazer uma investigação mais concreta, com dados mais exatos, dois físicos, Rosario Mantegna e Gene Stanley, decidiram, em 1995, recolher mais de um milhão de registos de um índice de mercado e verificar qual seria o seu comportamento estatístico. Quando compararam os seus resultados com as curvas teóricas de Bachelier e Mandelbrot concluíram que ainda assim as curvas não estavam totalmente de acordo com os dados recolhidos. Esta análise veio reforçar a ideia que de não deve haver uma única distribuição estatística que se ajuste a todas as flutuações, mas sim uma descrição por intervalos. Contudo, os resultados mais interessantes relativos a estes dados experimentais prendem-se na realidade com a invariância de escala que foi observada: Mantegna e Stanley observaram que as flutuações nos valores dos índices da bolsa apresentavam o mesmo comportamento independentemente da escala de tempo em que eram analisados (ver figura), o que resultou portanto na conclusão de que esta semelhança de forma a diferentes níveis de ampliação seguia uma estrutura fractal!

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.



**Figura 1:** Futuações nos valores dos índices da bolsa em diferentes escala de tempo (Mantegna & Stanley, Nature 376).

Ao nível da economia, não só se torna importante o papel dos ativos com que se trabalha, mas também a importância do agente racional, e do seu comportamento. Neste sentido, os físicos abordam também essa questão quando se vêem confrontados com a necessidade de trabalhar com sistemas de múltiplas partículas – e aqui reside o paralelismo entre a Física e a Economia. A interação entre os agentes económicos reflete-se na microeconomia (teoria económica responsável por estudar o comportamento dos agentes e das empresas nos processos de tomada de decisão relativas ao valor de um dado bem), em particular a forma com o agente reage perante dadas alterações do mercado ou de outros agentes económicos. Hans Föllmer, matemático da Universidade de Bona, descreveu em 1974 um modelo de interação entre agentes que se baseava no modelo de Ising dos magnetos – neste modelo simplifica-

do de um material magnético, os átomos estão dispostos numa grelha e alinham a sua orientação magnética (spin) de acordo com a orientação dos átomos adjacentes, uma vez que estes exercem forças uns sobre os outros. No modelo de Föllmer, os átomos são equiparados a agentes que têm que tomar uma decisão relativamente a uma negociação. A principal conclusão do seu estudo mostra que, tal como nos magnetos, existem dois estados estáveis, ou seja, mais que um cenário macroeconómico, o que mudou a forma como os economistas da altura viam o mercado. Estes estudos foram posteriormente alargados e revistos por William Brock e Steven Durlauf, ambos economistas com conhecimentos de física moderna, que elaboraram um paralelismo entre a forma de escolha dos agentes e o modelo de Curie-Weiss: este modelo físico pressupõe que cada átomo é influenciado pelo comportamento médio de todos os outros átomos presentes. Apesar de, enquanto modelo físico, ser algo excessivo, enquanto modelo económico é muito mais plausível aceitar que a decisão de agente seja afetada de forma global: veja-se, num exemplo simples, que um corretor da Bolsa de Londres facilmente pode ter acesso às negociações em Lisboa, em Tóquio ou qualquer outro lugar do mundo, ou seja, este comportamento médio global está de facto presente e tem influência.

De facto, o contributo da Física veio a revelar-se como potenciador de novas perspectivas para o mundo da Economia e da Finança, trazendo uma perspectiva mais empírica e descritiva. A Econofísica veio trazer uma melhor descrição dos modelos de mercado, influenciados por instituições como o Santa Fe Institute onde alguns físicos de renome foram capazes de compreender o paralelismo entre os cenários macro e microeconómicos e a realidade física que estudam. Sendo a Economia e Física aparentemente tão disjuntas, a verdade é que esta segunda tem permitido que as suas ferramentas e a beleza dos seus modelos possam estar ao serviço da Economia, e por sua vez ao serviço da Sociedade. ■



## Crónica Semanal

Fica atento à nossa nova coluna na página de Facebook da Pulsar

Visita-nos em [facebook.com/pulsarmag](https://facebook.com/pulsarmag)



# Gluões os primos afastados dos fótons

por André Martins, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

No rescaldo do Ano Internacional da Luz olhamos à Cromodinâmica Quântica (QCD, ou *Quantum ChromoDynamics*), a teoria física das interações fortes. Falar em QCD neste contexto pode parecer despropositado, mas queremos fazer uma analogia entre o fóton, o mediador das interações electromagnéticas e os gluões, os mediadores das interações fortes.

**A** Cromodinâmica Quântica lida com uma das quatro forças fundamentais da natureza, a força forte, que é responsável por manter nucleões – prótons e neutrões – juntos no núcleo atómico. Nas últimas décadas, conceitos como estes tornaram-se populares junto do grande público devido a uma crescente sensibilização para a física nuclear e às inúmeras descobertas em física de partículas que captam o fascínio da sociedade. Talvez menos mediáticos, mas mais fundamentais, são os *quarks*, partículas elementares que se juntam para formar hádrons como o próton e o neutrão precisamente. O que QCD faz é essencialmente descrever o comportamento dos *quarks* mediados por outro conjunto de partículas, os gluões.

## Semelhantes...

Uma forma interessante de não nos perdermos no meio de todas estas ideias e de entender o papel de cada uma destas partículas é fazer uma analogia entre a luz – representada por fótons na teoria quântica do campo – e os gluões. A luz representa uma colecção de processos descritos pela Electrodinâmica Quântica (QED, ou *Quantum ElectroDynamics*), que é [apenas] outra teoria, para outra força fundamental – a força electromagnética, responsável, por exemplo, pela visão: os nossos olhos detectam a luz que interagiu com os constituintes da matéria. De facto, conseguimos ver graças a estas interações electroma-

gnéticas entre o electrão e o mediador da QED, o fóton. Tal como o fóton medeia a interacção electromagnética entre electrões, o gluão medeia a interacção forte entre *quarks*. Claro que esta analogia é uma simplificação de um assunto muito mais complexo, visto que existem várias diferenças fundamentais entre QED e QCD; não obstante, podemos pensar nos gluões como primos afastados dos fótons.

## ... mas diferentes

QCD tem duas características muito interessantes em comparação com QED.

A propriedade talvez mais fascinante e, possivelmente, contra-intuitiva a algum nível é a chamada liberdade assintótica: as ligações entre *quarks* são mais fortes a baixas energias e mais fracas a altas energias. Isto é de algum modo, dual ao que se passa em QED.

Pensem nisto por um minuto – uma ligação que de algum modo se torna mais fraca a grandes energias (ou seja, a pequenas escalas)! Contra-intuitivo, não é?! Este mecanismo foi muito importante para restabelecer a confiança dos físicos na teoria quântica do campo. O Prémio Nobel da Física em 2004 foi atribuído a Gross, Wilczek e Politzer, que descobriram e interpretaram a liberdade assintótica em 1973.

Outra propriedade é o confinamento: à medida que dois *quarks* são afastados, a energia do campo de gluões aumenta até ser suficiente para produzir um par de *quarks*. De facto, nunca observámos *quarks* livres na natureza, mas sabemos que são parte da matéria, ligados (ou melhor, confinados) em nucleões como o neutrão e o próton, ou em geral noutros hádrons.

Um problema fundamental com a nossa analogia fóton-gluão é o facto de os gluões carregarem a carga da sua teoria, a carga da cor (que nada tem a ver com as cores que os nossos olhos distinguem). Os fótons, por outro lado, não têm carga eléctrica. Isto é importante porque permite que os gluões interajam somente entre si, e não apenas com *quarks*, enquanto em QED a única interacção é fermião-fóton, os fótons não interagem sozinhos.

As interacções gluão-gluão estão na base do mecanismo de confinamento. Uma consequência interessante relacionada com os graus de liberdade efectivos da física nuclear a baixas energias (correspondente a escalas do femtómetro) é o mecanismo de troca de mesões. Os mesões, partículas compostas por um *quark* associado a um anti-*quark*, podem ser considerados como os efectivos mediadores das interacções nucleão-nucleão. Assim, não precisamos de considerar directamente as muito complexas interacções entre gluões para descrever a força nuclear. ■

|         |                                              |                                          |                                         |                         |                            |
|---------|----------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| massa → | ≈2.3 MeV/c <sup>2</sup>                      | ≈1.275 GeV/c <sup>2</sup>                | ≈173.07 GeV/c <sup>2</sup>              | 0                       | ≈126 GeV/c <sup>2</sup>    |
| carga → | 2/3                                          | 2/3                                      | 2/3                                     | 0                       | 0                          |
| spin →  | 1/2                                          | 1/2                                      | 1/2                                     | 1                       | 0                          |
|         | <b>u</b><br>up                               | <b>c</b><br>charm                        | <b>t</b><br>top                         | <b>g</b><br>gluão       | <b>H</b><br>bosão de Higgs |
|         |                                              |                                          |                                         |                         |                            |
|         | ≈4.8 MeV/c <sup>2</sup>                      | ≈95 GeV/c <sup>2</sup>                   | ≈4.18 GeV/c <sup>2</sup>                | 0                       |                            |
|         | -1/3                                         | -1/3                                     | -1/3                                    | 0                       |                            |
|         | 1/2                                          | 1/2                                      | 1/2                                     | 1                       |                            |
|         | <b>d</b><br>down                             | <b>s</b><br>strange                      | <b>b</b><br>bottom                      | <b>γ</b><br>fóton       |                            |
|         |                                              |                                          |                                         |                         |                            |
|         | 0.511 MeV/c <sup>2</sup>                     | 105.7 MeV/c <sup>2</sup>                 | 1.777 GeV/c <sup>2</sup>                | 91.2 GeV/c <sup>2</sup> |                            |
|         | -1                                           | -1                                       | -1                                      | 0                       |                            |
|         | 1/2                                          | 1/2                                      | 1/2                                     | 1                       |                            |
|         | <b>e</b><br>electrão                         | <b>μ</b><br>muão                         | <b>τ</b><br>tau                         | <b>Z</b><br>bosão Z     |                            |
|         |                                              |                                          |                                         |                         |                            |
|         | <2.2 eV/c <sup>2</sup>                       | <0.17 MeV/c <sup>2</sup>                 | <15.5 MeV/c <sup>2</sup>                | 80.4 GeV/c <sup>2</sup> |                            |
|         | 0                                            | 0                                        | 0                                       | ±1                      |                            |
|         | 1/2                                          | 1/2                                      | 1/2                                     | 1                       |                            |
|         | <b>ν<sub>e</sub></b><br>neutrino do electrão | <b>ν<sub>μ</sub></b><br>neutrino do muão | <b>ν<sub>τ</sub></b><br>neutrino do tau | <b>W</b><br>bosão W     |                            |

**Figura 1:** Modelo padrão, contendo as partículas elementares. Existem 6 *quarks* distribuídos por 3 gerações da matéria (3 colunas) que aumentam em massa e em flavor (sabor). Apesar de haver apenas uma entrada comum na tabela, existem 8 tipos de gluões (imagem adaptada da Wikipedia Commons).

# Pseudociência na medicina

## A água tem uma cabecinha de alfinete...

por Antônio Coelho\*, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**U**ma das terapias alternativas que cada vez mais se tenta infiltrar nos nossos sistemas de saúde, ocupando prateleiras de farmácias e alguns pacotes de seguros de saúde é a HOMEOPATIA: *homeo* [= semelhante] + *patia* [= doença]. Porquê “semelhante”? Porque um dos princípios no qual esta pseudociência se baseia é a *lei dos semelhantes* que diz que um remédio capaz de provocar um sintoma numa pessoa saudável é capaz de curar uma pessoa doente que tenha esse sintoma. Fantástico, mas ainda não terminou: enunciemos o princípio das doses infinitesimais, que está na base de todos os tratamentos. Os remédios homeopáticos são feitos a partir de uma tintura-mãe (que pode ser composta de abelhas esmagadas, veneno de cascavel e muitos outros artigos que mais parecem destinar-se aos caldeirões da maga Patalóji-ka) que é diluída em 100 gotas de água. Daqui retira-se uma gota que é novamente diluída em 100 gotas de água e assim sucessivamente, sendo o processo repetido 30, 40 ou 200 vezes. Ora, quem conhece o limite de Avogadro pode começar já a fazer as contas para chegar à conclusão que numa solução homeopática existem moléculas de água, moléculas de água e também moléculas de água!

– *Então não há nada que sustente cientificamente a homeopatia?*

Calma, caro leitor! Quem é teimoso uma vez é-o para toda a vida e os homeopatas certamente que se inserem nessa classe. Assim, como viram que isto não estava a dar em nada, lembraram-se de personificar a água: ela tem memória e conserva informação acerca de uma substância que nela esteve (mas já não está!) dissolvida.

– *Mas como acontece isso?*

Bem, existe um ritual homeopático chamado sucussão que consiste em dar umas pancadinhas na solução após cada diluição de forma a que a água retenha na sua RAM

informação sobre a substância que está a dissolver.

– *E a prova científica?*

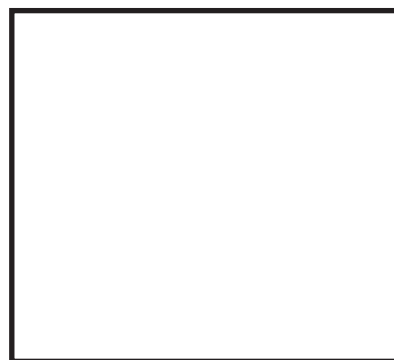
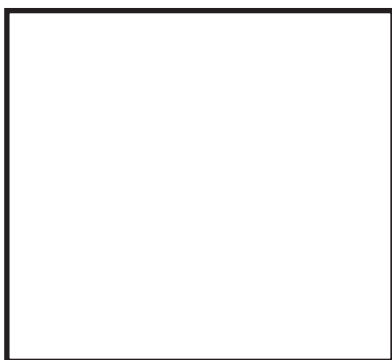
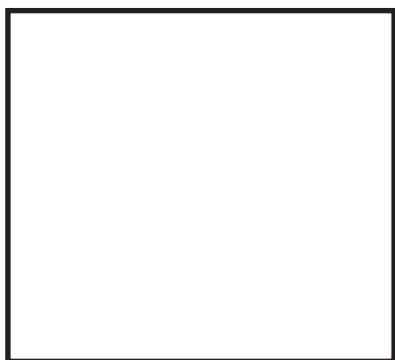
Em 1988, foi publicado um artigo na prestigiada *Nature* por um prestigiado cientista *et al.* que sustentava a ideia da memória da água. Contudo, junto ao artigo seguia uma nota do editor que aconselhava prudência na aceitação dos resultados até que os mesmos fossem replicados.

Imagino que por esta altura tenham surgido novas guerras inter-regionais, já que a composição das águas varia de região para região: em Portugal, os nortenhos apregoavam que a sua água sem calcário era a que tinha mais memória e os de Monchique, por seu turno, afirmavam que a alcalinidade é que determina se a água tem ou não uma boa cabecinha. “A água do Norte tem uma cabecinha de alfinete; é uma esquecida!”

Um mês depois de o artigo ter saído, a experiência que o sustentava voltou a ser repetida junto de uma comissão de peritos que pediu aos analistas que realizassem testes às cegas (i.e. não sabiam a que amostras correspondiam as diluições) e os resultados não se confirmaram! Nem nesse dia nem até hoje se conseguiram reproduzir os resultados originais em condições controladas.

Convém realçar que quaisquer resultados científicos têm de ser reprodutíveis e verificáveis por grupos de investigação científica independentes. Com isso em mente, convidamos os leitores a consultarem a página *web* das diversas associações pró-homeopatia para avaliarem se as “provas” apresentadas na forma de vídeos no *Youtube* e artigos assinados por apoiantes deste método satisfazem estes critérios... Se os doutores homeopatas querem continuar a alimentar o seu ofício têm, primeiro que tudo, que sustentar o seu trabalho com provas verdadeiras. Depois, sim, deverá aceitar-se esta forma de medicina que certamente deixará de ter o epíteto de *alternativa*. ■

## Cartoon Homeopático\*\*



\* \* Foi diluído com pixéis brancos para aumentar a piada.

# A Física dos Jogos Olímpicos

por Henrique Rodrigues, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Há várias coisas em comum entre a física e os Jogos Olímpicos: são o culminar milenar do esforço humano; pouco têm a ver com a sua forma original; foram pensados por entre ociosos devaneios de homens barbudos em eras passadas para enriquecer mente e corpo; e, apesar de serem originalmente gregas, transcenderam quaisquer limites mesquinhos de terra e pátria. Neste artigo, exploramos a física por detrás de vários desportos dos Jogos Olímpicos.

**R**eza a lenda que uma maçã caída por mera sorte foi a génese da teoria gravítica de Newton. Porventura é esta história apócrifa – todavia, é absoluta verdade que a teoria de Newton modela não só a queda dessa hipotética maçã como muito mais. Mas o grande troféu deste homem são três simples leis que descrevem o sumo da mecânica clássica:

- (1) um corpo num referencial inercial mantém o seu estado de movimento a não ser que sobre ele actue uma força externa;
- (2) a força que actua num corpo é igual ao produto entre a sua massa e aceleração:  $\vec{F} = m\vec{a}$ ;
- (3) quando um dado corpo A exerce num segundo corpo B uma força, este último exerce em A uma força de igual intensidade e direcção mas sentido oposto.

A 1ª lei apenas constata que num referencial inercial (um que não esteja acelerado, ou seja, um que esteja parado ou que se movimente a velocidade constante) um corpo parado fica parado e um corpo com uma dada velocidade mantém o seu movimento com essa mesma velocidade a não ser que uma força externa eventualmente actue sobre o corpo. Assim, se eu estiver num carro com velocidade constante, continuo quieto face ao carro. Se o carro acelerar ou fizer uma curva, deixa de ser um referencial inercial e eu sinto um empurrão, mesmo sem haver forças externas a actuar sobre mim (o que sinto deve-se a forças ditas fictícias, causadas pela aceleração do próprio referencial).

A 2ª lei é-nos mais familiar, mas a 3ª também merece alguma ponderação. Imaginemos uma maçã numa mesa. Evidentemente, actua sobre ela a força gravítica para baixo... e a única coisa que impede a maçã de atravessar a mesa é o facto de a mesa exercer uma força igual à gravítica mas orientada para cima.

Neste ponto, o leitor deverá estar a perguntar-se o que raio tem isto a ver com os Jogos Olímpicos. De forma simples, tudo, já que o desporto nada mais é do que uma aplicação destas (e de outras) leis da mecânica as quais permitem dar forma palpável ao lema olímpico: *“Mais longe, Mais alto, Mais forte”*.

## Encostas escorregadias e outros deslizos

Pessoalmente, acho que o desporto olímpico mais aborrecido é o levantamento de pesos. Muito grunhir e suar, muito pouco espetáculo. Alguns dos senhores parecem não conseguir abraçar-se a si próprios de tão insuflados lhes estão os braços e o peito. Enfim, talvez eu não saiba apreciar a modalidade, mas há algo que aprecio: aquilo que estes atletas, os ginastas, e os *snowboarders* têm em comum – a preocupação com o atrito.



**Figura 1:** O atrito entre superfícies é causado por irregularidades microscópicas que dificultam o movimento tangencial.



**Figura 2:** Steven Kari (atleta da Papua Nova Guiné), competindo nos Jogos Olímpicos de 2012 (créditos: Laurence Griffiths/Ghety Images Europe).

Todos os dias temos um encontro marcado com o atrito e ao qual não conseguimos fugir. Não escorregamos enquanto andamos; as rodas do carro não derrapam; aquela pilha de livros numa estante inclinada que miraculosamente continua na estante e não no meio do chão – tudo isso é produto da força de atrito e da sua presença na nossa vida.

Para contextualizar rapidamente, basta notar que a força de atrito resulta do contacto entre superfícies que, por não serem inteiramente polidas, irão possuir uma dada rugosidade e, como tal, não irão deslizar perfeitamente uma sobre a outra. Como podemos intuir desta definição pouco rigo-



**Figura 3:** Mao Asada (atleta japonesa e medalhista dos Jogos Olímpicos de Inverno de 2010), executa várias piruetas no ar, aproximando os braços e pernas para acelerar a rotação e afastando-os do seu centro de massa para travar a rotação, no final do movimento (créditos: <http://rinkwithlove.tumblr.com/>).

rosa, a força de atrito depende fortemente do material e tipologia das superfícies em contacto.

Ora, os levantadores de peso sabem o quão doloroso pode ser deixar cair 200kg em cima de um pé [bastante]. Por isso, preferencialmente, evitam deixar cair por acidente aquilo que levantam. De facto, quem viu levantamento olímpico de pesos [infelizmente encontro-me entre essas pobres existências], reparou que existe uma perpétua nuvem branca de pó em torno dos atletas. Tal resulta de usarem giz, que, ao absorver suor, forma uma substância com um elevado coeficiente de atrito a qual permite que a barra não lhes escorregue com facilidade das mãos; os ginastas seguem o exemplo. Curiosamente, certos atletas optaram até por outras substâncias mais exóticas, tais como mel, coca-cola ou mesmo gomas derretidas. Estas substâncias, como é evidente, funcionam devido à sua elevada viscosidade.

No *snowboard*, por outro lado, escorregar é o objectivo. O gelo possui um baixo coeficiente de atrito e as tábuas são igualmente polidas para aumentar a velocidade do atleta, permitindo um espetáculo visual muito mais gratificante do que uma suave descida encosta abaixo.

### Enrolar é acelerar

Todos fomos crianças – uma afirmação inédita e ousada, eu sei, mas ainda assim atrever-me-ei a fazê-la. Piadas à parte: todos sabemos que, quando giramos sobre nós próprios numa cadeira de escritório, podemos facilmente abrandar a rotação afastando os braços do corpo e acelerar quando nos encolhemos novamente. Este fenómeno é importantíssimo nos mais diversos desportos olímpicos. Temos, por exemplo, o mergulho e a ginástica, em que o atleta encolhe o seu corpo para dar um maior número de mortais, bem como os patinadores artísticos, que esticam e flectem a perna por forma a acelerar e desacelerar a sua rotação, entre outros. Em suma, qualquer desporto que envolva rodar o nosso corpo no ar irá ser um exemplo da aplicação deste princípio.

De facto, estes exemplos simples já nos indicam que a distribuição de massa de um corpo desempenha um papel importante na velocidade angular: ter uma maior quantidade de massa perto do centro de rotação permite-nos atingir uma maior velocidade, enquanto que ter essa mesma quantidade mais afastada leva a que a velocidade seja menor. A grandeza que traduz a distribuição de massa do

corpo é o momento de inércia, representado por  $I$ , que é tão grande quanto mais distante está a massa face ao eixo em torno do qual roda. A relação entre o momento de inércia e a velocidade angular,  $\omega$ , de um corpo é, nos casos simples, dada por:

$$L = I\omega$$

onde  $L$  é designado o momento angular do sistema. Com base nesta equação, é fácil ver que, se  $L$  for uma constante do movimento (ou seja, se o seu valor se mantiver inalterado enquanto o corpo se move),  $I$  e  $\omega$  são inversamente proporcionais: quanto maior for  $I$  (ou seja, quanto mais afastada estiver a massa do eixo de rotação), menor será a velocidade que atingimos; mas se nos encolhemos, comprimimos a nossa massa face ao eixo vertical, e giraremos muito mais velozmente à volta dele. Notem que, se substituíssemos  $I$  pela massa total do corpo,  $m$ , não teríamos em conta a aceleração e desaceleração que experienciamos ao abrir e fechar os braços quando rodamos sobre nós próprios: afinal, a nossa massa não muda com a posição dos nossos braços ou pernas!

A questão agora é, portanto, se  $L$  se revela uma constante do nosso movimento. Felizmente, verifica-se que existe um princípio experimentalmente observável, denominado princípio da conservação do momento angular, que nos diz – “caso o torque resultante que actua sobre um dado corpo seja nulo, então o seu momento angular mantém-se”. O torque pode ser visto como o efeito rotativo de uma força, e é proporcional à força, mas também à sua distância ao eixo de rotação: por exemplo, para empurrar uma porta, conseguimos mais facilmente fazê-la girar se aplicarmos a força próximo da maçaneta do que se, com a mesma força, fizermos pressão junto às dobradiças.

Na maior parte dos casos que considerámos como exemplo, se desprezarmos resistências do ar, não existem forças com efeitos rotativos apreciáveis a actuar no corpo (o peso não é responsável por piruetas!), logo verifica-se que  $L$  é realmente conservado. Assim, quando a patinadora aproxima a perna ou o mergulhador enrola o corpo, redistribuindo, assim, a sua massa de forma a que  $I$  seja menor, o valor de  $\omega$  aumenta. Isto permite-lhes alcançar feitos muito mais espetaculares do que de outra forma lhes seria possível!

Os atletas olímpicos são, na realidade, peritos absolutos das subtilezas das regras da mecânica de Newton: das forças de atrito à conservação do momento angular, nada escapa a estes físicos amadores! ■

# Reconexão Magnética e outras histórias...

por Rita Teixeira da Costa, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Nuno Loureiro é investigador do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN), no Instituto Superior Técnico, e foi recentemente galardoado com o prestigiado prémio Thomas H. Stix, atribuído pela Sociedade Americana de Física, graças ao seu trabalho excepcional em reconexão magnética em plasmas. A PULSAR foi ao IPFN falar com este professor sobre a sua investigação.

**N**uno Loureiro começou os seus estudos na então Licenciatura (agora Mestrado Integrado) em Engenharia Física Tecnológica (LEFT/MEFT), no Instituto Superior Técnico (IST). Não “diria que fosse um percurso exemplar”, mas aprendeu com ele e veio a concluir o seu doutoramento no Imperial College, em Londres, em Física de Plasmas, sob a supervisão do Professor Malcom Haines, que foi galardoado com o prémio Alfvén pela Sociedade Europeia de Física pelos seus contributos para a física de plasmas. À estadia em Londres sucedeu-se uma bolsa de pós-doutoramento de 2 anos no Laboratório de Física de Plasmas, em Princeton, e, posteriormente, uma bolsa de investigação no Centro de Energia de Fusão de Culham.

Em 2009, ao abrigo do programa Ciência, da Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT), regressou a Portugal, obtendo uma bolsa de investigação de 5 anos para integrar o Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) no IST. “Era uma oportunidade a não desperdiçar se queria voltar [a Portugal] a curto/médio prazo” e que apresentava desafios “novos e estimulantes”. Em Culham “não existia ligação directa a nenhuma universidade”, mas o vínculo do IPFN ao Instituto Superior Técnico, e em particular, ao MEFT, traria uma componente lectiva ao seu dia-a-dia. “Na altura [em que era aluno do LEFT], era um curso muito diferente”, mas hoje afirma haver “maior acessibilidade aos professores” e mais envolvimento dos alunos na investigação.

No IPFN, Nuno Loureiro foi muito bem-sucedido. Tornou-se líder do Grupo de Teoria e Modelização no IPFN em 2012 e, em 2014, professor associado convidado do Departamento de Física do IST. O trabalho que tem vindo a desenvolver em reconexão magnética em plasmas valeu-lhe o prestigiado prémio Thomas H. Stix da Sociedade Americana de Física. Antes de partir para os EUA, onde será professor assistente no Massachusetts Institute of Technology (MIT), integrado no Centro de Ciência e Engenharia Nuclear, concordou em falar à PULSAR sobre o seu percurso científico.

## Reconexão magnética

“Podemos pensar num campo magnético como se fosse bandas elásticas com tensão própria: podemos dobrá-las e, normalmente, vão voltar à sua tensão inicial; mas aplicando demasiada pressão, partem. A reconexão é um fenómeno qualitativamente semelhante. Um plasma – um gás parcial ou totalmente ionizado –, ao deslocar-se, arrasta consigo um campo magnético. Os movimentos do plasma podem induzir tensões no campo magnético. Em geral, o campo ac-

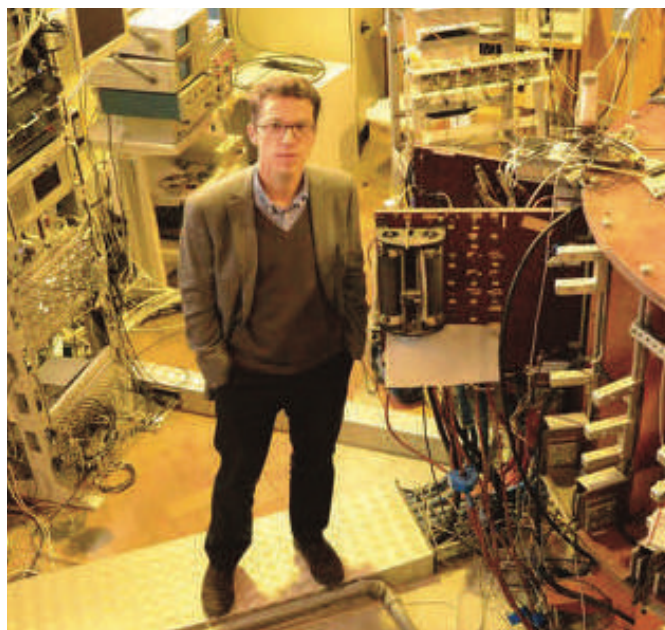
tua para contrariar as tensões, mas, se forem demasiado grandes, é energeticamente mais favorável para o campo alterar a sua topologia, ou seja, reconfigurar-se numa geometria mais estável naquelas condições.”

As aplicações desta teoria são muito vastas; afinal, “os plasmas são 99% da matéria (visível!) do universo”, desde estrelas aos plasmas que se usam na investigação sobre fusão nuclear, e “existem dois fenómenos que ocorrem quase sempre que se tem um plasma magnetizado: a turbulência e a reconexão magnética. Estes tendem a induzir-se um ao outro: é muito provável que a turbulência em plasmas envolva reconexão e sabe-se que a reconexão induz turbulência no plasma.”

Onde podemos encontrar este fenómeno? Um exemplo importante para nós é a interacção do campo magnético associado aos ventos solares (essencialmente, plasma proveniente do Sol) com o da Terra: “quando os campos reconectam, existe transferência de partículas de alta energia que são levadas para os pólos e, em contacto com a atmosfera, ionizam-na, dando origem às auroras boreais”.

Mas existem outros exemplos. Alguns corpos massivos centrais, como estrelas de neutrões e buracos negros, são magnetizados e a interacção entre os campos nos discos de acreção em torno destes astros dá origem a jactos astrofísicos. Esta interacção poderá envolver reconexão dos campos. Perceber o fenómeno neste contexto é muito “interessante [para qualquer físico], porque são mecanismos de injeção de energia no meio interestelar”.

Aqui, na Terra, a reconexão magnética é uma das chaves para resolver o problema da fusão nuclear. Actualmente,



**Figura 1:** Professor Nuno Loureiro, junto ao ISTTOK, o Tokamak do IST, sob a gestão do IPFN.

procura-se fazer fusão por confinamento magnético, isto é, utilizando campos magnéticos impedir que ele entre em contacto com as paredes do reactor (tokamak). No entanto, “o plasma tende a interagir com os campos e alterá-los, por exemplo, por reconexão, o que resulta num fraco confinamento” e baixo rendimento da fusão.

### Do IPFN ao MIT

No IPFN, o dia-a-dia de Nuno Loureiro divide-se entre plasmas astrofísicos e fusão nuclear. Na sua opinião, a sua investigação em reconexão beneficia “por estar exposta a áreas diferentes e estímulos diferentes”. Acrescenta ainda que “é muito fácil progredir no IPFN porque há pessoas muito boas [em ambas as áreas] com quem 5 minutos podem ser extremamente produtivos.”

De malas feitas para o MIT, não tem senão elogios a tecer ao IPFN. “Estou bem no IST e no IPFN. Não me vou embora por achar que há poucas oportunidades. O IPFN, na minha opinião, compete com qualquer instituição a nível europeu em plasmas. Os recursos para manter uma investigação de alto nível estão aqui.” No entanto, afirma, gosta de sair da sua zona de conforto: “é um desafio diferente. Vou ser

obrigado a alargar horizontes e crescer como cientista”.

### O futuro da ciência portuguesa

Sobre o estado da ciência portuguesa, Nuno Loureiro recorda que “temos um atraso histórico face aos outros países”. No entanto, acredita que “estamos a recuperá-lo a passos largos, e há áreas em que não estamos atrasados de todo”. Um dos casos de sucesso é o IPFN, que acredita ser “um exemplo do que a ciência portuguesa pode ser”.

Assim, julga que “o panorama [para a ciência portuguesa], em geral, é bom, comparado com aquilo que já foi”, mas alerta para a sua fragilidade: “a ciência portuguesa não tem raízes suficientemente profundas que lhe permitam sobreviver a muitos anos de maus-tratos. É preciso que os governos protejam activamente a ciência.” Um dos pontos essenciais é, na sua opinião, evitar a tendência “francamente ridícula” de “só financiar investigação que tenha um efeito pratico ou mensurável no imediato”, descurando áreas mais teóricas. A sua investigação, por exemplo, “não tem efeito prático imediato sem ser o de treinar pessoas a pensar e, na minha opinião, ter cidadãos que sabem pensar é importante para a sociedade”. ■

## Biologia Computacional

por José Pereira-Leal, fundador da Ophiomics – Investigação e Desenvolvimento em Biotecnologia, Lda

O termo Biologia Computacional descreve uma abordagem aos problemas biológicos, do mesmo modo que o termo Biologia Molecular descreve outra abordagem. Para de ser o mais geral possível, junto no mesmo saco da Biologia Computacional a Biologia de Sistemas e a Bioinformática, para descrever qualquer abordagem ao estudo de problemas nas ciências da vida fortemente apoiado em ferramentas computacionais para organizar, armazenar, representar, modelar, analisar dados. Estas incluem análises de grandes volumes de dados, por exemplo em comparações de ADN de várias espécies ou indivíduos; a utilização de formalismos de representação e análise como a teoria de redes; a utilização de abordagens de modelação com sistemas de equações diferenciais. Impõe também a necessidade de novas soluções de organização, integração e análise de dados, e.g. o desenvolvimento de ontologias para descrever um sistema biológico, de estruturas de dados que evidenciem relações entre variáveis ou ainda o desenvolvimento de novos métodos e métricas de análise de variáveis biológicas.

A Biologia Computacional tem ganho visibilidade em anos recentes, fruto do crescente volume e complexidade da informação biológica que temos que organizar e analisar. Múltiplos avanços tecnológicos permitiram automatizar e miniaturizar muitas tarefas que antes eram feitas manualmente, permitindo uma avalanche de informação de todo o tipo, desde sequências de ADN a imagens de microscopia; na área da computação, a nossa capacidade de armazenamento de dados e de cálculo continuam a aumentar.

Quais os caminhos para os que gostavam de explorar esta área de trabalho? Não há caminho específico, pois en-

contramos hoje pessoas com as mais variadas formações. Tendo gerido um grupo de investigação no Instituto Gulbenkian de Ciência (IGC) nos últimos 10 anos, tendo coordenado uma unidade de apoio à investigação por cerca de 8 (Unidade de Bioinformática do IGC) e tendo fundado uma empresa de genómica médica, tive o prazer de trabalhar com Engenheiros Físicos, Químicos, Biológicos e Informáticos (curiosamente quase todos do Técnico!). Tive também colegas Biólogos, Bioinformáticos, Engenheiros Físicos (quero salientar a óptima experiência que foi ter trabalhado com um mestrando de MEFT do IST, o que resultou no artigo [1]) e até Médicos. Aquilo que me fica foi a capacidade de formalizar os problemas de Evolução que estávamos a estudar, e de trazer abordagens para a mesa que eu desconhecia e que se revelaram críticas. Para acabar, gostava de salientar que a Biologia Computacional é uma área em franco crescimento, e o início da criação das infraestruturas de informação biológica nacional, BioData.pt, e europeia, ELIXIR; esta última hoje coordenada pelo Professor Arlindo Oliveira do IST, promete várias oportunidades de trabalho interessante para breve. Para além disso, é importante de relevar que a Biologia Computacional se tem tornado um espaço de excepção de tradução de valor para sociedade, e tem sido muito comum investigadores desta área formarem as suas empresas. Na que eu fundei, a componente computacional é sem sombra de dúvida o pilar da empresa, para além de ser a mais bem paga! ■

### Referências:

[1] Mendonça AG, Alves RJ, Pereira-Leal JB (2011). *Loss of genetic redundancy in reductive genome evolution*. PLoS Computational Biology.



# A física e a tecnologia da... Televisão

por João Melo\*, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A televisão é dos meios de comunicação em massa mais importantes e mais abrangentes, tendo revolucionado a transmissão da comunicação, e facilitado o contacto entre regiões distintas.

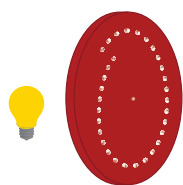
Pergunte-se a qualquer aluno de Física e ele concordará que as leis de Maxwell têm uma beleza sem igual. Mas não somos só nós que apreciamos o valor da teoria do electromagnetismo; é todo o mundo ocidental. Afinal, desde que Maxwell fixou estas leis na última metade do século XIX, as aplicações sucederam-se em catadupa, em particular no domínio da comunicação: do telégrafo ao telemóvel e do rádio à televisão, todos nós usufruímos das invenções que este conhecimento fez nascer.

O primeiro instrumento de comunicação em massa foi o rádio, contudo apenas transmitia som. Uma natural evolução do rádio era permitir simultaneamente a transmissão de imagens, surgindo a televisão. No entanto, como o acréscimo não é simples, a invenção da televisão de hoje foi um processo demorado, e várias soluções foram encontradas ao longo do tempo.

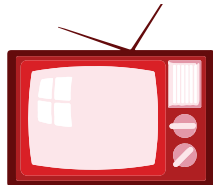
branco. Mais tarde, usando três feixes de eletrões de cada vez, cada pixel (unidade de imagem) fica dividido em três subpíxeis cada um com uma cor primária (vermelho, verde e azul). Regulando a intensidade de cada feixe, conseguiu transmitir-se imagens a cor.

A tecnologia mais recente é a das televisões LCD (*Display* de Cristais Líquidos) que usa o estado da matéria entre o sólido e o líquido, o cristal líquido. Este estado permite suficiente liberdade de movimento para que, sob a aplicação de um campo elétrico, as moléculas consigam mover-se, sem perderem a estrutura ordenada. Os LCD também aproveitam o facto de a luz ser uma onda transversal, logo polarizável: a sua direção de vibração, perpendicular à direção de propagação, pode ser regulada, tal como podemos abanar uma corda no sentido cima-baixo ou esquerda-direita.

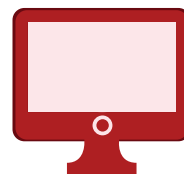
Então vamos debruçar-nos sobre um único pixel num LCD.



Disco de Nipkow (1920s)



Tubo de raios catódicos (1930s)



Liquid Crystal Display (1990s) tempo

A primeira tentativa de fazer uma televisão foi nos anos 20, usando uma invenção de 1884, o disco de Nipkow. Esse disco tinha vários buracos a distâncias diferentes do centro, logo, quando rodava, estes revelavam partes diferentes de uma imagem. Se se rodasse suficientemente rápido, o disco dava a ilusão de movimento. Na prática, para que esta “televisão” funcionasse, o disco tinha que ser bastante grande e as imagens aparentavam ser curvas, pelo que a invenção não teve muito sucesso.

O candidato seguinte foi o já conhecido tubo de raios catódicos, que conquistou uma maior popularidade, sendo usado nas televisões e monitores antigos com uma grande caixa atrás do ecrã. O seu princípio é mais complexo. Aplicando uma diferença de potencial entre duas partes do tubo, estimula-se a emissão de um feixe de eletrões. Os eletrões têm carga negativa, logo são atraídos por partículas com carga positiva e repelidos por partículas com carga negativa. Se no caminho desse feixe forem colocadas placas na perpendicular, uma com carga positiva e outra com carga negativa, pode deflectir-se o feixe para onde se quiser no tubo, regulando a carga em cada placa. No fim do percurso, os eletrões encontram um ecrã fosforescente que emite luz quando os recebem. Emitindo diversos feixes em rápida sucessão, é possível varrer o ecrã. Variando a intensidade do feixe, regula-se a intensidade da luz, criando zonas mais escuras e mais claras, ou seja, televisão a preto e

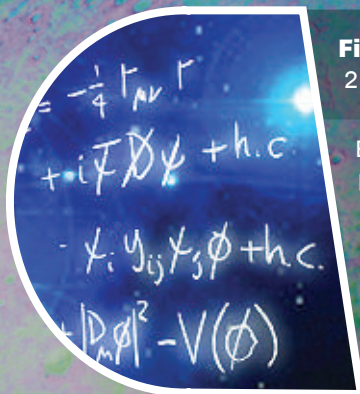
Primeiro é emitida luz branca, usando tubos fluorescentes ou LED. Essa luz passa por um polarizador vertical, ou seja, que fixa a direcção de vibração da luz no sentido cima-baixo. Seguidamente, o raio luminoso passa pelos cristais líquidos previamente orientados por um campo eléctrico, ficando agora polarizada segundo a direcção dos cristais. Por último, a luz passa por um segundo polarizador, este na horizontal, e é aí que a imagem se forma.

Se a luz não for desviada pelos cristais, vai encontrar o segundo polarizador, e, estando polarizada completamente na vertical, é bloqueada por este. Se os cristais a tiverem polarizado de modo a ficar completamente na horizontal, a luz passa sem restrições. Posições intermédias resultam em intensidades intermédias, logo pode-se regular a intensidade de um feixe de luz, que como já vimos permite a transmissão de imagem.

A verdadeira inovação dos LCD não são os dois polarizadores, mas sim o facto de que os cristais líquidos permitem uma polarização gradual, já cada camada de cristais está desviada apenas um bocadinho. Assim, a luz nunca é totalmente bloqueada ao passar nos cristais mas sim “retorcida”. Para transmitir cor, divide-se cada pixel em três subpíxeis com as três cores primárias, e regula-se a intensidade de cada um. *Et voilà*, uma imagem a cores suficientemente vívida e realista para enganar milhares de anos de evolução! ■

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

## Agenda Científica .....



### **First Lisbon mini-school on Particle and Astroparticle Physics**

2 a 4 de Fevereiro, Hotel Ever, na Costa da Caparica

Esta Escola, organizada pelo Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), destina-se preferencialmente a alunos de 3.º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica (MEFT) que concluíram a unidade curricular de Mecânica Quântica I no presente ano lectivo. A realizar-se no Hotel Ever, na Costa da Caparica, de 2 a 4 de Fevereiro, este evento pretende ser uma introdução geral à Física de Partículas, desde o Modelo Standard até às oscilações de neutrinos.

Mais informações: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/areacientifica/df/fpfn>



### **Jornadas da Engenharia Física**

2 a 3 de Março, Complexo Interdisciplinar, Instituto Superior Técnico

A terceira edição das JEF realiza-se já este ano, nos dias 2 e 3 de Março. Poderás contar com palestras de oradores internacionais, um concurso de posters e várias oportunidades para ficares a conhecer melhor alguns investigadores em Física; de facto, a grande novidade desta edição são as visitas a centros de investigação e laboratórios, em que poderás experienciar o dia-a-dia de um investigador. Mas, se o teu interesse aponta mais para a engenharia, não te preocupes, pois teremos ainda a presença de vários alumni do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, bem como o apoio de várias empresas ligadas à engenharia.

Inscribe-te em <http://jornadasdefisica.nfist.pt/index.php!>

## XIX Semana da Física .....

A Semana da Física é um evento anual que tem lugar no Instituto Superior Técnico e tem como objectivo principal promover a Física junto de todos, especialmente de estudantes do ensino secundário. Todas as secções do Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico participam na Semana da Física (incluindo a PULSAR!), que anualmente reúne centenas de jovens ansiosos por descobrir o lado mais divertido da Física.

Tipicamente, a Semana da Física conta com uma apresentação de experiências do Circo da Física, seguidas por uma actividade lúdica de outro tipo: palestras, visita aos laboratórios associados ao IST, actividade de planetário, ou até um workshop mais prático onde poderás criar uma experiência. Sabe mais em <http://sf19.nfist.pt/>.

Este ano, a Semana da Física decorre nos dias 15 a 19 de Fevereiro (para escolas) e no dia 20 de Fevereiro estará aberta ao público em geral. Visita-nos!



# SEMINÁRIO DIAGONAL

## Seminário Diagonal 2015

por André Guerra (3º ano da Licenciatura em Matemática Aplicada e Computação)

O Seminário Diagonal é um seminário de Matemática. É um seminário feito e organizado por estudantes e o público alvo são também estudantes mas todos aqueles com interesse em Matemática, no sentido lato mais da palavra, são muito bem vindos. Este projecto decorre no IST desde 2000 e é por isso algo que caracteriza a um nível fundamental a experiência de estudar Matemática no Técnico, onde os alunos têm um espírito de entre-ajuda e partilha de conhecimento.

Os seminários do Diagonal abordam temas que cobrem todas as áreas e fronteiras da Matemática pura e aplicada, desde Combinatória e Teoria de Grafos até Geometria Diferencial, desde Informática e Criptografia até aplicações à Medicina, em que a Matemática é usada na prevenção de doenças, no melhoramento de diagnósticos e na eficiência dos tratamentos.

Os seminários realizam-se sempre às quartas-feiras entre as 13 e as 14 horas e quem quiser pode trazer farnel: muitas pessoas trazem comida para almoçar durante os seminários. Os seminários ocorrem aproximadamente de duas em duas semanas (salvo imprevistos) na sala P3.10, no Pavilhão de Matemática. Para saber mais informações sobre os próximos seminários ou, simplesmente, descobrir os seminários já realizados, convidamo-vos a visitar o nosso Facebook, [facebook.com/seminariodiagonal.ist](https://facebook.com/seminariodiagonal.ist), ou ainda o nosso site, [math.tecnico.ulisboa.pt/diagonal](http://math.tecnico.ulisboa.pt/diagonal), onde é possível ver gravações da muitos dos seminários já realizados.

Se tens interesse por Matemática ou simplesmente curiosidade sobre algum seminário aparece no Diagonal! Ficamos à tua espera!