

## Um prémio Nobel para os Buracos Negros

Espalhamento Atmosférico: A Física das cores do céu

Mulheres na Ciência: Branca Edmée Marques

Como introduzir o atrito na análise do plano inclinado

# Índice

## 1 Editorial

artigo geral

### 2 Um prémio Nobel para os Buracos Negros

Carlos Herdeiro

artigo geral

### 9 Espalhamento Atmosférico: A Física das cores do céu

Gilberto Cunha

artigo geral

### 14 Mme Curie e Mme Marques: o encontro de duas pioneiras

Maria da Conceição Ruivo

sala de professores

### 19 Como introduzir o atrito na análise do plano inclinado

Carlota Cardoso, Manuel Santos, Mariana Silva, Horácio Fernandes

sala de professores

### 24 Pensar a Ciência no Ensino Secundário, no Colégio Valsassina

Andreia Luz, Isabel Henriques

livros e multimédia

### 28 «Einstein, Eddington e o Eclipse Impressões de Viagem»

José Braga

vamos experimentar

### 30 É eletricidade ou magnetismo?

Constança Providência

## 33 Notícias

- Física 2020
- Homenagem a André Freitas
- Homenagem a António Fidalgo (obituário)
- Planks 2021 (vai acontecer)
- Olimpíadas de Física

## CRÉDITOS

Imagem de fundo da capa: Galáxia elíptica supergigante M87 vista a partir do Observatório Chandra. A zona com um quadrado em volta indica a região do buraco negro.

NASA/CXC/Villanova University/J. Neilsen

Imagem no cando superior direito: Buraco negro supermassivo no centro da galáxia M87, com uma massa de cerca de 6 mil milhões de vezes a do Sol. É visível o anel de emissão em forma de crescente delineado pela emissão de gás quente a rodar em torno do buraco negro, perto de seu horizonte de eventos. Imagem de cores falsas de ondas de rádio, obtida pela *Event Horizon Telescope Collaboration*.

De entre os objetos astronômicos que mais atraem a curiosidade de todos, particularmente dos mais jovens, destacam-se os buracos negros.

Quem não fica fascinado por objetos tão maciços, com um campo gravítico tão intenso, que nem a luz consegue escapar? O conceito de buraco negro aparece de forma concreta no contexto da Relatividade Geral. O primeiro buraco negro, denominado de Cygnus X-1 ou Cyg X-1, foi descoberto em 1964 e foi encontrado na constelação do Cisne (daí o seu nome). Foi identificado de forma indireta a partir da deteção de uma fonte de raios-X de intensidade elevada, observada nessa constelação. O Cyg X-1 encontra-se a cerca de 6100 anos-luz da Terra e tem sido um dos objetos astronômicos mais estudados. Até aos anos 90 ainda existiam dúvidas se seria mesmo um buraco negro, provocando debates e polémicas na comunidade científica. Curiosamente, foi objeto de uma aposta entre Stephan Hawking e Kip Thorne, como nos refere Carlos Herdeiro no seu artigo neste número. Stephan Hawking considerava que não existiam evidências suficientes para se considerar Cyg X-1 um buraco negro e só em 1990 concordou que os resultados acumulados apontavam para isso. Mais recentemente, a primeira imagem de um buraco negro foi divulgada em 2019 (ver figura da capa deste número). Trata-se de um corpo no centro da galáxia M87, uma galáxia elíptica com ~240000 anos-luz de diâmetro, um pouco maior que a Via Láctea, e que dista da Terra cerca de 55 milhões de anos-luz. No céu noturno situa-se na constelação da Virgem e é visível com um telescópio amador (mas não a olho nu). Estima-se que o buraco negro no seu centro tenha ~6 mil milhões de vezes a massa do Sol. A imagem divulgada em 2019 foi construída através de ondas de rádio detetadas pela rede de telescópios *Event Horizon Telescope* (EHT). O EHT resulta de uma cola-

boração entre observatórios de todo o mundo, com o objetivo de criar um interferómetro do tamanho da Terra, que permite estudar buracos negros com resolução angular comparável ao seu horizonte de eventos. O EHT mostra a importância das colaborações internacionais para o progresso da Física, sem as quais, alguma da ciência atual dificilmente seria possível.

É neste contexto, em que o acumular de evidências experimentais foi progressivamente confirmando as previsões e desenvolvimentos teóricos construídos ao longo dos anos, que foi atribuído o prémio Nobel da Física 2020 a três investigadores dedicados à Física de buracos negros. Roger Penrose recebeu-o “pela descoberta de que a formação de buracos negros é uma previsão robusta da teoria da relatividade geral” e Reinhard Genzel e Andrea Ghez, “pela descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro de nossa galáxia”. Neste número da Gazeta, Carlos Herdeiro dá-nos uma visão, tanto sobre as ideias teóricas e as evidências observacionais que têm permitido compreender cada vez melhor estes objetos astronômicos que tanta curiosidade despertam, como sobre o trabalho desenvolvido pelos premiados.

Um dos premiados com o Nobel em 2020, a astrónoma Andrea Mia Ghez da Universidade da Califórnia, é uma mulher, mostrando uma contribuição que vem crescendo acentuadamente ao longo dos últimos anos, em todas as áreas da ciência. Nesse âmbito, Maria da Conceição Ruivo fala-nos neste número de uma das pioneiras, Branca Edmée Marques. Branca Marques trabalhou no Laboratório de Marie Curie e foi a primeira professora catedrática de ciências numa universidade portuguesa. Aqui deixamos o seu percurso de vida.

Boas leituras



## Ficha Técnica

### Estatuto Editorial

<http://www.spf.pt/gazeta/editorial>

### Propriedade | Sede | Redação | Editor

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

### Director

Bernardo Almeida

### Editores

Filipe Moura  
Francisco Macedo  
Nuno Peres  
Olivier Pellegrino

### Secretariado

Maria José Couceiro - [mjose@spf.pt](mailto:mjose@spf.pt)

### Comissão Editorial

Conceição Abreu - Presidente da SPF  
Gonçalo Figueira - Anterior Diretor Editorial  
Teresa Peña - Anterior Diretor Editorial  
Carlos Fiolhais - Anterior Diretor Editorial  
Ana Luísa Silva - Física Atómica e Molecular  
Ana Rita Figueira - Física Médica  
Augusto Fitas - Grupo História da Física  
Carlos Portela - Educação  
Carlos Silva - Física dos Plasmas  
Constança Providência - Física Nuclear  
Joaquim Moreira - Física da Matéria Condensada  
José Marques - Física Atómica e Molecular  
Luís Matias - Geofísica, Oceanografia e Meteorologia  
Manuel Marques - Óptica e Laser, Universidade do Nuno Castro - Física Partículas  
Rui Agostinho - Astronomia e Astrofísica  
Sofia Andringa - Física Partículas

### Correspondentes

André Pereira - Delegação Norte  
Fernando Amaro - Delegação Centro  
José Marques - Delegação Sul e Ilhas

### Design / Produção Gráfica

Fid'algo - Print Graphic Design Lda.  
Rua da Nau Catrineta, nº 14, 2º Dto. | 1990-186 Lisboa

NIPC 501094628

ISSN 0396-3561

Tiragem 1 000 Ex.

Registo ERC 110856

Depósito Legal 51419/91

### Publicação Trimestral

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

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

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

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

# Um prémio Nobel para os Buracos Negros

Carlos A. R. Herdeiro

Dept. Matemática e CIDMA, Universidade de Aveiro

## Resumo

O prémio Nobel da Física 2020 foi concedido (1/2) a Roger Penrose, “pela descoberta de que a formação de buracos negros é uma previsão robusta da teoria da relatividade geral” e a Reinhard Genzel e Andrea Ghez (1/4 a cada), “pela descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro de nossa galáxia” [1]. Este é um prémio Nobel para a ciência, ou seja, para a (astro)física e matemática, dos buracos negros. Após um século de debate sobre estes fascinantes e intrigantes objetos, o conservador comité Nobel dá o seu selo de credibilidade ao “buraco negro” como um objeto físico e não apenas uma especulação teórica. Neste artigo, apresentarei alguns destaques, principalmente numa perspectiva histórica, tanto da teoria quanto das evidências observacionais dos buracos negros, enfatizando as contribuições de Penrose, Ghez e Genzel.



## 1 - Teoria

Os buracos negros (BN), conforme entendidos presentemente, surgem apenas na gravitação relativista. Contudo, existe um conceito predecessor na gravitação newtoniana (embora fundamentalmente diferente como veremos mais adiante). Este é o conceito de estrela escura, que foi introduzido por John Michell em 1784 [2]. Michell raciocinou que se a luz fosse feita de pequenas partículas - como Isaac Newton havia proposto - essas partículas deveriam sentir a força da gravidade. Assim, estrelas com uma velocidade de escape maior do que a velocidade da luz seriam invisíveis para um observador suficientemente distante. É simples calcular, na teoria newtoniana, a relação entre a massa  $M$  e o raio  $r$  de um corpo esférico com velocidade de escape igual à da luz, obtendo-se

$$r = \frac{2GM}{c^2} \quad (1)$$

onde  $G$  é a constante de Newton e  $c$  a velocidade da luz. Para a massa do Sol, obtém-se um raio de cerca de 3 km, que é realmente muito compacto. Ainda assim, Michell escreveu [2] “se por acaso qualquer outro corpo luminoso girar em torno [de uma estrela escura], talvez ainda possamos, a partir dos movimentos desses corpos [luminosos], inferir a existência dos centrais com algum grau de probabilidade”. Metade do prémio Nobel deste ano foi justamente devido a este tipo de observação, por isso mesmo, visionária.

O conceito moderno de BN, contudo, encontra sua arena apenas na Relatividade Geral (RG), apresentada em sua forma final em novembro de 1915 por Albert Einstein [3]. Esta é uma formulação conceitualmente nova da gravitação, baseada na geometria pseudo-riemanniana e representando as forças gravitacionais (de maré) pela curvatura de uma variedade do espaço-tempo que, por sua vez, é determinada pelo conteúdo de matéria-energia do Universo, por meio das equações de campo de Einstein que têm a seguinte forma:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (2)$$

De uma forma poética, citando John Wheeler [4], a RG pode ser sintetizada no seguinte chavão: “a matéria diz ao espaço como se curvar e o espaço diz à matéria como se mover”. Assim, o espaço-tempo encurva o movimento da luz, por exemplo, e introduz novos efeitos nas órbitas dos planetas, inexplicáveis pela teoria de Newton, fenómenos que foram os testes originais da RG. Mas o tempo também é “encurvado”, o que significa que o seu fluir depende da intensidade gravitacional e do movimento/posição do observador. Por exemplo, um observador num campo gravitacional mais fraco percecionará um fluir do tempo mais lento para fenómenos a decorrer num



campo gravitacional mais forte: um fenómeno familiar torna-se mais lento. Mas se o observador está no campo gravitacional mais forte, o fenómeno familiar permanece familiar, enquanto que o fluir do tempo parecerá mais rápido no campo gravitacional mais fraco.

O fenómeno de abrandamento do fluir do tempo (ou desvio para o vermelho gravitacional) torna-se particularmente importante na vizinhança de um BN. Esta é uma previsão da primeira solução teórica da RG [isto é das equações (2)] que descreve estes objetos, encontrada por Karl Schwarzschild em 1915 e publicada no início de 1916 [5]. Esclareça-se, no entanto, que uma compreensão global desta solução e a sua rotulagem como “BN” teria ainda de esperar meio século. Aqui está o que um teórico chama de BN:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) \quad (3)$$

Esta equação é uma “métrica”, ou elemento de linha, que descreve uma geometria do espaço-tempo com certas propriedades. Observa-se, nesta equação, um elemento de linha quadridimensional: há uma coordenada de tempo ( $t$ ), uma coordenada radial ( $r$ ) e duas coordenadas angulares esféricas. Existe um parâmetro ( $M$ ) que é interpretado como a massa que está a curvar este espaço-tempo. Se  $M = 0$ , obtém-se o espaço-tempo de Minkowski, que é plano, com a sua parte espacial em coordenadas esféricas. Quando  $r$  é “grande”, também se recupera o espaço-tempo plano, indicando que esta métrica descreve um objeto localizado. Esta solução das equações de Einstein (2) é chamada de métrica de Schwarzschild ou BN de Schwarzschild, embora estas coordenadas tenham sido introduzidas num artigo posterior de Johannes Droste [6], um aluno de H. A. Lorentz.

Interpretar a geometria (3), contudo, esteve longe de ser trivial, nos primeiros tempos da RG. No início dos anos 1920, por exemplo, o matemático e político francês Paul Painlevé [7], e o oculista sueco Allvar Gullstrand [8], independentemente, encontraram o que acreditavam ser uma nova solução das equações de Einstein (2). Mas em 1933 o padre e cosmólogo belga George Lemaître provou que a “nova” métrica era simplesmente a métrica de Schwarzschild (3) em coordenadas diferentes [9].

Uma das fontes de debate relativamente à geometria (3) foi: o que acontece no raio de Schwarzschild? O raio de Schwarzschild é dado pela equação (1); ou seja, é precisamente o raio de uma massa esférica para a qual a velocidade de escape é a velocidade da luz, na teoria newtoniana. No raio de Schwarzschild, na métrica de Schwarzschild (3), existem comportamentos estranhos: o coeficiente tempo-tempo da métrica anula-se; e o coeficiente radial-radial diverge. Consequentemente, este raio começou a ser chamado de singularidade de Schwarzschild, tendo sido incompreendido por muitos, incluindo pelo próprio Einstein. Num artigo de 1939 [10], Einstein investiga se o raio de Schwarzschild pode ser físico. Ele observa, por exemplo, (i) que um relógio mantido neste lugar [ou seja, no raio de Schwarzschild] iria fluir a uma taxa nula; ou seja, o tempo pára no raio de Schwarzschild, visto por um observador externo e (ii) que nenhuma partícula material tem órbitas circulares até aquele raio. Tais compor-

tamentos levaram Einstein a concluir que este raio não é físico. Este artigo é a razão pela qual é frequentemente dito que Einstein foi céptico relativamente ao conceito de BN. Contudo, neste caso, o grande físico esteve errado, porque sua lógica foi falaciosa.

Num artigo do mesmo ano, o físico americano Robert Oppenheimer e o seu aluno Hartland Snyder entenderam corretamente o raio de Schwarzschild [11]. Estudando o colapso de uma nuvem esférica de matéria, observaram que “o tempo total de colapso medido por um observado co-móvel com a nuvem é finito”. Ou seja, para estes observadores nada de especial acontece ao seu tempo quando passam pelo raio de Schwarzschild, o que mostra que não é singular. Além disso, pela primeira vez, os autores compreenderam que o raio de Schwarzschild é o que chamamos de horizonte de eventos (embora sem usar este termo) ao afirmarem que “a estrela, portanto, tende a fechar-se de qualquer comunicação com um observador distante; apenas o seu campo gravitacional persiste.” Observamos a génese da ideia de “região do espaço-tempo aprisionada” e, portanto, do conceito moderno de BN, que é fundamentalmente diferente da estrela escura newtoniana: a região do BN é totalmente incapaz de comunicar com o exterior, e não “apenas” incapaz de enviar informações que cheguem ao infinito.

Uma hipótese fundamental do cálculo de Oppenheimer-Snyder foi o de uma simetria perfeitamente esférica durante o colapso da nuvem de matéria. Um resultado anterior em RG, conhecido como teorema de Birkhoff [12], mostrou que a métrica de Schwarzschild (3) é a única solução das equações de Einstein (2) no vácuo (ou seja, sem qualquer matéria), se assumirmos simetria esférica. Isto significa que fora da estrela em colapso de Oppenheimer-Snyder, a métrica é exatamente a de Schwarzschild e, como a estrela colapsa completamente, o espaço-tempo de Schwarzschild deve ser o ponto final do colapso. Mas na métrica de Schwarzschild, há uma singularidade física verdadeira em  $r = 0$ , onde a curvatura explode. Assim, o colapso gravitacional esférico cria uma região do espaço-tempo aprisionada em que se esconde uma singularidade de curvatura. Ora, as singularidades são indicadores das limitações de uma teoria física; será, então, isso por causa da simetria esférica? Sem esta hipótese poderia o ponto final do colapso gravitacional ser algo totalmente diferente? Afinal, se o sistema não fosse esfericamente simétrico, como poderia a matéria em queda livre concentrar-se num único ponto e criar uma singularidade? Sem a hipótese de simetria esférica, poderia o colapso inclusivé falhar e a matéria ressaltar para fora?

A poeira sobre estas e outras questões apenas começou a assentar na década de 1960, numa época chamada de renascimento da RG. Após duas décadas (1940 e 1950) de atividade lenta, este

renascimento foi motivado por desenvolvimentos observacionais de que falaremos mais tarde. E o progresso veio em duas frentes: no estudo de soluções exatas (como a solução de Schwarzschild) nas quais a maior parte da compreensão dos fenômenos de campo forte tinha sido baseada, até então; e no desenvolvimento de novas técnicas que não usavam soluções exatas para lidar com fenômenos de campo forte. E a contribuição de Penrose cai nesta segunda classe.

Motivado pela recente descoberta dos quasares (discutidos na seção 2), Penrose começou a analisar o colapso gravitacional sem a hipótese de qualquer simetria [13], assumindo apenas que a matéria em colapso era razoável (tinha uma densidade de energia positiva). Para tanto, inventou uma maneira de definir uma região de BN e uma singularidade sem fazer uso de soluções exatas, o que exigia novos métodos matemáticos e o uso de topologia. O conceito chave que Penrose introduziu para definir uma região de BN foi o de superfície aprisionada.

Consideremos uma superfície bidimensional fechada (topologicamente uma esfera, mas não precisa ser redonda) emitindo luz “para fora”, com os raios de luz ortogonais à superfície. Para uma superfície no espaço-tempo plano, os raios de luz direcionados para fora divergem, isto é a frente de onda expande. Mas num espaço-tempo curvo, pode acontecer que a frente de onda contraia. Quando isso ocorre, temos uma “superfície aprisionada”: uma superfície bidimensional fechada com a propriedade de que todos os raios de luz ortogonais à superfície convergem quando traçados para o futuro. O caso limite é quando a expansão da frente de onda é nula, denominando-se essa superfície por marginalmente aprisionada. Para um BN em equilíbrio esta última superfície coincide, em geral, com o horizonte de eventos do BN, ou seja com a sua fronteira virtual (mais precisamente, as seções espaciais do horizonte de eventos coincidem com a superfície marginalmente aprisionada mais exterior).

Penrose estabeleceu outro resultado que é uma consequência ainda mais dramática de tais superfícies aprisionadas: após a formação de uma tal superfície é impossível, dentro da teoria da RG e com uma densidade de energia positiva, evitar o colapso para uma singularidade. Isto é esboçado na famosa figura (figura 1), que apareceu pela primeira vez (numa outra versão) no artigo de Penrose de 1965. Para estabelecer a existência de uma singularidade, Penrose introduziu o conceito de incompletude geodésica: mostrou que geodésicas focam num tempo próprio (ou parâmetro afim) finito, o que implica uma singularidade.

Assim, Penrose mostra que se pode definir uma região aprisionada (ou região de BN) sem recorrer a nenhuma simetria, e além disso que a formação da região de BN implica a formação de uma singularidade no seu interior. Estes resultados mostram que os BN são um conceito robusto e a existência de singularidades é uma propriedade genérica e geraram uma enorme quantida-

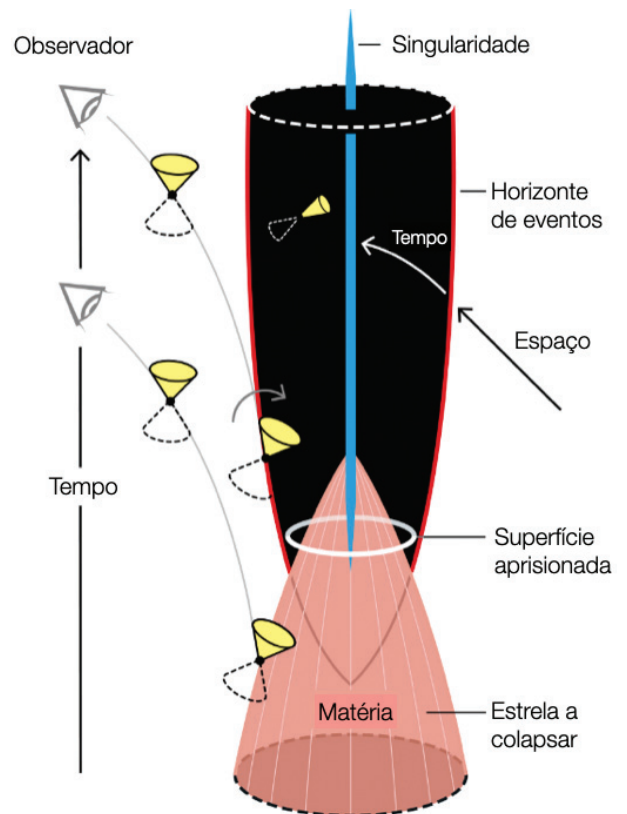


Figura 1 - Adaptada de [14]

de de trabalho desde então. Adicionalmente, as técnicas de Penrose puderam ser generalizadas para o Universo como um todo, mostrando que a singularidade do Big Bang necessariamente existe no passado em RG, nos modelos de expansão do Universo, a menos que alguma estranha matéria-energia comece a dominar no Universo primordial. Este é o teorema da singularidade de Hawking-Penrose, estabelecido alguns anos depois, em 1970 [15].

Na frente das soluções exatas, por outro lado, uma compreensão plena da solução de Schwarzschild só foi alcançada no final dos anos 1950 com o trabalho de D. Finkelstein [16], culminando em 1960 com o trabalho de M. Kruskal [17] e G. Szekers [18]. Estes trabalhos mostraram que a solução Schwarzschild tem mais regiões do que a região externa e a região de BN, resultando na extensão analítica máxima do espaço-tempo. Todas as regiões presentes são elegantemente visualizadas através de uma técnica introduzida (novamente) por Penrose, em 1963 [19], chamada de compactação conforme, que permite visualizar a estrutura causal do espaço-tempo de forma compacta. A figura 2 (esquerda) [20] é o diagrama de espaço-tempo de Penrose da solução (eterna) de Schwarzschild, onde vemos que ela não tem apenas a região externa inicial e a região do BN; tem também duas novas regiões: o reverso temporal da região do BN (chamada de região de buraco branco) e outro Universo. Estas duas novas regiões,

embora inspiradoras de fascinantes ideias de ficção científica, são, no entanto, uma abstração de um BN que sempre existiu. Para um BN astrofisicamente realista, formado a partir do colapso gravitacional, apenas a região inicial e a região do BN devem estar presentes - figura 2 (direita).

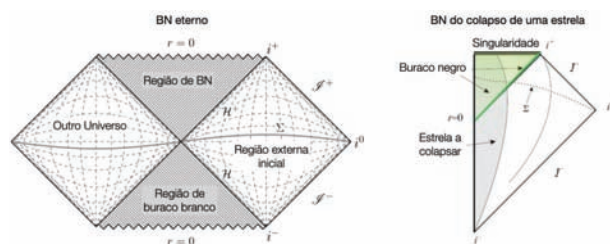


Figura 2 - Adaptada de [21]

A solução de BN mais importante foi encontrada no mesmo ano (1963) e, novamente, teve uma contribuição indireta de Penrose, devido ao desenvolvimento do chamado formalismo de Newman-Penrose [22]. O BN de Kerr foi descoberto por Roy Kerr da Nova Zelândia, e representa um BN em rotação que, para além da massa  $M$ , é definido por um segundo parâmetro, o momento angular,  $J$ . Para  $J = 0$ , o BN de Kerr reduz-se à solução de Schwarzschild. A geometria Kerr é um espaço-tempo consideravelmente mais complexo do que o de Schwarzschild, com propriedades notáveis. A verdadeira importância da métrica de Kerr, contudo, apenas se tornou clara com um teorema matemático de Brandon Carter, de 1970 [23], que estabelece que a métrica de Kerr representa “o”, e não apenas “algum” possível BN. Assim, no vácuo, depois de toda a matéria ter sido absorvida pelo BN, ou espalhada, qualquer BN tem apenas dois graus de liberdade. Este resultado foi refinado no chamado teorema da unicidade de Carter-Robinson [24] e levou John Wheeler e Remo Ruffini, em 1971 [25], a cunhar a expressão que um BN não tem “cabelo”. Este chavão pretende traduzir a ideia de que independentemente do que entrou no BN, do tipo de estrela de onde se originou, o ponto de equilíbrio da evolução é a métrica de Kerr, com apenas dois graus de liberdade macroscópicos, a massa e o momento angular. “Cabelo”, neste contexto, é uma metáfora para mais graus de liberdade, maior diversidade, que não está presente.

A ideia de que os BN não têm “cabelo” é motivada pelos teoremas da unicidade, mas é mais ambiciosa, porque visa aplicar-se a qualquer matéria-energia existente e que possa formar um BN. Esta ideia, se verdadeira, indica que os BN são realmente objetos muito especiais na Natureza. Duas estrelas com os mesmos  $M, J$  podem ser muito diferentes, porque estas quantidades se podem distribuir de um modo diferente na estrela; logo, as estrelas podem ter um quadrupolo de massa diferente, etc. Mas dois BN com os mesmos  $M, J$  devem ser exatamente iguais, algo único para objetos macroscópicos. Neste sentido, os BN são átomos gravitacionais. Esta conjectura

é chamada de hipótese Kerr e é uma das características de gravidade forte que a comunidade está a tentar testar com as novas observações discutidas na secção 2.

Antes de passar para as evidências observacionais dos BN, menciono uma curiosidade histórica. Até o final da década de 1960, o termo BN não era usado em artigos científicos. Na sua autobiografia científica [4], Wheeler conta uma história de como o termo surgiu. Wheeler conta que, no final de 1967, deu uma palestra em Nova York sobre os (na altura) recém-descobertos pulsares. A sua verdadeira natureza ainda estava em discussão, na época, e considerava-se a possibilidade de serem “objetos completamente colapsados gravitacionalmente” (ou seja, BN). Então, durante a palestra Wheeler continuou repetindo esta longa expressão até que, nalgum momento, observou que era necessária uma frase descritiva mais curta. De acordo com o relato de Wheeler, alguém na platéia (que Wheeler não identifica, nem diz se identificou) perguntou então “Que tal buraco negro?”. Wheeler relata que gostou do termo e, seguidamente, usou-o na redação da sua palestra, publicada em 1968 [26], introduzindo o termo na gíria científica e iniciando o seu amplo uso. Esta é uma “estória” caricata. De facto, é apenas a narrativa que Wheeler decidiu contar, porque há outra história. E esta outra história foi contada aqui, na Gazeta de Física [27], num artigo que o comité Nobel citou no documento da fundamentação científica do Nobel da Física 2020 [28].

## 2 - Evidência Observacional

Os BN admitem uma dualidade de perspectivas. Por um lado, são soluções matemáticas da RG como discutimos na secção anterior. Por outro lado, observações sugerem que eles realmente ocorrem no cosmos num amplo intervalo de massas [29]. Historicamente, os candidatos a BN astrofísicos surgiram como fontes de rádio, por exemplo Cisne A, identificado em 1939, ou fontes de raios-X, por exemplo Cisne X1, identificado em 1964. Entre as fontes de rádio, a descoberta de objetos quase-estelares, abreviados de quasares, teve uma grande influência. Estas fontes compactas foram identificadas pela primeira vez em varrimentos de todo o céu, no final da década de 1950, sem contrapartes ópticas. No início dos anos 1960, porém, foram encontrados objetos ópticos associados a estas fontes. Um marco foi alcançado quando Maarten Schmidt identificou o quasar QSO 3C 273 como sendo uma fonte extragaláctica, com linhas espectrais proeminentes, indicando um desvio para o vermelho de  $z = 0,158$  [30]. Este resultado foi surpreendente, pois a grande distância (cerca de 760 Mpc) implicava uma luminosidade para o quasar de cerca de mil vezes maior do que a de toda a nossa galáxia. Começou a ser especulado que os motores por trás destes “Núcleos Galácticos Ativos” (ou AGN, acrónimo anglo-



saxónico) seriam BN. Muito trabalho teórico, incluindo o de Penrose [13], foi motivado por esta descoberta.

Atualmente, é amplamente consensual que as AGN são alimentadas por BN supermassivos, sobre os quais falaremos mais adiante. Mas na década de 1960 uma classe diferente de BN também começou a ser revelada. Estes são BN de “massa estelar”, ou seja, BN com massas comparáveis às das estrelas, e que devem originar, principalmente, do colapso gravitacional direto de estrelas suficientemente pesadas. A evidência para “BN de massa estelar” foi inicialmente coletada no canal eletromagnético, começando com a descoberta de Cisne X1, uma intensa fonte de raios-X na constelação do Cisne. Note-se que os raios X são bloqueados pela atmosfera da Terra e estas fontes apenas começaram a ser identificadas no pós-segunda guerra mundial, enviando instrumentos em balões ou foguetes para a alta atmosfera.

Posteriormente, entendeu-se que a fonte Cisne X1 está associada a um sistema binário, composto por uma estrela supergigante azul (HDE 226868) e um companheiro compacto [29]. A emissão de raios-X vem da matéria acelerada da estrela em direção ao companheiro, formando um disco de acreção. Como curiosidade, em 1974 Stephen Hawking e Kip Thorne fizeram uma aposta sobre a natureza do companheiro, com Thorne defendendo que era um BN e Hawking que não. Hawking concedeu a aposta em 1990 [31]. Presentemente, o companheiro é aceite como um BN com cerca de 15 massas solares [32] e rodando a cerca de 90 % do máximo permitido para um BN de Kerr [33].

Existem algumas dezenas de sistemas binários semelhantes a Cisne X1 identificados na nossa galáxia, interpretados como um BN rodeado por um disco de acreção que emite raios-X devido à acreção de material de uma estrela companheira [29]. Uma questão interessante é como usarmos a radiação de raios-X para extrair propriedades detalhadas do BN. Em princípio, as assinaturas eletromagnéticas permitem inferir as propriedades do BN, mas existe a questão da modelação do disco de acreção que introduz incertezas. Uma técnica é o método da linha K-alpha do ferro: analisando esta linha espectral, que no laboratório tem uma energia bem definida (cerca de 6,4 keV), mas que num binário se apresenta alargada e enviesada devido a efeitos relativistas, como o desvio Doppler e o desvio para o vermelho gravitacional, permite estudar a geometria na vizinhança do BN e restringir os seus parâmetros [34].

A segunda classe de BN sobre a qual temos evidências astrofísicas é a classe dos BN “supermassivos”. Estes são BN com  $10^5$  a  $10^{10}$  massas solares. Acredita-se que BN desta classe existem no centro da maioria das galáxias. A evidência tradicional vem de observações de AGN, como mencionado anteriormente. Outra evidência vem da observação do movimento das estrelas ao redor do BN supermassivo que se acredita existir no centro da Via Láctea, onde uma fonte de rádio compacta chamada Sagitário A\* foi identificada em 1974 [35]. O centro galáctico não pode ser visto na parte óptica do espectro, devido à absorção dessa luz por gás e poeiras. Mas pode ser visto usando observações na banda do infravermelho. Usando esta banda e uma técnica chamada óptica adaptativa, algumas estrelas foram monitoradas

desde 1992 por dois grupos concorrentes: o UCLA Galactic Center Group [36] liderado por Andrea Ghez e um grupo do Max Planck Institute para a física extraterrestre [37], liderado por Reinhard Genzel. Em particular, a estrela identificada mais próxima do centro galáctico, chamada S2 (imagem da figura 3), já foi vista ao longo de mais de uma órbita completa, que demora cerca de 16 anos. Por comparação, estima-se que o sistema solar demora cerca de 250 milhões de anos a orbitar o centro galáctico.

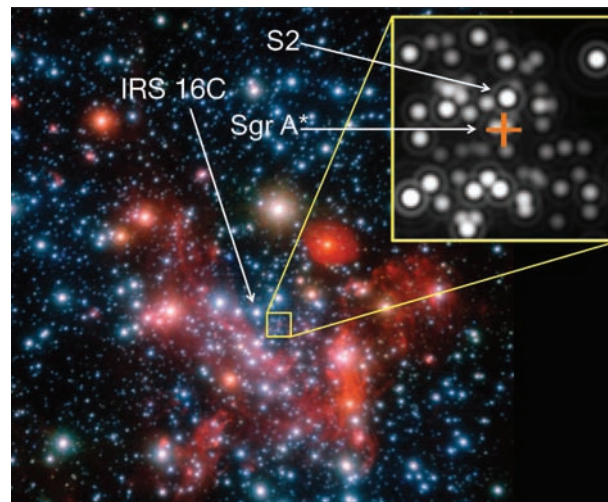


Figura 3 - Adaptada de [38]

Do movimento das estrelas, estima-se uma massa para o objeto central de cerca de 4 milhões de massas solares [39]. O periastro de S2 fornece também um limite (embora fraco) para o tamanho do objeto central [40]. Uma restrição mais estrita vem de considerar a variabilidade da fonte. O grupo de Ghez teve uma vantagem sobre o grupo europeu durante algum tempo, devido a um melhor equipamento: o acesso ao telescópio Keck de 10 m, no Havaí. Mas com o acesso ao *Very Large Telescope* do ESO, no Chile, e com o introdução do instrumento Gravity [41], o grupo europeu produziu alguns dos resultados mais interessantes recentes: em 2018 determinou que a órbita de S2 é não-kepleriana, devido a efeitos relativistas, medindo em particular o desvio para o vermelho gravitacional [42]; e em 2020 reportou a precessão de Schwarzschild para a órbita de S2 [43]. Embora estes resultados sejam espetaculares, não sondam a região de gravidade muito forte, porque o periastro de S2 ainda está em cerca de 1000 raios de Schwarzschild do centro orbital. Complementarmente, têm sido observados “pontos quentes” (hot spots) numa região mais central, que se julga serem estrelas a serem rasgadas pelas enormes forças de maré, mas estas deteções não contemplam órbitas suficientemente longas bem definidas [44]. De salientar que há vários investigadores portugueses membros da colaboração europeia, que contribuíram para os resultados [42,43,44].

Assim, as observações atuais estabelecem a existência de um objeto central, supermassivo e muito com-



pacto, amplamente aceite como sendo um BN supermassivo. A redundância de ter dois grupos diferentes com resultados concordantes foi provavelmente importante para a escolha, pelo sempre cauteloso comité do Nobel, destas observações do centro galáctico como sendo a evidência observacional para os BN, embora a citação do comité seja “para a descoberta de um objeto compacto supermassivo no centro da nossa galáxia”, não indicando explicitamente BN. Mas, provavelmente, igualmente importante para a atribuição deste prémio Nobel, foram as duas outras descobertas observacionais recentes que sustentam a existência de BN no Universo.

Em primeiro lugar, a deteção de ondas gravitacionais pela colaboração LIGO-Virgo abriu um novo canal de evidência para a existência de BN, que está a dar-nos informações sem precedentes sobre as populações e propriedades dos BN. Desde a primeira deteção em 2015, o célebre GW150914 [45], as duas primeiras sessões de observação fizeram mais 10 deteções [46], uma das quais o também famoso GW170817 [47]: a colisão de duas estrelas de neutrões, observada também através do espectro eletromagnético, inicialmente detetada como uma explosão de raios gama. E a terceira época de observação, que foi encerrada prematuramente devido à pandemia, foi anunciada recentemente ter 39 novos candidatos apenas da sua primeira parte, a uma taxa de 1,5 eventos por semana, incluindo 4 deteções confirmadas [48]. A maioria destes eventos é interpretada como fusões de BN. As deteções de ondas gravitacionais estiveram na origem do prémio Nobel de Física de 2017 [49].

Em segundo lugar, noutro desenvolvimento espetacular, observações usando interferometria com base muito larga forneceram, pela colaboração Event Horizon Telescope [50], a primeira imagem de um BN resolvendo a estrutura na escala do horizonte de eventos [51]. A imagem tornou-se icónica. Observa-se um anel de emissão brilhante e uma região central mais escura, batizada de sombra do BN [52]. O BN observado é realmente supermassivo, com cerca de 6 mil milhões de massas solares, no centro da galáxia elíptica gigante M87.

### 3 - Conclusões

O futuro próximo é extremamente promissor relativamente à perspetiva de compreender melhor os BN. Dados observacionais com detalhes e precisão sem precedentes, que permitirão testar a verdadeira natureza destes objetos, estão ao virar da esquina. Somos testemunhas da alvorada da era da (astro) física de precisão de BN. Nunca houve, por isso, melhor altura para estudar estes objetos, com uma longa história, cheia de ceticismo e desafios. E nos detalhes, em pequenos desvios relativamente ao esperado, podem esconder-se enormes oportunidades e revoluções no nosso entendimento do Universo. De facto, a história da física e da ciência é pródiga

em exemplos de pequenos desvios que introduziram grandes revoluções, como os “pequenos” problemas do éter, da radiação do corpo negro, do avanço anómalo do periélio de Mercúrio ou do desvio de Lamb.

É, pois, oportuno abordar algumas questões centrais, relacionadas com os objetos mais compactos do Universo, tais como: Quais são as populações de BNs no Universo? Os BNs astrofísicos são (todos) realmente descritos pelo modelo canónico da RG, isto é, pela métrica de Kerr? Os BNs astrofísicos podem dar-nos pistas sobre nova física, para além da RG ou do modelo padrão da física de partículas? Há espaço ou necessidade para invocar a existência de objetos compactos exóticos (diferentes de BNs)?

O esclarecimento destas questões poderá até iluminar outras questões-chaves em Gravitação/Cosmologia: em particular qual é a natureza da matéria escura e da energia escura. Avizinhame-se, pois, tempos (ainda mais) excitantes, nesta área científica.

#### Bibliografia

- [1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/summary/>
- [2] J. Michell, VII. *On the means of discovering the distance, magnitude, &c. of the fixed stars, in consequence of the diminution of the velocity of their light, in case such a diminution should be found to take place in any of them, and such other data should be procured from observations, as would be farther necessary for that purpose*, Phil. Trans. R. Soc. Lond. **74** (1784) 35-57
- [3] A. Einstein, *Die Feldgleichungen der Gravitation*, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin), (1915) 844-847
- [4] J. Wheeler, *Geons, black holes and quantum foam: a life in physics*, North & Company, 1998
- [5] K. Schwarzschild, *Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie*, Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften, (1916) 189
- [6] J. Droste, *Field of a single center in Einstein's theory of gravitation, and the motion of a particle in that field*, Kon. Ak. Wetensch. Amsterdam, **25** (1916) 163
- [7] P. Painlevé, *La mécanique classique et la théorie de la relativité*, Comptes Rendus Académie des Sciences (serie non specifiée), **173** (1921) 677-680
- [8] A. Gullstrand, *Allgemeine Lösung des statischen Einkörperproblems in der Einsteinschen Gravitations-theorie*, Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik, **16** (1921) no. 8, 1-15
- [9] G. Lemaître, *L'Univers en expansion*, Annales de la Société Scientifique de Bruxelles, **A53** (1933) 51-85
- [10] A. Einstein, *On a Stationary System With Spherical Symmetry Consisting of Many Gravitating Masses*, Annals of Mathematics, **40** (1939) no. 4, 922-936
- [11] J. R. Oppenheimer, H. Snyder, *On continued gravitational contraction*, Physical Review **55** (1939) 455
- [12] G. D. Birkhoff, *Relativity and Modern Physics*, Harvard University Press, 1923
- [13] R. Penrose, *Gravitational collapse and space-time singularities*, Physical Review Letters, **14**, no. 3 (1965) 57-59
- [14] Adaptação da figura na Ref. [28]
- [15] S. W. Hawking, R. Penrose, *The singularities of gravitational collapse and cosmology*, Proceedings of the Royal Society of London Series A, **314**, no. 1519 (1970) 529-548

- [16] D. Finkelstein, *Past-future asymmetry of the gravitational field of a point particle*, Physical Review, **110**, no. 4 (1958) 965-967
- [17] M. D. Kruskal, Maximal extension of Schwarzschild metric, Phys. Rev. **119** (1960) 1743-1745
- [18] G. Szekeres, *On the Singularities of a Riemannian Manifold*, Gen. Rel. Grav., **34** (2002) 2001 (Reprinted from Publicationes Mathematicae Debrecen 7 (1960) (285)
- [19] R. Penrose, *Asymptotic properties of fields and spacetimes*, Physical Review Letters, **10**, no. 2. (1963) 66-68
- [20] Adaptação da figura em <https://tex.stackexchange.com/questions/158668/nice-scientific-pictures-show-off/258914#258914>
- [21] Adaptação da figura em <https://arxiv.org/pdf/grqc/9707012.pdf>
- [22] E. Newman and R. Penrose, *An Approach to gravitational radiation by a method of spin coefficients*, J. Math. Phys. **3** (1962) 566-578
- [23] B. Carter, *Axisymmetric Black Hole Has Only Two Degrees of Freedom*, Phys. Rev. Lett. **26** (1971) 331-333
- [24] D. C. Robinson, *Uniqueness of the Kerr black hole*, Phys. Rev. Lett. **34** (1975) 905-906
- [25] R. Ruffini and J. A. Wheeler, *Introducing the black hole*, Phys. Today **24**, no.1 (1971) 30
- [26] J. A. Wheeler, *Our Universe: The known and the unknown*, American Scientist **56** (1968) 1; The American Scholar **37** (1968) 248
- [27] C. A. R. Herdeiro and J. P. S. Lemos, *The black hole fifty years after: Genesis of the name*, Gazeta de Física, **41**(2) (2018) 2, arXiv: 1811.06587
- [28] <https://www.nobelprize.org/uploads/2020/10/advanced-physicsprize2020.pdf>
- [29] R. Narayan, J. E. McClintock, *Observational evidence for black holes, in General Relativity and Gravitation, A Centennial Perspective*, editado por A. Ashtekar et al (Cambridge University Press, Cambridge 2015); arXiv:1312.6698
- [30] M. Schmidt, *3C 273: A star-like object with large redshift*, Nature, **197**, no. 4872 (1963) 1040
- [31] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Cygnus\\_X-1](https://pt.wikipedia.org/wiki/Cygnus_X-1)
- [32] Jerome A. Orosz et al., *The mass of the black hole in Cygnus X-1*, ApJ **742** (2011) 84
- [33] Lijun Gou et al, *The extreme spin of the black hole in Cygnus X-1*, ApJ **742** (2011) 85
- [34] M. Guainazzi, *General Relativity studies through X-ray spectroscopy of the Fe (and others) K $\alpha$  fluorescent lines*, Astrophysics and Space Science, **320**, Issue 1-3 (2009) 129-134
- [35] B. Balick and R. L. Brown, *Astrophysical Journal*, **194** (1974) p. 265-270; ver também M. Goss, R. L. Brown, K. Y. Lo, *The Discovery of Sgr A\**, astro-ph/0305074
- [36] <http://www.astro.ucla.edu/~ghezgroup/gc/>
- [37] <https://www.mpe.mpg.de/main>
- [38] ESO/MPE/S. Gillessen et al. <https://www.eso.org/public/images/eso1622b/>
- [39] A. M. Ghez et al., *Measuring Distance and Properties of the Milky Way's Central Supermassive Black Hole with Stellar Orbits*, ApJ **689** (2008) 1044
- [40] A. M. Ghez et al., *Stellar Orbits around the Galactic Center Black Hole*, ApJ **620** (2005) 744
- [41] <https://www.mpe.mpg.de/ir/gravity>
- [42] R. Abuter et al. [GRAVITY], *Detection of the gravitational redshift in the orbit of the star S2 near the Galactic centre massive black hole*, Astron. Astrophys. **615** (2018) L15
- [43] R. Abuter et al. [GRAVITY], *Detection of the Schwarzschild precession in the orbit of the star S2 near the Galactic centre massive black hole*, Astron. Astrophys. **636** (2020) L5
- [44] R. Abuter et al. [GRAVITY], *Detection of orbital motions near the last stable circular orbit of the massive black hole SgrA\**, A&A **618** (2018) L10
- [45] B.P. Abbott et al., LIGO Scientific, Virgo, *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, Phys. Rev. Lett. **116** (2016) 061102
- [46] B. P. Abbott et al., LIGO Scientific, Virgo, GWTC-1: A Gravitational-Wave Transient Catalog of Compact Binary Mergers Observed by LIGO and Virgo during the First and Second Observing Runs, Phys. Rev. X, **9** (2019) 031040
- [47] B. P. Abbott et al., LIGO Scientific, Virgo, *GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral*, Phys. Rev. Lett. **119** (2017) 161101
- [48] R. Abbott et al., LIGO Scientific, Virgo, GWTC-2: Compact Binary Coalescences Observed by LIGO and Virgo During the First Half of the Third Observing Run, arXiv:2010.14527
- [49] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2017/press-release/>
- [50] <https://eventhorizontelescope.org/>
- [51] K. Akiyama et al., *First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Super-massive Black Hole*, Astrophys. J., **875**, no. 1 (2019) p. L1
- [52] P. V. P. Cunha and C. A. R. Herdeiro, *Shadows and strong gravitational lensing: a brief review*, Gen. Rel. Grav., **50**, no. 4 (2018) p. 42



Carlos Herdeiro, é licenciado em Física/ Matemática aplicada pela Universidade do Porto e doutorado em Física Teórica pela Universidade de Cambridge (2001), em Inglaterra. Trabalhou nos departamentos de Física: da Universidade de Stanford, EUA (2001-2002), da

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (2002-2010), da Universidade de Aveiro (2010-2018) e do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa (2018-2019). É atualmente Investigador Coordenador de carreira no Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro onde coordena o grupo de Geometria e Dinâmica Gravitacional do Centro de Investigação em Matemática e Aplicações (CIDMA). A sua investigação centra-se na interface da gravitação, cosmologia, astrofísica, física-matemática e física de altas energias, tendo publicado mais de 170 artigos em revistas internacionais em vários temas nesta interface e dirigido duas redes internacionais Marie Curie financiadas pela União Europeia. É também autor de um livro de texto Universitário de Mecânica Quântica. Foi presidente da delegação norte da SPF (2007-2010). É membro fundador e vice-presidente em exercício da Sociedade Portuguesa de Relatividade e Gravitação.

# Espalhamento Atmosférico: A Física das cores do céu

Gilberto Cunha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Mestrado Integrado em Engenharia Física na Universidade do Minho

gcacademico@outlook.pt

## Resumo

Neste artigo, investiga-se a explicação física para a coloração do céu. Abordam-se fenómenos de espalhamento da luz e um algoritmo em *Python* para a geração de imagens do céu, desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular de Física Computacional do Mestrado Integrado de Engenharia Física na Universidade do Minho.

## Introdução

Não é novidade que vemos o céu azul e o Sol amarelo e que, ao pôr do Sol, a paisagem muda para um tom avermelhado belo que nos incita a apreciá-lo por longos momentos, mas qual o motivo de serem estas cores e não outras que pintam o céu? E porque é que o céu apresenta uma tão grande variedade de cores?

Um bom ponto de partida é a forma como captamos informação luminosa, no sensor biológico de luz do ser humano, o olho.

O nosso olho tem células recetoras, os cones e os bastonetes, que detetam luz e enviam estímulos ao cérebro, permitindo-o recriar uma imagem do cenário para o qual olhamos. Estes recetores respondem de maneira distinta a diferentes comprimentos de onda da luz – uma característica intrínseca das ondas, que para a luz está associada à sua cor (ver figura 1) – o que faz com que certos comprimentos de onda sejam detetados com mais facilidade do que outros. Esta atribuição dum maior peso a certas cores altera pois a percepção humana da coloração.

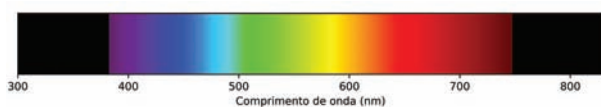


Figura 1 - Espectro da luz visível e os seus comprimentos de onda.

Um segundo motivo é o espectro de emissão do Sol, que não é uniforme para todos os comprimentos de onda, suscitando também que certas cores se destaquem

mais do que outras. Para simplificação, o Sol será considerado a nossa única fonte de luz.

O motivo de maior impacto, no entanto, é a interação da luz com partículas da atmosfera, alterando a sua trajetória e variando a sua intensidade. Estas interações, conhecidas como espalhamento ou *scattering*, podem também ser dependentes do comprimento de onda da luz, mais uma vez alterando a nossa percepção visual.

## O que é o espalhamento da luz?

O espalhamento da luz é o processo que resulta da interação de feixes de luz com partículas, como moléculas da atmosfera, onde esta luz é absorvida e reemitida em diferentes direções e com diferentes intensidades [1-3]. O espalhamento explica qual a relação entre a intensidade da luz antes e depois desta interação.

Simplificando, é como se a trajetória da luz fosse desviada pela partícula, perdendo alguma intensidade no processo (ver figura 2).

Esta intensidade é de grande importância pois está relacionada com a quantidade de luz que o olho irá receber e consequentemente detetar. Por exemplo, se o olho captasse 10 unidades de intensidade de luz com o comprimento de onda de 440 nm (luz azul) e apenas 1 unidade com o comprimento de onda de 680 nm (luz vermelha), então o azul destacar-se-ia muito mais que o vermelho.

Há grandezas físicas fundamentais que devem ser identificadas nesta interação: o ângulo de desvio da luz ou ângulo de espalhamento, o comprimento de onda da luz e o tamanho da partícula com a qual a luz interage.

De todos os diferentes tipos de espalhamento a nossa atenção será focada em dois: o de Rayleigh e o de Mie.

## Espalhamento de Rayleigh

O espalhamento de Rayleigh explica a interação da luz com partículas gasosas de dimensões muito pequenas - inferiores ao comprimento de onda da luz com que interagem - como sejam as moléculas de gás da atmosfera, por exemplo o oxigénio ou o azoto.

Depende do comprimento de onda da luz, criando distinção nas cores no céu e depende pouco do ângulo de espalhamento.

No contexto do espalhamento atmosférico, o espalhamento de Rayleigh é bem aproximado pelas equações [1] (ver figura 2):

$$I = I_0 \cdot S_R(\theta, \lambda, h) = I_0 \cdot \gamma_R(\theta) \cdot \beta_R(\lambda) \cdot \rho_R(h) \quad (1)$$

$$\gamma_R(\theta) = \frac{3}{4} [1 + \cos^2 \theta] \quad (2)$$

$$\beta_R(\lambda) = \frac{8\pi^3(n^2 - 1)^2}{3N\lambda^4}, N = 2.504 \cdot 10^{25} \quad (3)$$

$$\rho_R(h) = \exp\left(-\frac{h}{H_R}\right), H_R = 7994 \text{ m} \quad (4)$$

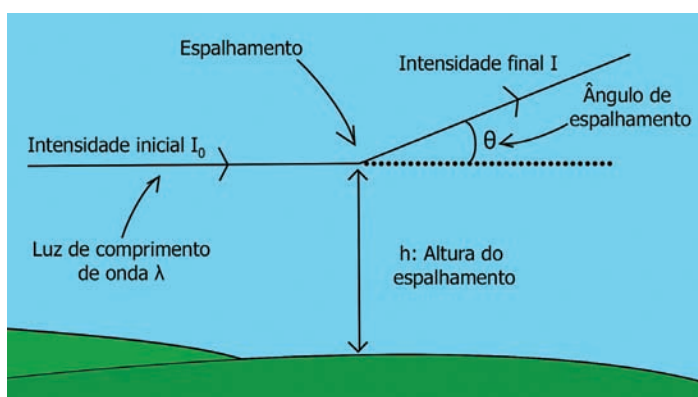


Figura 2 - Ilustração do espalhamento da luz.

Onde  $I_0$  é a intensidade inicial da luz e  $I$  a intensidade final,  $n$  o índice de refração do meio onde se dá o espalhamento,  $\lambda$  o comprimento de onda da luz,  $\theta$  o ângulo de espalhamento,  $h$  a altura à qual ocorre o espalhamento – medida a partir do nível do mar -  $N$  a densidade molecular média ao nível do mar e  $H_R$  a altura da escala de Rayleigh.

A intensidade da luz após sofrer espalhamento de Rayleigh é tão maior quanto menor o seu comprimento de onda, pois  $I \propto 1/\lambda^4$  (ver figura 3).

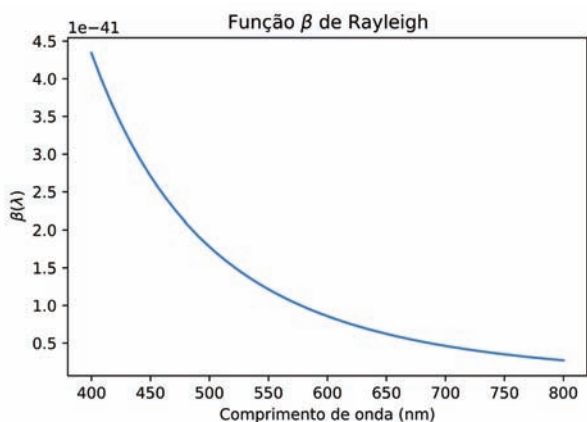


Figura 3 - Variação da intensidade final no espalhamento de Rayleigh com o comprimento de onda da luz.

No espectro visível o violeta é a cor com menor comprimento de onda e que regista maior intensidade final no espalhamento,

mas os cones do olho captam pouco esta cor, pelo que o azul, a próxima cor do espectro visível com menor comprimento de onda, é a que vemos no céu!

### Espalhamento de Mie

O espalhamento de Mie descreve a interação da luz com partículas de dimensão próxima do comprimento de onda da luz, como são os aerossóis.

Este tipo de espalhamento tem dois aspetos importantes que o diferenciam do de Rayleigh: a intensidade final não depende do comprimento de onda da luz e tem uma grande dependência do ângulo de desvio.

No contexto atmosférico, uma boa aproximação do espalhamento de Mie é dada pelas equações [2,3]:

$$I = I_0 \cdot S_M(\theta, h) = I_0 \cdot \gamma_M(\theta) \cdot \beta_M \cdot \rho_M(h) \quad (5)$$

$$\gamma_M(\theta) = \frac{3}{2} \cdot \frac{1 + g^2}{2 + g^2} \cdot \frac{1 + \cos^2 \theta}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^2} \quad (6)$$

$$\beta_M = 5,76 \cdot 10^{-7} \quad (7)$$

$$\rho_M(h) = \exp\left(-\frac{h}{H_M}\right), H_M = 1200 \text{ m} \quad (8)$$

Onde  $H_M$  é a altura da escala de Mie,  $g \in ]-1, 1[$  é um parâmetro de ajuste e todas as outras variáveis são análogas às descritas no espalhamento de Rayleigh.

Após sofrer espalhamento de Mie, a intensidade da luz quando o feixe sofre um desvio muito pequeno - espalhamento em frente - é muito superior à que ocorre nos restantes ângulos. Deste modo,  $g$  permite ajustar a seletividade angular deste espalhamento. Quanto maior o  $g$ , maior será esta seletividade angular - neste projeto foi utilizado  $g = 0,996$ .

Dado que olhando diretamente para o Sol o ângulo de desvio da luz é muito pequeno (ver figura 4), o Sol apresenta uma luminosidade elevada (ver figura 5).

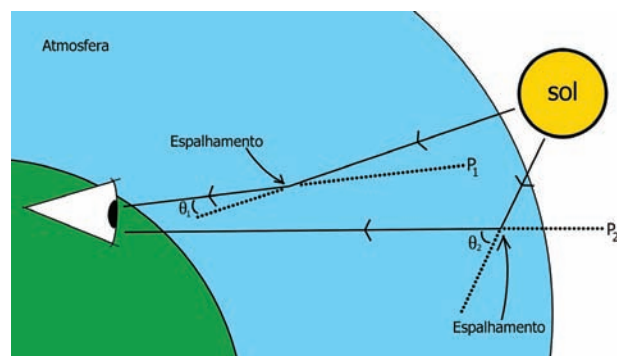


Figura 4 - Esquema representativo do espalhamento de Mie da luz. O ponto  $P_1$  terá uma muito maior intensidade do que  $P_2$  pois o seu ângulo de desvio  $\theta_1$  é muito inferior ao ângulo  $\theta_2$ .



## Efeitos dos espalhamentos de Rayleigh e de Mie

O espalhamento de Mie toma valores de intensidade muito superiores aos do espalhamento de Rayleigh para regiões do céu próximas do Sol, pelo que é maioritariamente responsável pela intensidade luminosa deste. No entanto, como não depende do comprimento de onda, não origina as diferentes cores do céu (fig. 5).

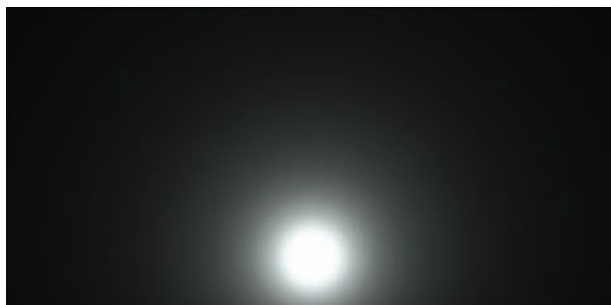


Figura 5 - Imagem do pôr do sol gerada apenas com espalhamento de Mie.

O espalhamento de Rayleigh, por sua vez, é dependente do comprimento de onda da luz, sendo este que origina a cor do céu (fig. 6).

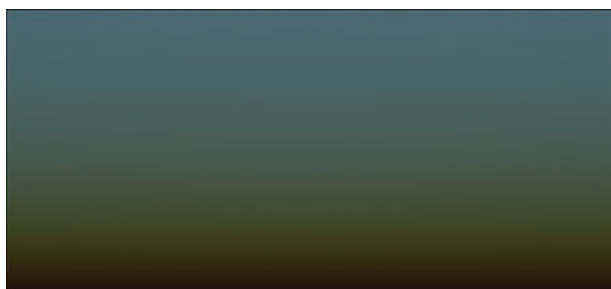


Figura 6 - Imagem do pôr do sol gerada apenas com espalhamento de Rayleigh.

Quando se juntam os dois fenómenos, considerando que ambos os eventos de espalhamento ocorrem simultaneamente [2] – uma simplificação, dado que ambos os espalhamentos ocorrem para a interação da luz com partículas de diferentes dimensões – e consequentemente  $I = I_0 S(\theta, \lambda, h)$ , com  $S(\theta, \lambda, h) = S_R(\theta, \lambda, h) + S_M(\theta, h)$ , obtém-se o seguinte resultado (fig. 7):

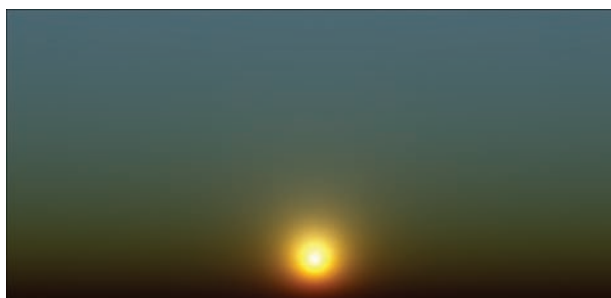


Figura 7 - Imagem do pôr do sol gerada com ambos os eventos de espalhamento

## Definir uma câmara e o Sol no cenário

Para gerar imagens do céu é necessário criar um ponto de vista de onde a imagem será gerada, como se estivéssemos a colocar uma câmara no cenário a captar. É necessário então definir as coordenadas da câmara e, mais importante, a direção na qual esta aponta. Para definir esta direção podem-se usar um ângulo azimutal e um ângulo polar. Similarmente é necessário colocar o Sol no cenário. Como o Sol se encontra muito longe da Terra, basta indicar a direção na qual ele se vai encontrar, não sendo necessário definir uma posição para este. Deste modo, se a câmara apontar na mesma direção que a definida para o Sol, este vai-se encontrar no centro da imagem.

## Intensidade inicial $I_0$ da luz

Para se poder calcular a intensidade final da luz é necessário saber qual a intensidade da luz no início do seu trajeto. Sendo que a fonte de luz considerada é o Sol, utiliza-se o seu espectro de emissão para associar uma intensidade a cada comprimento de onda emitida, isto é, cada comprimento de onda  $\lambda$  tem uma intensidade inicial  $I_0$  associada, dadas pelo espectro de emissão solar (ver figura 8).

O espectro é dado pela lei de Planck que permite determinar a radiância espectral  $B(\lambda, T)$  de um corpo negro:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1} \quad (9)$$

Dado que se sabe que a temperatura da superfície do Sol é de aproximadamente 5778 K, aplicando a equação (9) obtém-se o espectro de emissão solar (ver figura 8) e a intensidade inicial da luz por este emitida.

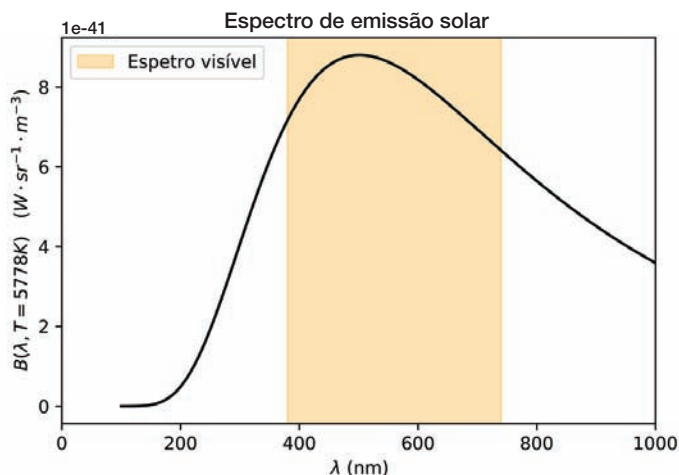


Figura 8 - Espectro de emissão solar.

## Inversão do sentido de propagação da luz

A luz propaga-se desde o seu emissor até ao seu recetor, neste caso do Sol até ao olho. Para efetuar os cálculos numéricos, no entanto, considerar toda a luz emitida pelo Sol é um desperdício de recursos computacionais devido à maior parte dessa luz não atingir o alvo, o olho. Deste modo, considera-se o sentido inverso desta propagação, ou seja, como se a luz saísse do olho e terminasse o seu percurso no Sol.

Os cálculos são independentes do sentido de propagação e descritos pelas mesmas equações até agora apresentadas.

### Espalhamento para dentro e espalhamento para fora

Vamos estabelecer um “limite” na atmosfera terrestre a partir do qual consideraremos que a luz não sofrerá mais interações (80km de altitude é um valor típico). Considere-se um segmento de reta que une o olho a este limite de acordo com a direção do olhar (fig. 9).

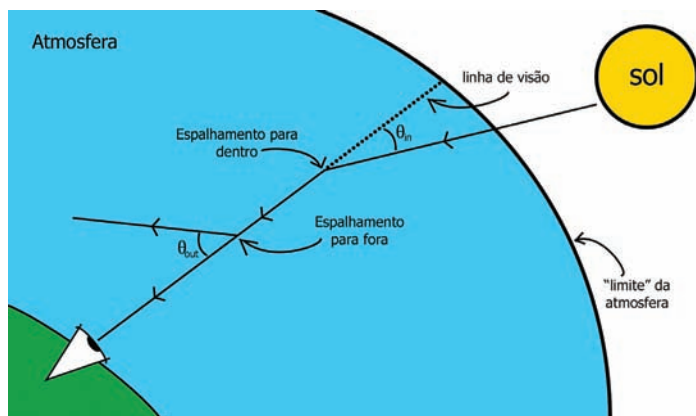


Figura 9 - Esquema ilustrativo do espalhamento para dentro e fora.

Ao longo deste segmento de reta há luz que sofre espalhamento de Rayleigh ou de Mie e que se passa a dirigir ao olho - espalhamento para dentro ou *in scattering* - e há também luz que se desloca ao longo deste segmento de reta direcionada ao olho que é desviada para fora devido aos mesmos eventos - espalhamento para fora ou *out scattering* (ver figura 10).

Os espalhamentos para dentro e fora não são fenômenos distintos dos de Rayleigh e de Mie, são apenas uma maneira de distinguir a quantidade de luz que entra para a nossa linha de visão da que sai devido a espalhamentos tanto de Rayleigh como de Mie.

### Espalhamento para fora

Ao longo do segmento de reta referido anteriormente, parte da luz que se dirige ao olho é defletida em várias direções ao longo deste trajeto, diminuindo a quantidade de luz que se propaga ao longo do segmento. O espalhamento para fora num segmento de reta de comprimento  $S$  é descrito pela lei de Beer-Lambert [1]:

$$I = I_0 \exp(-\tau(\lambda, h)) \quad (10)$$

$$\tau(\lambda, h) = \int_0^S [\beta_R(\lambda)\rho_R(h) + \beta_M\rho_M(h)] ds \quad (11)$$

Onde  $I$  é a intensidade da luz após percorrer esse segmento,  $I_0$  a intensidade inicial e  $ds$  uma distância infinitesimal. A quantidade  $\tau$  é denominada espessura ótica, neste caso dependente dos coeficientes de extinção de Rayleigh e Mie. A equação (10) apenas pode ser calculada por métodos numéricos, uma vez que não existe solução analítica para o integral da equação (11).

De certo modo, a espessura ótica diz-nos o quanto a atmosfera se opõe à propagação da luz numa dada direção, provocando a diminuição da sua intensidade com o aumento do trajeto percorrido na atmosfera.

A diminuição da intensidade da luz com o aumento do trajeto é algo intuitivo de se prever. Algo interessante mas menos intuitivo é o que podemos retirar das equações (10) e (11): a espessura ótica depende do comprimento de onda e quanto menor este, maior a “obstrução” da atmosfera à passagem de luz. Esta dependência enquadra a explicação da luz azul ser mais espalhada que as outras, resultando em que também seja mais espalhada para fora, perdendo assim mais intensidade ao longo do percurso.

Devido a este facto, quando a luz percorre longas distâncias na atmosfera - como quando olhamos para o pôr ou o nascer do Sol - embora a luz azul seja beneficiada pelo espalhamento de Rayleigh, esta “obstrução” a longa distância atenua o azul o suficiente para a cor vermelha se destacar, dando origem ao pôr do Sol como o conhecemos. Este fenómeno não se verifica durante o resto do dia pois a distância que a luz tem de percorrer na atmosfera até ao olho é consideravelmente menor.

### Espalhamento para dentro

Considere-se novamente o segmento de reta que une o limite da atmosfera ao olho. Diga-se que este começa no ponto  $O$  e termina no ponto  $P$ . Para calcular a contribuição do espalhamento para dentro, já contabilizando também o espalhamento para fora, é necessário subdividir esse segmento em segmentos muito pequenos e considerar que para cada subsegmento ocorre um evento de espalhamento fazendo com que a luz entre na linha de visão [2]:

$$I = I_0 \cdot S_{in}(\theta, \lambda, h, s) \quad (12)$$

$$\tau(\lambda, h) = \int_0^S [\beta_R(\lambda)\rho_R(h) + \beta_M\rho_M(h)] ds \quad (13)$$

Onde  $\tau(\lambda, h) = \tau_e(\lambda, h) + \tau_s(\lambda, h)$  é a soma da espessura ótica  $\tau_e(\lambda, h)$  da luz desde o olho até cada um dos pontos de espalhamento e da espessura ótica  $\tau_s(\lambda, h)$  desse mesmo ponto até ao ponto onde a luz atinge o “limite” da atmosfera em direção ao Sol. Note-se que nesta equação se despreza a presença do espalhamento múltiplo.

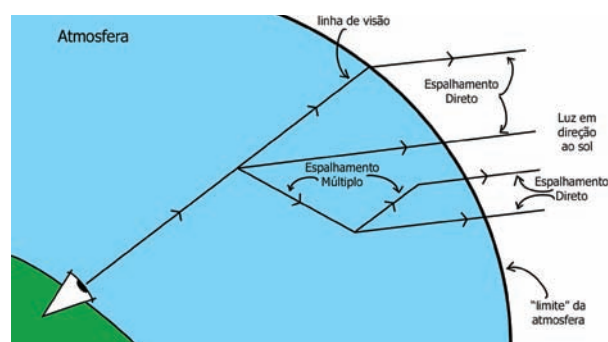


Figura 10 - Esquema ilustrativo do espalhamento para dentro e espalhamento múltiplo, considerando a inversão do sentido de propagação da luz.

Para realizar em *Python* o cálculo do espalhamento para dentro subdividiu-se o segmento de reta da linha de visão em vários subsegmentos e supôs-se um espalhamento direto – enviar a luz diretamente para o sol (ver figura 10) – em cada um destes subsegmentos. Fez-se assim a integração presente na equação (13). Repare-se que a função a ser integrada decai exponencialmente com a altura e a sua contribuição é cada vez menor, sendo por isso apropriado um passo exponencial para a integração numérica de  $\tau(\lambda, h)$  [1].

Para melhorar o realismo do algoritmo, envia-se luz em duas direções: em direção ao sol – espalhamento direto – e numa direção aleatória – espalhamento múltiplo – com uma probabilidade arbitrária de se voltar a espalhar. Quando este processo probabilístico terminar, envia-se esta luz diretamente para o Sol.

Realizando esta computação numérica, com ou sem espalhamento múltiplo, obtém-se a intensidade final para um comprimento de onda e feitos os cálculos para os comprimentos de onda vermelho ( $\lambda = 680$  nm), verde ( $\lambda = 534$  nm) e azul ( $\lambda = 440$  nm) - *RGB* - obtém-se a cor de um píxel.

Criando-se um plano de imagem - uma grelha de píxeis com uma largura e altura arbitrárias - a uma certa distância do observador e preenchendo-os com os valores *RGB* calculados para cada um deles, obtém-se finalmente uma imagem crua do céu calculada utilizando o espalhamento atmosférico.

Por fim, uma vez que estas intensidades calculadas muito facilmente atingem valores muito elevados ou muito reduzidos, para uma representação de cores mais dinâmica e realista utiliza-se *tone-mapping*, que alarga a distribuição da intensidade de cores.

Após todos estes efeitos serem contabilizados, os resultados serão semelhantes aos mostrados na figura 7 para o pôr do Sol e na figura 11 para o dia.

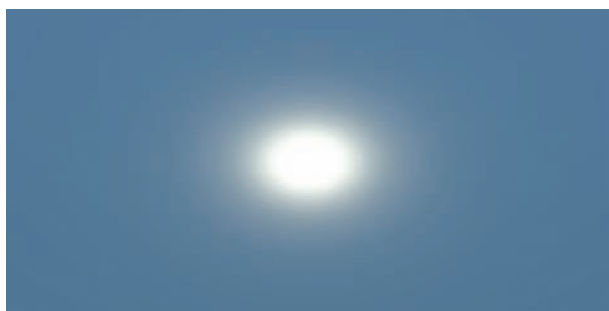


Figura 11 - Imagem gerada do céu durante o dia

## Conclusão

A cor do céu é um problema complexo que é explicado em grande parte pelo espalhamento da luz e o programa em *Python* que aqui se descreve, mesmo empregando algumas simplificações, permite a sua resolução com bastante simplicidade e eficácia.

Assim, com o maior espalhamento de Rayleigh de comprimentos de onda de luz azul e também devido à fraca capacidade de deteção dos cones - células recetoras do olho - à luz violeta, a luz que o olho capta com maior intensidade proveniente do céu é o azul, tornando-o desta cor.

Devido à elevada seletividade angular do espalhamento de Mie, o Sol apresenta uma intensidade luminosa muito superior ao resto do céu, dado que a luz proveniente diretamente do Sol sofre desvios angulares muito pequenos.

A longas distâncias, como a luz azul é mais espalhada do que outros comprimentos de onda, é esta que sofre mais o espalhamento para fora do que o espalhamento para dentro, o que está na origem duma maior intensidade da luz vermelha relativamente à azul, tornando o pôr do sol avermelhado.

## Agradecimentos

Agradeço ao professor Nuno Castro, docente da UC de Física Computacional pelo auxílio em dar exposição a este projeto e ao professor António Ramires pela ajuda conceptual e algorítmica ao longo do desenvolvimento do mesmo.

Foi um enorme prazer trabalhar e aprender com ambos, e a minha gratidão vai muito além de um curto agradecimento.

## Referências

- [1] Nishita, T., Sirai, T., Tadamura, K., & Nakamae, E. (1993, September). Display of the earth taking into account atmospheric scattering. Em Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (pp. 175-182).
- [2] Lopes, Diogo & Ramires Fernandes, António. (2014). Atmospheric Scattering -State of the Art. Em EPCG 2014 - 21º Encontro Português de Computação Gráfica (pp. 63-70).
- [3] Nishita, T., Dobashi, Y., Kaneda, K., & Yamashita, H. (1996, August). Display method of the sky color taking into account multiple scattering. Em Pacific Graphics (Vol. 96, pp. 117-132).



Gilberto Cunha, é estudante de 4.º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Física na Universidade do Minho no ramo de Física da Informação. É investigador do CMEMS, onde tem estudado e desenvolvido modelos do sistema visual usando redes neuronais profundas. Descobriu o seu interesse pela Física durante o seu ensino secundário, que completou, em 2017, na Associação Cultural e Recreativa de Fernelos.

# Mme Curie e Mme Marques: o encontro de duas pioneiras

Maria da Conceição Ruivo

## Resumo:

No início dos anos trinta, o caminho de Branca Edmée Marques, que viria a ser a primeira catedrática de ciências na universidade portuguesa, cruza-se com o de Marie Curie, no *Institut du Radium*, em Paris. Sob orientação da cientista duas vezes galardoada com o Nobel, Marques apresentará a sua tese de doutoramento em radioquímica na Sorbonne, obtendo a classificação máxima. Seguem-se algumas reflexões sobre o percurso das duas cientistas e o seu relacionamento e sobre as mulheres no *Institut du Radium*.

## A jovem assistente do Laboratório de Química

Há quase noventa anos, num dia de Dezembro de 1931, uma mulher jovem caminha segura de si pela Rua Pierre-Curie, dirigindo-se ao *Institut du Radium*. Veio para Paris a fim de estudar radioactividade com Madame Curie e não traz consigo qualquer credencial da sua Faculdade nem precisou de carta de recomendação, já que a sua candidatura, preparada por iniciativa própria, não precisou de tal para ser aceite. A bolsa da Junta da Educação Nacional [JEN], obstaculizada numa primeira tentativa, fora-lhe finalmente concedida. A sua determinação não a deixaria desistir, pois, como dizia ao marido: “Porque se eles quiserem dizer que não trinta vezes eu trinta vezes farei o mesmo.”, já que era “mais teimosa que um burrico” [1].



Figura 1 - Branca Edmée Marques

Chegada ao Instituto, pede com alguma veemência, para ser recebida por Madame Curie que não se faz esperar. Nesse dia teve lugar o primeiro encontro de duas mulheres que escolheram com entusiasmo e determinação trilhar os caminhos da ciência, naquela época particularmente árduos para uma mulher. A entrevista durou duas horas e, no final, a jovem investigadora tinha um projecto de trabalho entre mãos, um espaço e o equipamento que lhe era necessário [1-2].

Se imaginarmos o primeiro encontro entre estas duas cientistas, vemos, de um lado, uma jovem de 32 anos, com todo o vigor e entusiasmo da juventude e com uma determinação que a fez vencer diversos obstáculos; do outro, uma mulher com o dobro da sua idade, mas precocemente envelhecida e de saúde frágil: os dedos estão queimados devido à exposição à radiação, os magníficos cabelos louros da juventude estão agora completamente brancos e está quase cega devido às cataratas. Mas desta mulher frágil fisicamente, que a morte levará daí a três anos, continua a emanar uma energia espantosa e uma paixão obsessiva pela ciência.

Não é de estranhar que Marie Curie (1867-1934) tenha reconhecido na jovem portuguesa não só a sua inteligência e a qualidade da formação, mas também os traços que caracterizam quem se dedica à ciência: a curiosidade, o desejo de aprender e a vontade indomável de romper caminho, mesmo que fosse preciso ser “teimosa como um burrico”.

Branca Edmée Marques (1899-1986), pois é dela que estamos a falar, vem da Faculdade de Ciências da Universidade Lisboa, licenciou-se com distinção em Química e nos cinco anos anteriores fora a única mulher a leccionar no universo exclusivamente masculino do Laboratório de Química daquela Faculdade.



Com notável serenidade e talento pedagógico, dissipara rapidamente as dúvidas de Aquiles Machado, Director do Laboratório de Química, quando a convidou para assistente, ainda antes de terminar o curso: manter a disciplina em turmas praticamente só frequentadas por homens. Já depois de jubilada, gabava-se de nunca ter tido qualquer razão de queixa dos alunos, pois a sua disciplina era baseada na compreensão e no gosto de ensinar: *“Porque eu via fazer disparates grandes, não era, mas não dizia: “ – Olhe que isso é um disparate. Tire isso.” Não dizia. Dizia: “ – Bom, meu amigo, não gosta disso, pois não? Então vamos lá a ver se nós vamos gostar.” E eles, é claro, eles começavam a olhar: O que é que vamos gostar? Não é?”* [1].

Pedida em casamento por um colega da Faculdade, esta jovem, que sabia muito bem o que queria, não hesitou em impor condições: *“Olha, António, eu aceito-te para marido, e com muito gosto porque sei quem és, sei muito bem, enfim, que és uma pessoa muito distinta, muito correcta. Sei isso tudo. E sei que és inteligente, sei que és um homem de valor, mas também não te digo que sim sem te ouvir uma resposta. É que o meu curso...eu quero ir para Paris.[...] E ele achou muito bem, até, que eu fosse para Paris, porque assim aprendia aquilo que cá nunca aprenderia.”* [1].

Apesar desta disponibilidade, Branca Marques não quis deixar lugar para dúvidas e, num documento que a família do noivo fez questão que assinasse, “exige a este que não lhe seja colocado qualquer impedimento na sua carreira profissional” [2]. O marido, António da Silva de Sousa Torres (1876-1958), cumpriu o acordo, pondo apenas como condição que a sogra acompanhasse a mulher em Paris, uma precaução prudente, tendo em atenção a ambiente moralista e conservador em Portugal nos anos trinta. O Director da JEN diria, chocado com a sua candidatura, *“Uma rapariga em Paris? Uma bolsa!”* [1].

Sousa Torres, cerca de vinte anos mais velho que a noiva, era um homem capaz de compreender as suas ambições. Era já um conceituado naturalista do Museu Geológico e Mineralógico da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa que fez um trabalho notável na organização de colecções estratigráficas e paleontológicas portuguesas, bem como na recolha e organização das colecções ultramarinas do museu. Visitava com regularidade museus e instituições no estrangeiro, dialogando com os seus pares e actualizando conhecimentos. Defendia que os museus de História Natural não podiam ser meros “armazéns de curiosidades”, mas deviam ser transformados “em ativos difusores dos mais úteis conhecimentos”, critério que presidiu à remodelação do museu e exposição permanente [3].

## Alguns aspectos do percurso de Marie Curie

É por de mais conhecida a saga de Marie Sklodowska Curie [4-6], as dificuldades e tragédias que teve de enfrentar durante a sua infância e juventude, que a marcaram para toda a vida mas que também fizeram dela uma resistente, bem como os dissabores que passou devido à sua condição de mulher. Detentora de dois prémios Nobel, tinha de delegar em terceiros a apresentação dos seus artigos na Academia de Ciências Francesa, pois nunca conseguiu ser aceite na instituição. O seu trabalho foi diversas vezes menorizado, Pierre Curie (1859-1906) teria tido o papel fundamental, já que, depois da sua morte, ela pouco fizera de novo e o Prémio Nobel da Química, que lhe foi atribuído a título individual, levantou alguma controvérsia [4]. Vale a pena aprofundar estas questões e contrapor-lhe factos pertinentes.



Figura 2 - Marie Curie

O prémio Nobel da Física foi atribuído em 1903 ao casal Curie e a Henri Becquerel, no entanto o comité Nobel pretendia conceder o galardão apenas aos dois homens. Tendo conhecido a tempo essa intenção, Pierre reagiu de imediato fazendo saber que não aceitaria ser honrado caso a sua mulher não o fosse também. No seu discurso do Nobel, Pierre Curie enfatizou o papel da esposa, contrastando com o discurso do presidente da Real Academia Sueca onde transparecia o papel secundário atribuído a Marie, não faltando a citação do Génesis que trata a mulher como um apêndice do homem. Ora Pierre Curie tinha já realizado trabalho, que muitos consideram digno de um Nobel, nos domínios da cristalografia, do magnetismo e da piezoelectricidade, mas no que respeita à radioactividade, embora a sua colaboração fosse preciosa, Marie era a líder do projecto, o que é corroborado pela física nuclear Hélène Langevin-Joliot, a neta dos Curie que estudou os cadernos de laboratório dos avós [5].

Note-se que o Nobel de 1903 foi atribuído pela descoberta e estudo da radioactividade, não fazendo qualquer menção à descoberta do rádio e do polónio, enquanto o prémio Nobel da Química foi atribuído a Mme Curie em 1911 “em reconhecimento pelos seus serviços para o avanço da Química através da descoberta dos elementos rádio e polónio, pelo isolamento do rádio e pelo estudo

da natureza e componentes deste notável elemento.” [5]. Era fundamental isolar o rádio puro não só para dissipar dúvidas sobre a sua real existência (até então, os Curie tinham conseguido apenas obter cloreto de rádio e em 1906 o prestigiado Lord Kelvin publicou uma nota a defender que o rádio era um composto de chumbo e hélio), mas também porque o grande potencial do rádio para fins médicos (nomeadamente, o tratamento do cancro, que os Curies tinham previsto) e para fins industriais tornava indispensável isolar o rádio e pô-lo à disposição da comunidade científica. Essa foi a tarefa, árdua, de Marie Curie.

É certo que Mme Curie não voltou a fazer descobertas cruciais e que houve anos em que a sua actividade de investigação abrandou, mas isso não significa que a cientista não estivesse a fazer um trabalho inovador e de maior importância, nomeadamente na criação de uma sólida e moderna estrutura que iria potenciar a investigação na área da radioactividade ao mais alto nível. Em 1911, na sequência de ataques e polémicas em torno do seu nome, nomeadamente o escândalo Langevin, Marie Curie adoeceu gravemente seguindo-se uma recuperação lenta e, a partir de 1914, esteve muito envolvida no apoio ao esforço de guerra, nomeadamente, montando unidades móveis com aparelhos de raios X para assistir os feridos nos hospitais de campanha. Eram as “petite curies”, que muitas vezes ela própria levava até à frente de batalha.

Mas o seu grande projecto foi o de criar um laboratório científico, que viria a ser o *Institut du Radium*, instalado num novo edifício, junto do *Institut Pasteur*, dirigido pelo médico e biólogo Claude Regaud, permitindo assim uma convergência de sinergias nas aplicações médicas dos novos elementos, em particular no tratamento do cancro. O foco de atenção de Curie tinha passado a ser no domínio da investigação aplicada e, simultaneamente, no desenvolvimento do Instituto. O seu propósito de purificar fontes radioactivas permitiu que este se tornasse líder na produção em quantidade e em qualidade de radioelementos. Numa altura em que a investigação exigia cada vez mais meios materiais, coordenação de equipas e ligações internacionais, ela tornou-se numa espécie de empresária científica com grande visão e “conseguiu criar um dos laboratórios de investigação mais importantes em França, que era o centro de uma poderosa rede científica, industrial, médica e metrológica.” [7].

Por conseguinte, em 1931, a mulher que Branca Edmée Marques encontrou era uma vencedora, tivesse embora pagado muito caro pelas suas vitórias. A morte precoce de Pierre Curie deixara-a devastada e, segundo os seus biógrafos, transformara-a numa pessoa diferente, mais fria, reservada e obcecada pela ciência. A sua saúde ressentiu-se severamente das mágoas por que passou e da constante exposição à radiação, para cujos perigos ela alertava, mas que, inexplicavelmente, não levava a sério para si própria [5].

## As mulheres no Laboratório Curie

Sabendo que no Laboratório Curie trabalhavam muitas mulheres, podemos perguntar-nos se, consciente dos obstáculos que tivera de enfrentar, Mme Curie teria critérios de selecção com alguma discriminação positiva, e também se essas mulheres faziam verdadeiro trabalho de investigação ou apenas tarefas rotineiras.

Segundo Julie des Jardins [6], Mme Curie não estava minimamente interessada em abrir caminhos para as mulheres na ciência, com a excepção da sua amada filha Iréne. No entanto, algumas investigações sobre esta temática concluem que nem havia qualquer favorecimento na entrada de mulheres, nem o trabalho de investigação era atribuído apenas aos homens [7-8]. Como veremos, o caso da cientista portuguesa ilustra bem esta conclusão [1-2].



Figura 3 - Marie Curie e colaboradoras

A importância tanto quantitativa como qualitativa das mulheres no laboratório Curie, onde havia várias diplomadas que prosseguiram carreiras de investigação, é realçada por Boudia [7], e por Micault [8]. Segundo esta última, entre 1906 e 1934 houve cerca de 45 mulheres e 64 homens a trabalhar no laboratório Curie, variando a percentagem de mulheres entre 8,7 % e 40 %. É um valor excepcional, comparado com a população femi-

nina nos laboratórios de Ernest Rutherford (Reino Unido) e de Lise Meitner (Áustria), que só teria semelhança no laboratório de Stefan Meyer em Vienna. Este valor deve-se em parte ao carisma de Mme Curie, uma vez que os candidatos eram selecionados com grande exigência e os critérios eram idênticos para homens e para mulheres, a única diferença respeitando apenas às francesas e às estrangeiras. Para estas últimas, havia uma maior exigência, pois deveriam ter uma recomendação de alguém bem cotado cientificamente e/ou serem detentoras de graus universitários ao nível do mestrado ou do doutoramento. Sabemos que Branca Marques não tinha nenhuma destas condições, mas era já assistente da Faculdade de Ciências de Lisboa há cinco anos e pretendia integrar-se num futuro instituto de radiologia a ser criado em Portugal. Pode também ter pesado o empenho de Marie Curie em criar redes internacionais e as boas experiências havidas com bolsiros portugueses, Mário Silva, da Universidade de Coimbra, e Manuel Valadares, da Universidade de Lisboa.

#### **A experiência de Branca Marques em Paris e a sua carreira em Portugal**

De acordo com a informação disponível, Marques é bem recebida no Laboratório, são-lhe oferecidas boas condições de trabalho e Mme Curie trata-a afavelmente e acompanha de perto o seu trabalho, com o qual se mostra bastante satisfeita, o que é comprovado por várias cartas de recomendação, bastante elogiosas, que enviou a apoiar os vários pedidos de Marques para prorrogação da bolsa, chegando a pôr mesmo a hipótese de o Instituto lhe conceder uma bolsa (no último ano recebe mesmo uma subvenção do governo francês) [1-2, 9-11]. Depois de um estágio inicial sobre “processos de medição utilizados usados em radioatividade”, orientada por uma colaboradora, Mlle Chammié, Curie começa a propor-lhe trabalhos originais, solicita-a por vezes para a verificação de determinados resultados, tarefa que só confiava a alguns, dá-lhe conselhos e fornece-lhe bibliografia, convida-a a dinamizar um dos habituais encontros de investigadores do Instituto para apresentar e discutir o seu trabalho e, ao fim de dois anos, propõe-lhe que prepare o doutoramento [1-2]. O trabalho de Marques deu origem a várias notas apresentadas à Academia de Ciência Francesa por Jean Perrin e, mais tarde, por André Debierne, e posteriormente publicadas na revista “*Comptes Rendus*”. Após a morte de Mme Curie em 1934, a doutoranda passa a ser orientada por Debierne e em 1935 apresenta a sua tese na Sorbonne “*Nouvelles recherches sur le fractionnement des sels de barium radifère*”, sendo-lhe concedido o *Doctorat d'Etat* com a mais alta classificação. Após o doutoramento, Debierne convida-a a trabalhar no Instituto, mas Marques prefere voltar a Portugal.



Figura 4 - Laboratório de Branca Edmée Marques

Regressada à Faculdade de Ciências de Lisboa, Marques, apesar de sobrecarregada com serviço docente, não só continuou a fazer investigação, mantendo colaboração com o Institut de Radium e publicando regularmente em revistas portuguesas, actas de conferências nacionais e internacionais e em revistas internacionais de prestígio. Apesar disso, a sua progressão na carreira foi lenta, só aos 65 anos obteve o lugar de professora catedrática, passando a ser a segunda mulher a ocupar este posto numa universidade portuguesa. O seu grande mérito foi o de criar e desenvolver no Laboratório de Química a investigação sobre radioatividade e descobertas associadas. Em 1936, fundou o Laboratório de Radioquímica, o primeiro laboratório de pesquisa em química da Faculdade de Ciências, que mais tarde ficou conhecido como Centro de Estudos em Radioquímica. O Centro teve um papel significativo na transmissão do conhecimento científico, proporcionando a formação de alunos, investigadores e técnicos. Marques pesquisou principalmente em química nuclear e radioquímica e também se interessou por aplicações terapêuticas de radioisótopos.

No final da sua vida, Branca Edmée Marques podia mostrar-se orgulhosa do seu percurso, como professora que marcou várias gerações e como investigadora pioneira. Na entrevista já citada [1], vemos a imagem de uma mulher realizada, que teve uma vida plena e relembra episódios da sua carreira com alegria e sentido de humor. Numa época em que “ser mulher era pior do que ser um bicho feroz”, como dizia, foi capaz de superar obstáculos, contornar mentalidades e tradições, com firmeza, mas também com tacto e diplomacia, oferecendo um exemplo inspirador para as mulheres interessadas na ciência.

#### **Uma inspiração: Não é sacrifício, é amor à ciência**

Uma imagem comum de Marie Curie é a de uma mulher que sacrificou tudo pela ciência, fria e austera, vestindo-se com uma sobriedade monástica, a primeira em tudo, enfim, uma imagem de perfeição que a partir de certa altura começou a ser considerada como um exemplo contraproducente para atrair as mulheres para a ciência, porque inatingível. Margaret Rossiter chamou aos efeitos desta imagem o “complexo Curie”, que tem sido abor-



dado em várias publicações [6]. A própria Marie Curie contribuiu para o seu próprio mito, guardando na esfera privada a mulher de afectos e paixões, amante da natureza e de desportos ao ar livre, que recordava o seu tempo austero de estudante e aquele em que trabalhava com o marido num barracão miserável, sem aquecimento, como os anos mais felizes da sua vida.

É preciso ter em conta que as condições e a presença das mulheres na ciência melhoraram significativamente, pelo que a cientista perfeita e sofredora não será hoje em dia o melhor modelo. Embora haja muitas assimetrias, a nível global e até ao nível da licenciatura, a percentagem de mulheres na ciência e o seu aproveitamento são iguais ou superiores aos dos homens. Essa percentagem diminui à medida que se sobe na hierarquia e em lugares de topo e prémios Nobel, a presença de mulheres já é comparativamente baixa, o que mostra que ainda muitos obstáculos a vencer [12]. Mas frases do tipo “Não é sacrifício, é amor à ciência.”, com diferentes variações, foram ditas por Marie Curie e por outras cientistas, sejam ou não de primeiro plano, e contrapõe-se à vitimização que muitas vezes se faz quando se fala de mulheres na ciência.

#### Bibliografia

- [1] Ana Luísa Janeira, “Branca Edmée Marques (1899-1986). Primeira Catedrática de Ciências”, *Feminino ao Sul: História e Historiografia da Mulher*, Sara Marques Pereira, Maria de Deus Manso e Marília Favinha (coord.), pp. 75-122, Livros Horizonte (2008).
- [2] Maria Margarida Neves Heliodoro, “A investigação em Química em Portugal no Sec. XX - o estudo do caso da Professora Doutora Branca Edmée Marques”, dissertação de Mestrado em Química em Contexto Escolar, Universidade de Évora (2012).
- [3] João Manuel Brandão e Vanda Faria dos Santos, “Torres, António da Silva e Sousa”, *Dicionário Quem é Quem na Museologia Portuguesa*, Raquel Henriques da Silva, Emilia Monteiro Ferreira e Joana d’Oliva (coord.) (2019). [https://research.unl.pt/ws/portalfiles/portal/13106923/dicionario\\_quemquem\\_312\\_314.pdf](https://research.unl.pt/ws/portalfiles/portal/13106923/dicionario_quemquem_312_314.pdf) (acedido em 6/02/21).
- [4] Sharon Bertsch McGrayn, “Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries”, Joseph Henry Press. Washington D C (1998).
- [5] Barbara Goldsmith, “Obsessive Genius: The Inner World of Marie Curie”, W.W. Norton & Company, New-York London, (2005).
- [6] Julie des Jardins, “The Madame Curie Complex”, Feminist Press New York (2010).
- [7] Soraya Boudia, “An Inspired Laboratory Director: Marie Curie and Women in Science”, *Chemistry International*, 33 (1), pp. 12-15 (2011).
- [8] Natalie Pigéard Micault, “The Curie’s Lab and its Women”, *Annals of Science*, 70 (1), pp. 71-100 (2013).
- [9] Maria Alzira B. M. Ferreira, “Branca Edmée Marques (1899-1986). Uma Pioneira na Ciência”, *Memórias de professores cientistas*, Ana Simões (coord.), pp. 50-57, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, (2001).

[10] Francisca Viegas, Isabel Serra e Elisa Maia, “Radioactivity and Portuguese Women Scientists” *Third ICESHS, Austrian Academy of Sciences*, pp. 743-47, Viena (2008).

[11] Maria da Conceição Ruivo|Mateja Filipovic-Sandalj <https://shethoughtit.ilcml.com/biography/branca-edmee-marques/> (acedido em 6/2/21).

[12] Maria da Conceição Ruivo, “As mulheres na ciência e as elites masculinas”, *Legados e Heranças (Inter) Sexuais Hoje*, pp 311-319, Marinela Freiras, Ana Luísa Amaral, Maria de Lurdes Sampaio e Alexandra Moreira da Silva (coord.) *Afrontamento/Instituto de Literatura Comparada Margarida Losa*, Porto (2019).



Maria da Conceição Espadinha Ruivo, física e escritora, professora catedrática aposentada do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.



# Como introduzir o atrito na análise do plano inclinado

Carlota Cardoso<sup>1</sup>, Manuel Santos<sup>1</sup>, Mariana Silva<sup>1</sup>, Horácio Fernandes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico, Universidade Lisboa

<sup>2</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade Lisboa

## Resumo

O plano inclinado, uma das seis máquinas simples descritas na antiguidade [1], permite alterar a força com que um objeto é elevado. Por exemplo, ao reduzir bastante o efeito da aceleração gravítica sentida pelo corpo, a variação da velocidade é menor e permite consequentemente realizar experiências simples de física em tempos de ordem superior ao segundo, entendíveis pelo olho humano. Consequentemente esta máquina é muito usada para estudar a aceleração nos corpos.

No entanto só calhas com almofadas de ar permitem realizar esta experiência sem atrito significativo, permitindo determinar uma aceleração gravítica ( $g$ ) correta e próxima dos  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ . Contudo, o atrito é parte integrante da mecânica do problema e neste artigo abordaremos como o poderemos considerar, demonstrando que é possível determinar o valor de  $g$  com uma experiência simples. A experiência criada para o efeito no e-lab, permite alterar o ângulo de descida e, através deste processo, separar as forças de atrito, da gravítica, obtendo-se um valor muito próximo de  $9,8 \text{ ms}^{-2}$ .

## Introdução

O plano inclinado é geralmente utilizado para mover cargas pesadas sobre obstáculos verticais tais como as rampas comuns. Mover um objeto para cima num plano inclinado requer menos força do que levantá-lo na vertical, como se desmultiplicássemos a gravidade! Esta vantagem mecânica, pela qual a força é reduzida, é igual à razão entre o comprimento da superfície inclinada e a altura em que se estende a rampa.

Nas experiências laboratoriais que recriam esta máquina, a experiência torna-se mais perceptível ao olho humano por via dessa aceleração reduzida. No entanto, ou é usada uma calha de ar de modo a quase eliminar o atrito de rolamento ou tem de ser usado um ângulo significativo de forma à projeção da acele-

ração gravítica sobre o plano ser muito superior à do atrito e eliminando consequentemente essa vantagem da experiência ser realizada num tempo grande, perceptível aos sentidos humanos.

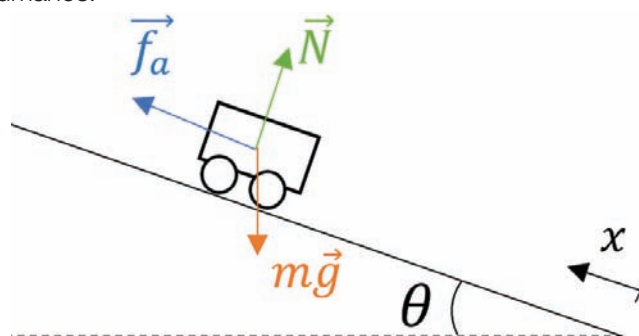


Figura 1 - Configuração e diagrama de forças do carrinho no plano inclinado.

Recorrendo à figura 1 é possível concluir que o módulo da força total aplicada no carrinho segundo o eixo do deslocamento é:

$$F = -mg \text{ sen}(\theta) + f_a = ma \quad (1)$$

Considera-se neste trabalho uma força de atrito  $f_a$  na forma de um polinómio de segundo grau na velocidade – equação 2 [2]:

$$f_a = b_1 + b_2 \cdot v + b_3 \cdot v^2 \quad (2)$$

Que leva, portanto, à aceleração mostrada na equação 3.

$$a = (-g \text{ sen}(\theta) + b) + c \cdot v + d \cdot v^2 \quad (3)$$

onde  $b = b_1/m$ ,  $c = b_2/m$  e  $d = b_3/m$ .

## Plano Inclinado no e-lab

O e-lab é um laboratório localizado no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, controlado remotamente. Este laboratório permite a qualquer pessoa controlar experiências de física reais, em tempo real, através da internet, de forma gratuita e pode ser acessado no seguinte [link](https://www.elab.tecnico.ulisboa.pt/).

<https://www.elab.tecnico.ulisboa.pt/>



Figura 2 - Montagem experimental utilizada no e-lab. A escolha dum mecanismo de balanço permite restituir o carro à fonte de lançamento usando um ângulo negativo e facilitando deste modo a automação da experiência, onde o uso dum pala frontal permite aumentar a resistência aerodinâmica

## O plano inclinado empregue

O plano inclinado desta experiência recria, como os restantes, a “desmultiplicação da gravidade”. Consiste num veículo que se desloca numa calha com um ângulo regulável entre  $0^\circ$  e  $23^\circ$  e que bascula no seu ponto médio. A altura da calha é medida a 1003 mm do eixo da experiência.

O carro utilizado dispõe dum pára-vento de modo a exarcebar o efeito do atrito constituído por uma chapa de aço com  $60 \times 65 \text{ mm}^2$ , aumentando o seu atrito dinâmico. Inicialmente a calha bascula para uma posição com um ângulo negativo de modo a recolher e a parar o carro na origem, que dista cerca de 1,3 m da mola e irá absorver a energia do seu movimento (figuras 2 e 3). Este é imobilizado através dum eletroímã e posteriormente a calha é elevada até à altura ( $h$ ) pré-seleccionada. Quando atinge esse ponto, o eletroímã liberta o carrinho e este desloca-se livremente sobre a calha até embater na mola. Um detetor ultrassónico mede, entretanto, as amostragens da posição em função do tempo decorrido, permitindo traçar a trajetória do veículo durante a queda e no seu amortecimento final. A inclinação do plano é dada por:

$$\theta = \arcsen\left(\frac{\text{Altura (mm)}}{1003 \text{ mm}}\right) \quad (4)$$

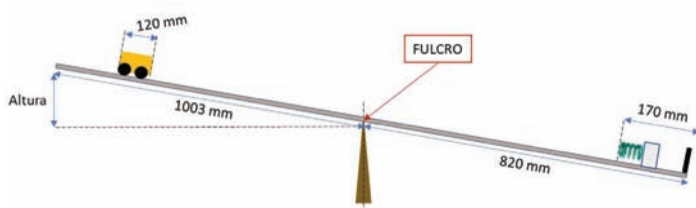


Figura 3 - Esquema da montagem experimental onde o utilizador programa a altura de lançamento em relação ao fulcro.

No programa de controlo do e-lab [3] é possível configurar a altura inicial, o tempo entre medições e o número total de medições (figura 4). Os resultados que se obtêm da realização da experiência têm a forma da figura 5: uma descida inicial, seguida de sucessivas curvas que representam cada movimento após impacto com a mola.



Figura 4 - Consola do e-lab (sala de controlo) que permite seleccionar a altura da calha, o número total de amostragens e o intervalo de tempo entre as mesmas.



Figura 5 - Representação gráfica dos resultados obtidos com a configuração da figura 3.

## Modelo multivariado

Tal como descrito na introdução, a aceleração do carrinho foi modelada com a equação  $a = -g \sin(\theta) + b + cv + dt^2$ . De forma a verificar a validade do modelo, é necessário ajustar o mesmo aos resultados experimentais e estudar os valores obtidos para os parâmetros  $g$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ , bem com o valor dos indicadores estatísticos da qualidade de ajuste. Para distinguir a componente da gravidade do termo constante ( $b$ ) do atrito (atrito de rolamento não dependente da velocidade) são considerados vários percursos para ângulos diferentes o que permite variar a componente no plano, da aceleração da gravidade.

Assim, e de forma a realizar um ajuste de mínimos quadrados, em cada ponto amostrado, a posição e velocidade são calculadas pelo método de Euler com base nas derivadas locais do movimento (velocidade e aceleração, respetivamente). O método de Euler, em termos de velocidade como derivada da posição, encontra-se resumido na equação 5 [4]:

$$v = \frac{dx}{dt} \cong \frac{\Delta x}{\Delta t} \rightarrow \Delta x = x_{i+1} - x_i \cong v_i \Delta t \quad (5)$$

Iteração	Dados Experimentais		Cálculos para Solver		
	Tempo, $t_i/s$	Posição, $x_i/m$	Aceleração, $a_i/(m\ s^{-2})$	Velocidade, $v_i/(m\ s^{-1})$	Posição, $x_i/m$
1	0,028	1,442	$a_1 = -g \sen\theta + b + cv_1 + dv_1^2$	0	1,442
...					
16	0,286	1,412	$a_{16} = -g \sen\theta + b + cv_{16} + dv_{16}^2$	$v_{16} = v_{15} + a_{15}\Delta t$	$x_{16} = x_{15} + v_{15}\Delta t$
...					

Tab. 1 - Exemplo ilustrativo dos cálculos a realizar no modelo com valores iniciais reais.

Como se consegue uma elevada resolução temporal nas medidas da posição, o método de Euler é particularmente adequado porque permite aos alunos compreender a equação do movimento na sua forma instantânea, baseada no conceito de derivada. Ou seja, as forças modificam a velocidade (impacto na dinâmica do corpo) e a velocidade, enquanto derivada local da posição, permite calcular/prever o ponto seguinte no espaço.

Este processo está ilustrado na Tabela 1. Finalmente, é determinado, para cada amostra, o módulo da diferença entre a posição calculada e a posição medida experimentalmente: o resíduo. Recorrendo ao Solver, é possível determinar  $g$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  numericamente de forma a minimizar a soma dos resíduos quadrados, resolvendo assim o problema dos mínimos quadrados.

Há, no entanto, um detalhe importante a analisar. Os parâmetros  $g$  e  $b$  são ambos independentes da velocidade, pelo que não é possível numericamente obter um único valor ótimo para cada um recorrendo apenas aos resultados de uma única execução experimental. Utilizando as amostras de uma única execução, o Solver será apenas capaz de determinar conjuntamente o termo  $-g \sen(\theta) + b$ . Resultando assim num intervalo de valores possíveis para  $g$  e  $b$  que se ajustam igualmente bem aos dados recolhidos, levando o Solver a tender para certos valores finais de  $g$  e  $b$  consoante os valores que estes assumirem no início da otimização.

Esta não é uma questão puramente matemática. Este resultado mostra que analisando apenas uma trajetória de um carrinho numa calha é impossível distinguir um universo com gravidade menor e atrito de rolamento mais forte de um com gravidade elevada e atrito de rolamento mais fraco: a trajetória obtida para determinado ângulo seria igual em ambos os casos!

Deste modo, de forma a fazer sobressair a solução correta que corresponde à realidade física, é necessário otimizar os valores de  $g$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  para mais do que uma trajetória obtida com ângulos diferentes, já que o parâmetro correspondente ao atrito de rolamento é independente do ângulo mas o valor de  $g \sen(\theta)$  varia.

A otimização dos parâmetros para várias trajetórias é conseguida assim minimizando a soma dos totais dos resíduos quadrados de cada uma delas.

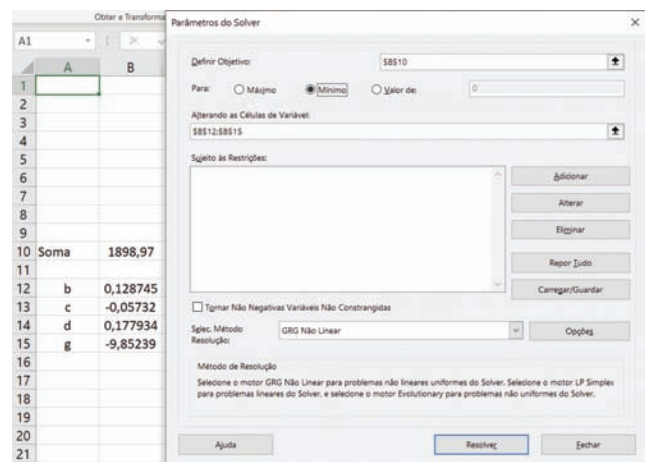


Figura 6 - Ajuste das co-variáveis pelo Solver do MSeExcel. É particularmente didático usar a opção “Mostrar resultado das iterações” disponível no menu de “Opções”.

## Resultados

Os valores ajustados pelo Solver (fig. 6) encontram-se na tabela 2 e todas as curvas experimentais e calculadas na figura 7. O valor obtido para aceleração gravítica, que se desvia apenas  $(9,8-9,7)/9,8 \sim 1\%$  do valor padrão ( $g_{\text{padrão}} = 9,8\text{ ms}^{-2}$ ) permite assegurar a validade do modelo aplicado.

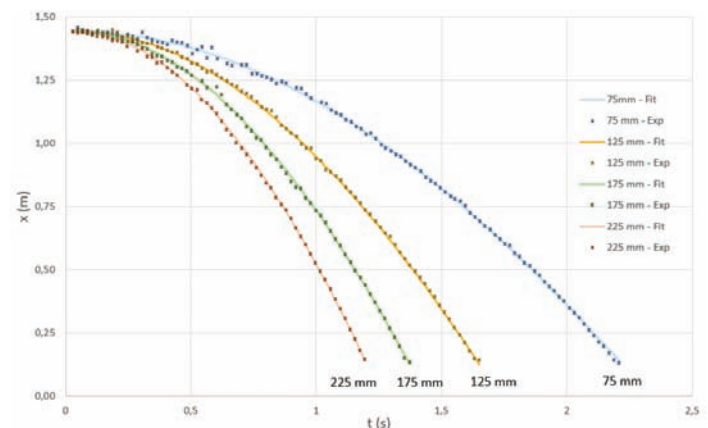


Figura 7 - Evolução temporal da posição do carrinho (curvas experimentais e ajustadas).

$g/(m\ s^{-2})$	$b/(m\ s^{-2})$	$c/(s^{-1})$	$d/(m^{-1})$
9,7	0,13	-0,05	0,15

Tab. 2 - Valores das co-variáveis resultantes do ajuste feito pelo Solver. O termo  $c$  resulta negativo porque, sendo a velocidade negativa, o produto é positivo. Deste modo a contribuição de todos os termos de atrito resulta positiva segundo os  $xx$ .

É possível também estudar a evolução das intensidades das diferentes componentes da força de atrito e as velocidades para as quais cada uma é mais ou menos relevante. Num carro normal, o atrito dinâmico começa a ser relevante somente quando se atingem ~7 m/s (ou 25 km/h). No entanto, para o carrinho da experiência, ele começa a ter mais importância que o atrito de rolamento a partir de ~1 m/s – análise retirada da figura 8. Tal deve-se à presença da pala que aumenta a travagem originada pela resistência aerodinâmica. É, portanto, interessante notar que a forma do carrinho tem importância na maneira como as diferentes componentes do atrito influenciam o movimento, experiência que poderia ser efetuada alterando a forma do pára-vento.

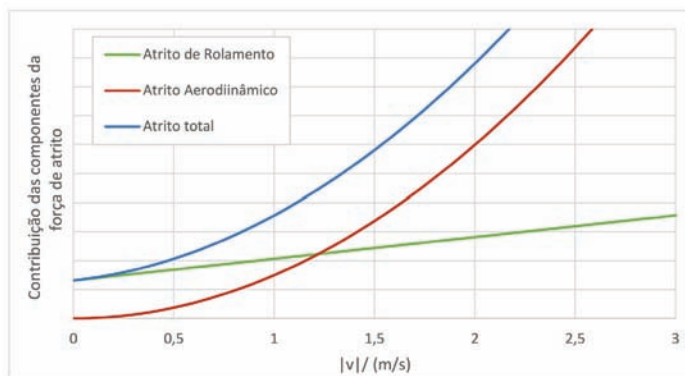


Figura 8 - Evolução das componentes da força de atrito em função da velocidade do movimento onde se vê que a partir de 1m/s a resistência aerodinâmica excede o atrito de rolamento.

### Coefficiente de Restituição da Mola

Como resultado extra é ainda possível determinar o coeficiente de restituição da mola [5] avaliando a variação da velocidade [6] ou - como neste caso - a variação da energia cinética do carrinho imediatamente antes ( $K_i$ ) e depois do impacto ( $K_f$ ):

$$e = \frac{v_f}{v_i} = \sqrt{\frac{K_f}{K_i}} \quad (6)$$

Determinando as alturas máximas antes e depois da colisão é possível determinar a variação de energia potencial nesses percursos. Na presença de atrito a energia cinética imediatamente antes (ou depois) da colisão pode ser calculada considerando a variação da energia potencial da descida que a antecede (ou subida que a sucede), subtraída (ou somada) ao trabalho que a força de atrito realizou no percurso. Isto é: antes da colisão:

$$K_i = \Delta E_p - \sum |f_a(x_i) \cdot \Delta x| \quad (7)$$

depois da colisão:

$$K_f = \Delta E_p + \sum |f_a(x_i) \cdot \Delta x| \quad (8)$$

O movimento entre dois máximos (ver figura 5) inclui uma colisão entre o carrinho e a mola pelo que é possível calcular, nesse troço, o respetivo coeficiente de restituição.

Os valores resultantes deste cálculo, para os primeiros três troços entre máximos, estão presentes na tabela 3. Pode

verificar-se que não se trata de um valor constante: os valores mais elevados dão-se para energias mais reduzidas como se pode verificar no gráfico da figura 9. Isto leva à conclusão de que a mola deforma plasticamente e funciona também como amortecedor para energias mais elevadas, ou seja, dissipa ela própria uma certa energia dependendo da energia do carro.

Altura, h/mm	$e_{1 \rightarrow 2}$	$e_{2 \rightarrow 3}$	$e_{3 \rightarrow 4}$
75	0,52	0,88	0,94
125	0,46	0,68	0,73
175	0,33	0,67	0,85
225	0,32	0,60	0,76

Tab. 3 - Coeficiente de restituição da mola para diferentes alturas de lançamento e nos vários troços do movimento.

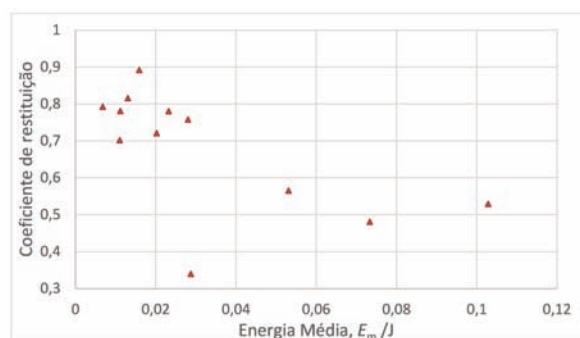


Figura 9 - Coeficiente de restituição em função da energia do carrinho: maiores velocidades de impacto levam a um maior amortecimento.

### Conclusões

Este estudo permite concluir que se obtêm melhores ajustes à experiência real ao considerar o atrito de rolamento e aerodinâmico no movimento dum grave com a forma considerada. O método numérico utilizado, incluindo a utilização do método de Euler, foi validado com a proximidade do valor calculado da aceleração gravítica em relação ao padrão e com a elevada qualidade do ajuste, sendo uma mais valia na compreensão do conceito da velocidade e aceleração instantâneas.

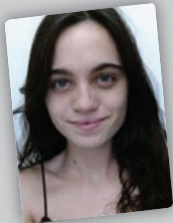
Retira-se ainda que a influência do atrito aerodinâmico é exacerbada com a inserção da pala no carrinho e que este valor dependerá, portanto, da forma da pala utilizada podendo esta ser variada. Deste modo, maiores alturas levam a uma melhor qualidade do ajuste fruto das elevadas velocidades atingidas

Por fim, foi possível calcular o coeficiente de restituição da mola para as várias alturas e seus “ressaltos” considerando os efeitos da força de atrito. Verificou-se que quanto maior a energia do carrinho antes do impacto, mais energia era perdida na colisão com a mola, mostrando que esta não se constitui como puramente elástica e que a dissipação e consequente amortecimento depende do seu curso.



## Bibliografia

- [1] Anderson, William Ballantyne (1914). *Physics for Technical Students: Mechanics and Heat*. New York, USA: McGraw Hill. p. 112-122. Consultado em 8 de Agosto de 2020
- [2] Tom Selton. "Stella Lux: the energy-positive family car". In *Europhysics News* Volume 48, Number 3, May-June 2017, pp. 13 - 16 DOI: <https://doi.org/10.1051/eprn/2017301>
- [3] Horácio Fernandes, SC Leal, João Paulo Leal (2010), "e-lab: o laboratório online", *Gazeta de Física*, vol. 33
- [4] Ernst Hairer, Syvert P. Nørsett, Gerhard Wanner (2008). *Springer Science & Business Media*. Springer Science & Business Media. p.36. Consultado em 20 de Agosto de 2020
- [5] Raymond A. Serway, Jr. Jewett, John W, "Physics for Scientists and Engineers", 2013
- [6] Weir, G.; McGavin, P. (8 May 2008). "The coefficient of restitution for the idealized impact of a spherical, nano-scale particle on a rigid plane". *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. **464** (2093): 1295-1307. Bibcode:2008RSPSA.464.1295W. doi:10.1098/rspa.2007.0289.



Carlota Cardoso. Aluna do 5.º ano do Mestrado em Engenharia Física Tecnológica no Instituto Superior Técnico. Foi elemento da direção do Núcleo de Física do IST em 2018/2019 e colaboradora em formações dadas pela SPF com apoio da REN.



Manuel Santos. Aluno de 5.º ano do Mestrado de Engenharia Aeroespacial no Instituto Superior Técnico.

Colaborador no projecto e-lab, tendo contribuído no desenvolvimento de experiências, na criação de conteúdo para a wiki do projecto e na manutenção dia-a-dia das experiências e da infraestrutura IT do laboratório. As suas principais áreas de interesse são a física experimental e a computação.



Mariana Silva. Aluna do 5.º ano de Engenharia Física Tecnológica no Instituto Superior Técnico. Tem vindo, desde criança, a descobrir o seu gosto por Física e Engenharia em geral, sendo a Física Experimental a sua área de preferência.

Nunca está parada e foi nos últimos dois anos membro do Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico, inicialmente como Diretora do Circo da Física, secção que se dedica à divulgação científica entre toda a população, e mais recentemente como Vice-presidente do núcleo.



Horácio Fernandes, é professor associado do departamento de física do IST e investigador no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear onde coordena a atividade do tokamak ISTTOK. Em 1999 criou o e-lab, laboratório remoto do IST, com acesso livre. Mantém igualmente uma regular participação em divulgação científica. Foi

membro do "Technical Advisor Panel" da agência europeia para o ITER (F4E) e é investigador coordenador duma atividade de pesquisa da IAEA.

# Pensar a Ciência no Ensino Secundário, no Colégio Valsassina

Andreia Luz<sup>1</sup>, Isabel Henriques<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Docente de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade

<sup>2</sup> Docente de Física e Química A do 11.º ano de escolaridade

Colégio Valsassina, Lisboa

Ensinar nos dias de hoje implica romper com os princípios metodológicos reproduzidos, durante décadas, nas escolas portuguesas. É consensual que não se pode continuar a ensinar do mesmo modo que se aprendeu.

Num mundo cada vez mais globalizado e em rápida mudança, urge formar cidadãos autónomos, críticos, responsáveis, criativos e ativos, capazes de atuar face aos problemas do mundo atual e em constante mudança.

Com efeito, desenvolver nos jovens de hoje um perfil de competências que lhes possibilite continuar a aprender ao longo da vida e, concomitantemente, dar resposta aos desafios da era da modernidade líquida, implica romper com certos paradigmas, centrados no conhecimento do professor e dos manuais escolares em detrimento dos saberes prévios dos estudantes.

Sendo inquestionável a importância da abordagem de conceitos científicos, é necessário criar práticas desafiantes e motivadoras que incrementem os níveis de literacia científica dos jovens de hoje.

É nesta perspetiva que será partilhado um exemplo de práticas interdisciplinares, desenvolvido por alunos do 11.º ano de escolaridade do Colégio Valsassina, no âmbito das disciplinas de Biologia e Geologia e Física e Química A. A realização deste desafio teve como ponto de partida a visualização, por todo o grupo-turma, do filme “Radioativo”, após a contextualização do tema nas duas disciplinas. Seguiu-se o trabalho de reflexão sobre algumas das interrogações que o filme coloca, principalmente sobre a construção do conhecimento ao longo do tempo, a relação ciência-tecnologia como parte da história da humanidade e o papel da Mulher na Ciência, entre outras questões que o filme nos propõe.

Procurou-se utilizar este recurso pedagógico, o filme, no sentido de estimular a curiosidade à investigação, promovendo o senso crítico sobre a realidade retratada, comparando-a com a atualidade. Assim, vão ser partilhados alguns textos escritos por estes alunos e que talvez, reflitam, a alma de muitos dos alunos portugueses do ensino secundário.

No decorrer do trabalho de investigação, os alunos puderam ouvir e interpelar a Professora Maria Conceição Abreu e Silva, presidente da Sociedade Portuguesa de Física, que amavelmente se deslocou à escola (Figura 1A e B). Este momento foi muito importante ao permitir a partilha de alguns momentos de vida da Cientista e Mulher, e, simultaneamente, pela possibilidade de esclarecimento de algumas questões sobre o tema “radioatividade”.



Figura 1A - Alunos da turma do 11º1B durante a palestra com a Professora Conceição Abreu.

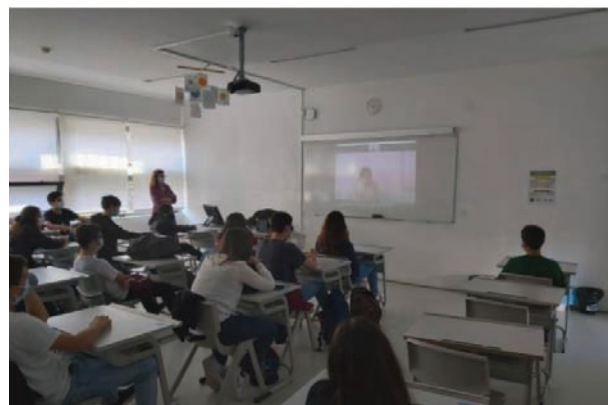


Figura 1B - Alunos da turma do 11º1A em videoconferência com a Professora Conceição Abreu.

**Um olhar sobre o filme:** “O filme “Radioativo” (figura 2) conta a história de uma notável mulher, Marie Curie, que ao longo da sua vida trabalhou de forma cooperativa com os seus pares, o que foi determinante para o avanço do conhecimento. A dupla Marie e Pierre Curie foram responsáveis pela descoberta da radioatividade. Contudo, a realizadora Marjane Satrapi decidiu dar pouco destaque aos feitos destes, apressando a sua maioria, não dando o destaque merecido.(...) Não tendo estes aspetos em conta, estas cenas foram bem escritas e dirigidas demonstrando-nos da melhor forma possível os problemas e as conquistas da vida de Marie Curie. (...) Em relação aos atores, é de notar a atuação de Rosamund Pike (Marie Curie).

A atriz encarnou a sua personagem, porém, pensa-se que esta caracterizou-a de forma demasiado energética. Quanto às personagens masculinas interpretados por Sam Riley (Pierre Curie) e Aneurin Barnard (Paul Langevin) tiveram também uma performance admirável.

Com todos os argumentos referidos acima, esta longa-metragem tinha potencial para algo muito bom, todavia ficou-se pelo mediano pelo facto da realizadora ter apressado a apresentação das conquistas da cientista e também da enunciação de cenas menos relevantes. Ainda assim é de parabenizar a representação dos atores e a escrita de Marjane Satrapi”. (Autores: António Gameiro e Manuel Nabais).



Figura 2 - Cartaz de apresentação do filme “Radiotaivo”.

**Sobre o papel da Mulher na Ciência:** “Ao longo dos tempos, o papel da Mulher foi fundamental para a evolução da ciência e as suas contribuições científicas manifestaram-se em diversas áreas do conhecimento. (...) Entre todas as 962 pessoas laureadas com um Prémio Nobel desde a sua criação, apenas 57 mulheres foram premiadas, o que equivale a cerca de 6 % dos prémios.

Marie Curie é uma das mulheres mais memoráveis na história da ciência, pois não só foi a primeira mulher laureada com um Prémio Nobel como também a primeira pessoa a receber duas vezes o mesmo (um da Física e outro da Química). (...) Muitas mulheres foram pouco reconhecidas pelos seus trabalhos, sendo antes valorizados os colegas ou maridos, o que mostra uma grande discriminação por parte da comunidade científica. Rosalind Franklin contribuiu crucialmente para a descoberta da estrutura de dupla hélice do ADN. Contudo, a sua contribuição não foi reconhecida. (...) Katherine Johnson, matemática afro-americana, estudou na Universidade de West Virginia, tendo sido a primeira afro-americana a conseguir uma pós-graduação. Durante décadas, Katherine Johnson, esteve entre as pioneiras pouco reconhecidas da NASA, devido à discriminação, não só de mulheres mas também de afro-americanos. (...).

A vida da mulher era dedicada à família e não à carreira, para a qual os apoios sociais disponibilizados às mulheres eram insuficientes para que estas pudessem dedicar-se ao seu trabalho/estudos. Lise Meitner foi uma física austríaca que, devido às restrições educacionais impostas às mulheres, só entrou na universidade com 23 anos. Colaborando com outros investigadores ao longo da vida, como Hanh e Fritz Strassman, Meitner alcançou importantes resultados no campo da física nuclear e radioatividade. Com a cooperação do seu sobrinho Otto Robert Frisch, Meitner explicou e denominou a fusão nuclear utilizando o modelo de Bohr.

O exílio de Meitner, após a separação do grupo, levou à falha na avaliação do seu trabalho por parte do comité do Prémio Nobel, nunca tendo sido laureada com o mesmo.

Concluindo, ao longo da história, diversas mulheres apresentaram contributos fundamentais para o avanço científico nas mais variadas áreas, apesar do seu trabalho não ter sido reconhecido, devido a fatores como a discriminação racial e o sexismo, estas devem ser igualmente lembradas e honradas pela sua dedicação à ciência.” (Autoras: Rita Fragoso e Lara Drago).

**A importância do trabalho colaborativo em Ciência:**

“Cada pessoa deve trabalhar para o seu aperfeiçoamento e, ao mesmo tempo, participar da responsabilidade coletiva por toda a humanidade” – palavras de Marie Curie que, por influência de Pierre Curie, compreendeu a importância do trabalho colaborativo na Ciência. Madame Curie, com a vontade de mudar a humanidade, veio a aperceber-se que, sozinha, não o conseguiria concretizar. Assim, em conjunto, com Pierre Curie e Antoine Becquerel, foi laureada com o Prémio Nobel da Física, em 1903, pelas suas descobertas no ramo da radioatividade. Para além disso, embora Marie Curie tenha ganho o Prémio Nobel da Química sozinha, em 1911, pela descoberta dos elementos químicos rádio e polónio, esta não o teria conseguido realizar sem a colaboração do seu



marido Pierre Curie, através das suas capacidades técnicas e recursos tecnológicos, como o acesso a diferentes instrumentos, disponíveis no seu laboratório. No filme “Radioativo” testemunhamos o momento em que Pierre alerta Marie Curie para o facto de que sozinha não teria a capacidade de alcançar os seus objetivos, necessitando da ajuda que ele lhe podia oferecer.

Desde 1970, só houve quatro vencedores do Prémio Nobel que, sozinhos, foram galardoados (porém, é importante notar que, por detrás destes laureados, houve sempre uma equipa que contribuiu ao longo do tempo); (...). A professora Maria Conceição Abreu e Silva, afirma que “Os elementos de uma equipa devem complementar-se uns aos outros. Assim, nas experiências de física nuclear efetuadas em grandes aceleradores de partículas e com enormes e complexos detetores, como existe na Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), as equipas chegam a ter mais de mil pessoas entre físicos, engenheiros, informáticos, em que aqui são muito importantes as relações entre líderes das equipas que, em geral, são plurinacionais e com membros das equipas de diferentes nacionalidades. Não é um exclusivo do CERN, a Agência Espacial Europeia (ESA), gestão de tsunamis, o Observatório Europeu do Sul (ESO) e outros têm a mesma complexidade de funcionamento.”. A comunicação entre equipas é então essencial para a realização de trabalhos de grande complexidade.

Nas últimas décadas, a evolução da comunicação tem sido cada vez mais notória. (...). No início do século XX, o meio de comunicação intercontinental mais utilizado eram as cartas, o que limitava o progresso científico e tecnológico, (...), dificultando a partilha de conhecimento e de trabalho entre cientistas. Pelo contrário, hoje em dia, estamos perante uma realidade mais promissora, visto que esta comunicação se tornou muito mais facilitada (...).

A importância do trabalho colaborativo torna-se evidente na ocorrência de problemas a nível mundial. Atualmente, enfrentamos dois grandes desafios globais: a pandemia Covid-19 provocada pelo vírus SARS-CoV-2 e a crise climática. (...)

No ramo da Ciência, os benefícios do trabalho colaborativo são evidentes; retomando o filme “Radioativo” em que Becquerel, Marie e Pierre Curie conseguem marcar a história da ciência e da humanidade ao descobrir dois novos elementos químicos e os efeitos da radioatividade, algo que só foi possível com o trabalho que desenvolveram em conjunto. Com isto, podemos dizer que o progresso da humanidade está dependente do trabalho em equipa, citando Charles Darwin: “Na história da humanidade, aqueles que aprenderam a colaborar e improvisar foram os que prevaleceram”. (Autoras: Joana Monteiro e Margarida Leite).

**O tema do filme sugere reflexões; a fissão nuclear e a bomba atómica:** “Até ao início da II Guerra Mundial, sucederam-se algumas descobertas científicas que permitiram acumular conhecimento sobre a natureza dos núcleos atómicos, mas foi na década de trinta, que se percebeu o processo de fissão nuclear e como o mesmo poderia ser utilizado no fabrico da bomba atómica. Em 1939, ano do início da II Grande Guerra, os físicos Lise Meitner e Otto Frisch descobriram que ao disparar um neutrão contra uma partícula de urânio, este era absorvido

pelo núcleo, o que causava instabilidade nuclear que levava à desintegração da partícula libertando-se uma enorme quantidade de energia. (...).

Os físicos Otto Hahn e Fritz Strassmann, ainda em 1939, concluíram que neste processo não só se libertava energia, como também neutrões que podiam provocar o processo de cisão em átomos vizinhos. Isto daria origem a uma reação em cadeia com várias partículas de urânio a sofrerem fissão nuclear ao mesmo tempo o que levaria a uma libertação de energia em grande escala. (...). Com estas descobertas e o clima de guerra iminente, cientistas e governos começaram a pensar nas utilizações militares deste processo.

Em 1940, Otto Frisch e Rudolf Peierls falaram pela primeira vez na utilização da energia nuclear para a construção de uma bomba nuclear (...).

Após investigação, em 1941, os EUA avançaram com a produção desta bomba. A 6 de agosto de 1945, foi lançada a primeira bomba atómica da história, na cidade japonesa de Hiroshima, depois do Japão ter recusado render-se. (...). Mesmo com o final da guerra, os testes nucleares continuaram a ser realizados e ainda hoje o armamento nuclear está a ser desenvolvido em alguns países (...).

Os efeitos na saúde dependem da proximidade à explosão e quantidade de radiação absorvida pelo corpo. Estão descritas inúmeras consequências da exposição à radiação, tais como, queimaduras no corpo, cegueira ou queimadura da retina causadas pela intensidade da luz emitida, (...) problemas no ADN e ARN das células sobreviventes.

A explosão de uma bomba atómica contamina solo e recursos aquíferos, causa a degradação dos habitats, extinção de espécies de animais, destruição das florestas e devastação de recursos naturais. (...).” (Autoras: Madalena Pastilha e Vera Faria).

Este trabalho permitiu o desenvolvimento de competências importantes para a saída do Ensino Secundário, de acordo com o Perfil do Aluno, Século XXI. Simultaneamente, tornou possível que duas disciplinas de áreas científicas diferentes trabalhassem os mesmos temas, ainda que com olhares diferentes. Tal fortaleceu, em todos os participantes, a importância do trabalho colaborativo em qualquer momento do processo de aprendizagem. Assim, os alunos ganharam maior consciência de que a Ciência é uma força cultural no mundo moderno que pode influenciar o modo como as pessoas pensam e agem.

Agradecemos a todos os alunos da turma 11.º 1B o terem aceitado este desafio com a esperança que o mesmo possa contribuir para reforçar a ideia de que a Ciência é uma força cultural no mundo moderno que pode influenciar o modo como as pessoas pensam e agem.



## Bibliografia

1. <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/fissao-nuclear.htm> (consultado a 20/11/2020)
2. [https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol\\_2\\_num\\_4\\_108\\_art\\_fissaoNuclear.pdf](https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_2_num_4_108_art_fissaoNuclear.pdf) (consulta do a 20/11/2020)
3. <https://pt.energia-nuclear.net/que-e-a-energia-nuclear/fissao-nuclear> (consultado a 29/11/2020)
4. <https://web.stanford.edu/class/history5n/FPmemo.pdf> (consultado a 27/11/2020)
5. <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/bomba-atmica.htm> (consultado a 21/11/2020)
6. <https://observador.pt/especiais/da-descoberta-do-uranio-as-bombas-atmicas-a-historia-da-era-nuclear/> (consultado a 20/11/2020)
7. <https://www.atomicarchive.com/science/effects/index.html> (consultado a 29/11/2020)
8. <https://www.abrilabril.pt/internacional/consequencias-ambientais-da-guerra> (consultado a 29/11/2020)
9. <https://www.nobelprize.org/prizes/facts/nobel-prize-facts/> (consultado a 21/11/2020)
10. <http://www.microbiologia.ufrj.br/portal/index.php/pt/destaques/novidades-sobre-a-micro/429-mulheres-na-ciencia> (consultado a 21/11/2020)
11. <http://www.explicatorium.com/biografias/lise-meitner.html> (consultado a 21/11/2020)
12. <https://www.natgeo.pt/ciencia/2020/03/recordar-katherine-johnson-notavel-matematica-danasa> (consultado a 21/11/2020)
13. <https://super.abril.com.br/historia/o-casal-curie/> (consultado a 27/11/2020)
14. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/summary/> (consultado a 27/11/2020)
15. [https://pt.wikipedia.org/wiki/Laureados\\_com\\_o\\_Nobel\\_de\\_F%C3%ADsica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Laureados_com_o_Nobel_de_F%C3%ADsica) (consultado a 30/11/2020)
16. [https://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dio\\_\(telecomunica%C3%A7%C3%B5es\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dio_(telecomunica%C3%A7%C3%B5es)) (consultado a 30/11/2020)
17. <https://www.publico.pt/2007/09/16/jornal/ozono-o-acordo-ambiental-que-salvou-o-mundo-229960> (consultado a 30/11/2020)

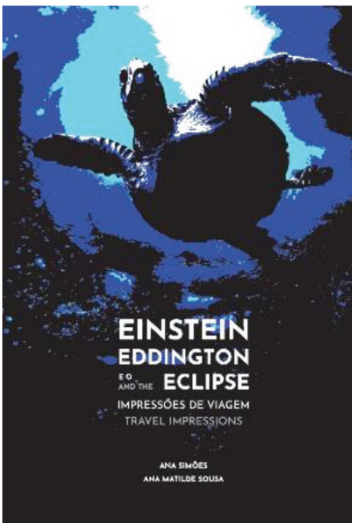


Andreia Luz. Professora de Ciências Naturais e Biologia, com experiência no Ensino Público e Privado, ao nível do 3.º Ciclo e Ensino Secundário. Atualmente está envolvida na Coordenação de Projetos, nomeadamente o Eco-Escolas e Escola Azul, no Colégio Valsassina.



Isabel Henriques. Professora do Grupo de Física e Química do Colégio Valsassina, Lisboa.

## Livros



### «Einstein, Eddington e o Eclipse- Impressões de Viagem»

por Ana Simões e Ana Matilde Sousa, Associação Chili com Carne, 2019, 245 p.

ISBN 978-989-8363-41-1

José Braga

Ana Simões, professora Catedrática de História da Ciência da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, escreve este ensaio no contexto das celebrações do centenário do eclipse solar de 1919 que conduziu à organização da exposição «E3, Einstein, Eddington e o Eclipse» no Museu de História Natural e da Ciência em Lisboa. Ana Matilde Sousa é autora de banda desenhada e académica em Lisboa e usa excertos de cartas dos intervenientes para uma narrativa gráfica experimental e impressionista de cerca de 130 páginas. Já colaborou com historiadores da Ciência em 2014 no livro «As Aventuras de Garcia de Orta». A edição é bilingue, em português e inglês aumentando o número de potenciais leitores.

Este livro discute os contornos científicos, políticos, sociais e religiosos que levaram à execução das duas expedições científicas que, no dia 29 de maio de 1919, observaram o eclipse solar na cidade de Sobral (estado do Ceará, Brasil), sob comando de Andrew Crommelin (1865-1939) e Charles Rundle Davidson (1875-1970) astrónomos do Observatório de Greenwich; e na ilha do Príncipe, sob a batuta de Arthur Stanley Eddington (1882-1944), diretor do Observatório de Cambridge e o técnico de relojoaria Edwin Turner Cottingham (1869-1940). Eddington parece

ter tido conhecimento da previsão do encurvamento feito pela Teoria de Einstein no Rio de Janeiro através dos contactos havidos com Charles Dillon Perrine (1867-1951) em 1912 e publica sobre o tema ainda em 1918.

As expedições deveram-se à visão de Frank Watson Dyson (1868-1939), Astrónomo Real, que apadrinhou a iniciativa mesmo estando em risco as teorias de Newton, expoente da Ciência britânica, ilustrando o ideal de internacionalismo científico. Pretendiam verificar as previsões astronómicas da Teoria da Relatividade Geral de suíço-alemão Albert Einstein (1879-1955) que previa o encurvamento dos raios luminosos ao passarem perto de grandes massas gravitacionais. Tinham de tirar fotografias ao fundo de estrelas brilhantes durante o eclipse. A comparação de fotografias com chapas tiradas meses mais tarde quando o Sol já não estava entre elas e o observador e já não desviava os raios luminosos que emitem permitia medir o desvio entre as posições reais e aparentes das estrelas.

A escolha dos locais de observação liga-se à possibilidade de observação na totalidade do fenómeno. A ilha do Príncipe, então colónia portuguesa, havia-se notabilizado por uma discussão política sobre o «cacau escravo». Em fevereiro de 1917, os britânicos já tinham contactado a Sociedade de Geografia de Lisboa, solicitando informações sobre a ilha, sendo que o subdiretor do Observatório Astronómico de Lisboa alertara para as suas condições favoráveis.

Em novembro de 1917 toma-se a decisão de organizar as duas expedições. Com o fim da Guerra reuniram-se todas as condições para as expedições. Eddington trocou correspondência com os responsáveis portugueses relativa aos aspetos de ordem logística. Os portugueses aproveitavam para reclamar protagonismo científico para Portugal e fazer uma melhoria da imagem do império colonial.

As opções religiosas de Eddington nortearam a planificação da expedição. Sendo Quaker, e, portanto, pacifista, o astrónomo inglês viu-se isento do serviço militar por liderar uma das expedições. No Sobral, foi motivo de satisfação dos média locais, os astrónomos britânicos serem católicos.

No ensaio dá-se ainda conta do desenrolar das viagens. Os britânicos visitaram o Observatório Astronómico de Lisboa a 12 de março, notando uma cidade pacífica. As expedições dividiram-se na Madeira (aportaram a 14 de março), onde Eddington apreciou as bananas locais. Partiram a 9 de abril para o Príncipe, sendo a viagem notada pela ausência de racionamentos. Depois de passarem por Cabo Verde, chegaram ao destino a 23 de abril. Os expedicionários foram acolhidos pelos notáveis da ilha ficando bem impressionados apesar de poucos dos anfitriões falarem inglês.

Também no Brasil, os expedicionários beneficiaram de facilidades como a isenção de taxas alfandegárias e da disponibilização de um automóvel. Foram acolhidos pelo presidente da Academia Brasileira de Ciências que apostava no reconhecimento da importância da Ciência para a sociedade, independentemente das suas aplicações e na consolidação e promoção da comunidade científica brasileira, o que se verifica pela cobertura jornalística das atividades associadas à observação do eclipse.

Através de amigos, Einstein deve ter recebido informações das observações pouco depois do eclipse. O anúncio público foi feito a 6 de novembro de 1919, mas foram necessárias novas confirmações para consolidar os resultados. O fruto destas expedições foi o primeiro grande passo na confirmação da previsão do encurvamento de Einstein e marcou o início do processo de acei-

tação da Teoria da Relatividade Geral.

O livro chama a atenção para relações entre astronomia, política, religião e impérios coloniais, o recurso a correspondências (também privadas) como fontes históricas e a complexidade do processo científico. Combate o esquecimento a que a ciência lusófona tem votado este eclipse e o seu papel na comprovação da Teoria da Relatividade e destaca a importância das conceções pessoais dos cientistas na adoção de teorias científicas, além de ser um belo encontro entre a História da Ciência e a Arte. Por pretender chegar a um público mais jovem e elevar a cultura científica de estudantes deveria ser incluído no Plano Nacional de Leitura.



José Braga, é membro do Centro Interuniversitário de História da Ciência e Tecnologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e professor do ensino secundário”.

# É eletricidade ou magnetismo?

Constança Providência

CfisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

## Material

- dois magnetes
- bússola
- três fios elétricos de preferência com crocodilos nas pontas
- uma fita de papel de alumínio de 2 cm por 20 cm
- lâmpada num suporte
- pilha de 9 V
- balão
- bocadinhos de papel leve

## Força elétrica e força magnética

Em 2020, celebrámos os duzentos anos da descoberta da existência de uma relação entre eletricidade e magnetismo pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted.

Foi uma importante descoberta que levou mais tarde a unificar a força elétrica e a força magnética numa mesma força: a força eletromagnética. Iniciou-se a formulação de uma teoria que foi sendo construída até ao presente e que descreve as

forças entre as partículas sub-atómicas que formam a matéria. É para conhecermos melhor essas forças que construímos máquinas como o LHC (*Large Hadron Collider* - Grande Colisionador de Hadrões) no CERN, o Centro Europeu para a Investigação Nuclear, e que reúne vários milhares de físicos, engenheiros e técnicos (figura 1). Estas equipas trabalham

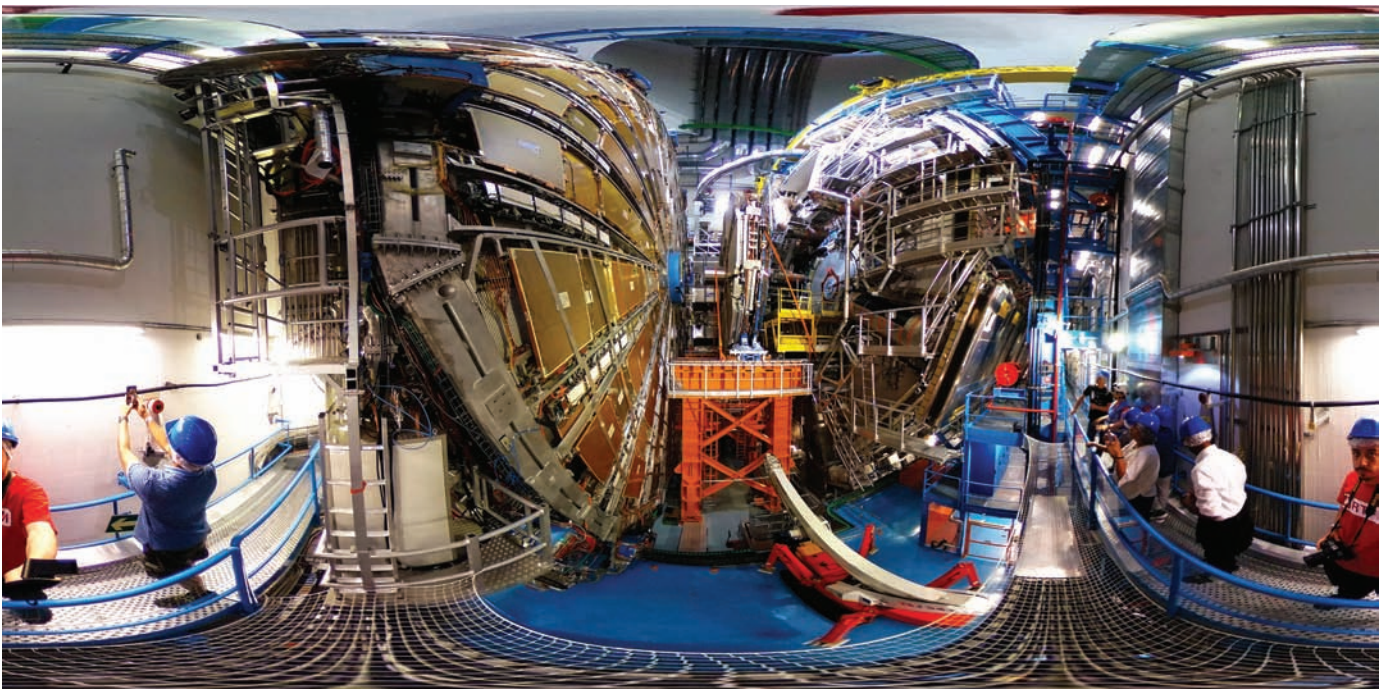


Figura 1 - Detetor ATLAS no Grande Colisionador de Hadrões no CERN na Suíça - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CERN\\_ATLAS\\_Detector.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CERN_ATLAS_Detector.jpg)  
Créditos: SimonWaldherr



em conjunto para descobrir os segredos da natureza, olhando para o muito, muito, muito pequeno. E quanto mais pequenas são as partículas que queremos ver, maior tem de ser o aparelho que usamos: parece complicado?

Voltemos ao ponto de partida e vamos, então, verificar o que Oersted observou.

Experimenta aproximar um ímã de uma bússola. O que sucede? O ponteiro da bússola mexe-se! O ponteiro da bússola é um ímã e, por isso, comporta-se deste modo. Se colocares um ímã em cima da mesa e aproximares um segundo ímã deste, verificas que o ímã na mesa se desloca (figuras 2a e 2b). E se há movimento é porque existe uma força a atuar no ímã. A esta força chamamos força magnética. Como verificas atua mesmo sem haver contacto. O ponteiro da bússola permite-nos determinar para onde fica o Norte porque, devido à sua estrutura, a Terra funciona também como um enorme ímã, que exerce uma força magnética sobre a agulha da bússola e a orienta (figuras 2c e 2d).

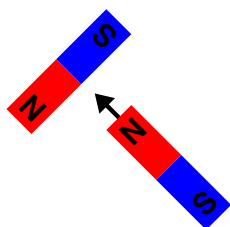


Figura 2a)

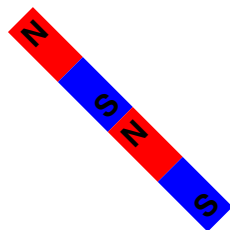


Figura 2b)

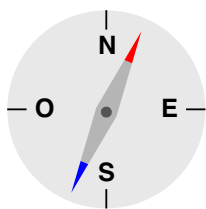


Figura 2c)

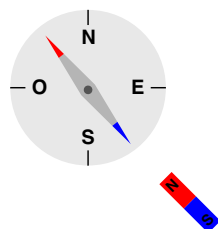


Figura 2d)

Figura 2 - Força entre dois ímãs: a) ímãs aproximam-se; b) ímãs atraem-se e deslocam-se ficando orientados conforme indicado. Efeito dum ímã sobre uma bússola: c) Bússola; d) Ponteiro da bússola desloca-se quando o ímã se aproxima.

Vamos agora fazer outra experiência: pega num balão cheio e esfrega-o bem na tua camisola. Aproxima-o de pedacinhos de papel colocados em cima da mesa. O que verificas? Os papéis saltam e podem mesmo colar-se ao balão (fig. 3). Mas se os papéis se movem é porque uma força atua sobre eles: a esta força chamamos força elétrica. Ao esfregares o balão na tua camisola, ele passa a exercer uma força elétrica sobre outros objetos. Vamos perceber porquê! Geralmente todos os objetos têm tantas cargas positivas como cargas negativas. Dizemos que estão neutros. Quando esfregas o balão na camisola algumas das cargas negativas do balão passam para a camisola e ficas com o balão “carregado” por ter mais cargas positivas do que negativas. Ao aproximares o

balão carregado do bocadinho de papel, ele consegue separar as cargas negativas das positivas do papel, “puxa” para si as cargas negativas e, assim, atrai o bocadinho de papel.

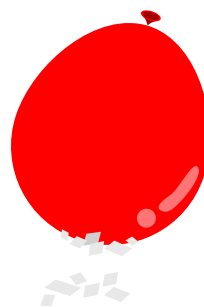


Figura 3 - Balão carregado atrai os bocadinhos de papel.

Estas duas experiências simples mostram o efeito de duas forças, presentes na natureza, que atuam à distância, isto é, sem ser necessário o contacto entre os objetos: a força magnética e a força elétrica. A coisa bonita foi a descoberta de que ambas estas forças são manifestações diferentes de uma mesma força a que chamamos força eletromagnética.

E, como se chegou a esta conclusão? Tudo começou assim: quando constróis um circuito fechado com uma pilha, fios e uma lâmpada, a lâmpada acende-se. Há uma corrente elétrica no circuito que faz a lâmpada acender. Experimenta: liga uma pilha com um fio a uma lâmpada, pega num segundo fio e liga a outra extremidade da lâmpada ao segundo polo da pilha (fig. 4a). Estabelece-se uma corrente elétrica que não é mais do que cargas elétricas em movimento. A pilha faz com que elas se desloquem no fio. O que Oersted descobriu foi que a corrente elétrica que passa pelo fio também faz o ponteiro da bússola deslocar-se! Mas isso significa que a corrente elétrica é capaz de produzir o mesmo efeito que se consegue com um ímã! Dá origem a uma força magnética! Vais descobrir que a eletricidade e o magnetismo são apenas duas manifestações de uma mesma força!

Faz a seguinte experiência. Monta um circuito com três fios, uma tira de alumínio, uma lâmpada e uma pilha. Liga a pilha, a lâmpada e a tira de papel de alumínio entre si com os três fios, e liga o terceiro fio à pilha só depois de teres ligado tudo. O que acontece à lâmpada quando fechas o circuito ligando o fio à pilha? A lâmpada acende-se. A tira de alumínio deixa passar a corrente elétrica tal como o fio.

Agora tira a lâmpada do circuito. Liga a pilha à tira de alumínio com um fio. Liga o segundo fio à outra extremidade da tira de alumínio (fig. 4b). Para já, não ligués o segundo fio à pilha. Debaixo da tira de alumínio coloca a bússola (fig. 4c). Agora num movimento rápido toca com a extremidade solta do segundo fio elétrico no polo livre da pilha. O que acontece à agulha da bússola?

Estás a observar o mesmo que Oersted observou: a agulha move-se, do mesmo modo que se move quando dela aproximamos um ímã! A corrente elétrica está a funcionar como se fosse um ímã. Cria uma força magnética. É muito importante que só toques momentaneamente com o fio elétrico no segundo polo da pilha para não descarregares rapidamente a pilha, ou mesmo causares uma pequena explosão. Na verdade, para conseguires ver o efeito estás a criar um curto circuito que pode aquecer muito a pilha.

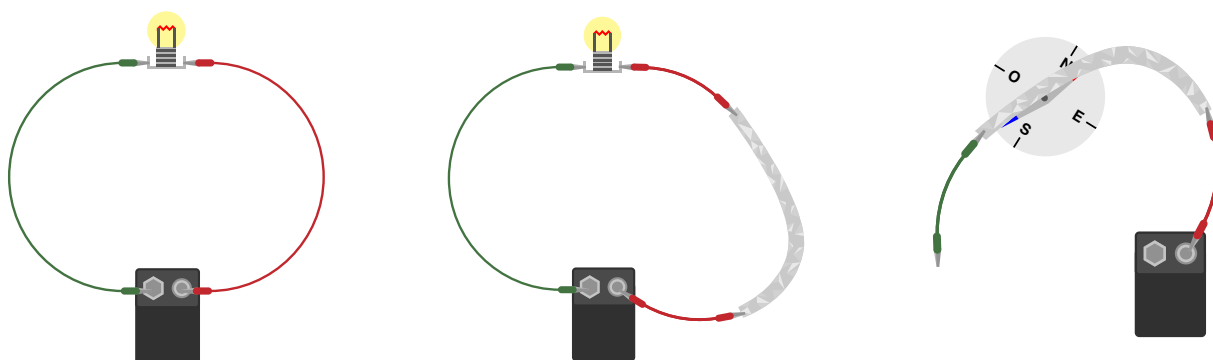


Figura 4 - 1) Circuito com lâmpada e pilha 2) Circuito com lâmpada, pilha e fita de alumínio; 3) Circuito aberto com pilha e fita de alumínio sobre bússola

As experiências de Oersted foram continuadas por muitos físicos notáveis, como Ampère, Faraday e Maxwell, entre outros. A eles se devem os trabalhos de unificação da força elétrica com a força magnética – a força eletromagnética. Daí vêm também os primeiros passos de muitas tecnologias e equipamentos que mudaram a vida das pessoas.

Mas tudo isto começou em Copenhaga, numa tarde da primavera de 1820, em que o professor Oersted, rodeado pelos seus alunos, observou os movimentos da agulha magnética e pôs-se a pensar na razão de ser das coisas...

#### **Agradecimentos:**

Agradeço à Helena Alberto o material que me emprestou, à Lucília Brito a leitura atenta e as sugestões que tornaram o texto mais claro e completo, e à Rita Wolters os lindos desenhos que ilustram esta proposta de atividades.

# notícias

## Física 2020, 22.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física e 30.<sup>o</sup> Encontro Ibérico para o Ensino da Física

A 22.<sup>a</sup> Conferência Nacional de Física e o 30.<sup>o</sup> Encontro Ibérico para o Ensino da Física, FISICA 2020, tiveram lugar entre os dias 2 e 5 de setembro de 2020, no Instituto de Educação da Universidade de Lisboa e, simultaneamente, de forma remota. As plenárias e as contribuições orais foram apresentadas presencialmente e emitidas online, enquanto que os posters foram apresentados via internet. A Conferência Nacional de Física e o Encontro Ibérico extravasaram o contexto nacional e o espaço ibérico, tendo sido também transmitidas para os países de língua oficial portuguesa, através das ferramentas remotas disponibilizadas.

A FISICA 2020 foi organizada pela Delegação Sul e Ilhas da Sociedade Portuguesa de Física (SPF), com colaboração da Direção, Divisão de Educação e do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. A Comissão Organizadora contou com membros do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa e da Real Sociedade Espanhola de Física. Contou ainda com membros das Escolas Secundárias de Carnaxide, de Sebastião e Silva de Oeiras e de Carlos Amarante - Braga, bem como do Colégio Luso-Francês do Porto e do Agrupamento de Escolas de Alcobça.

Os temas estruturantes do programa foram os prémios Nobel da Física de 2028 e 2019, nomeadamente os exoplanetas, os lasers intensos e as aplicações de lasers em sistemas biológicos; os novos desafios da Física nas áreas do Espaço, nos Oceanos, na Física de Partículas e na Medicina e os novos desafios no Ensino da Física. Para cada um destes temas foram convidados investigadores com provas dadas nas áreas respetivas. Do programa constaram ainda 11 oficinas para professores dos ensinos básico e secundário e um seminário para o público em geral, subordinado ao tema “A Geofísica e a exploração espacial”. Estes eventos decorreram no primeiro dia da conferência.

Na sessão de abertura, a Presidente da SPF agradeceu o esforço de todos aqueles que tornaram possível a realização da FISICA2020 num contexto difícil, em virtude das medidas de contenção tomadas no contexto da pandemia da COVID19. Na sua nota de abertura chamou a atenção para o progressivo envelhecimento do corpo docente de Física em todos os graus de Ensino,

em particular no Ensino Básico e Secundário, e referiu a diminuição acentuada da formação de novos professores, que está a ocorrer a uma taxa bastante mais baixa (~20 novos professores/ano) do que o número de reformas por ano (~200 professores a reformar-se/ano). Saliu também a colaboração que tem vindo a ser desenvolvida com os países de língua oficial portuguesa, nomeadamente com a criação da União dos Físicos de Língua Portuguesa, a colaboração estreita com os PALOP e a colaboração com a Federação Ibero-Americana da Física. Saliu ainda o estreitamento de laços que tem vindo a desenvolver-se de forma positiva com a Physis – Associação Nacional de Estudantes de Física. A presidente da Physis, a estudante de Engenharia Física Joana Leiria, foi convidada e esteve presente durante a conferência, intervindo em duas sessões paralelas e de pósteres.



Após a sessão de abertura, a FISICA 2020 começou com uma sessão plenária, com o título “Um Nobel à procura de outras terras”, dedicada ao prémio Nobel da Física de 2019. Nela, Nuno Santos da Universidade do Porto apresentou as diferentes técnicas de deteção utilizadas na procura de planetas extrassolares e o progressivo aumento da sua precisão ao longo dos anos. Fez a resenha histórica dos acontecimentos e dos grupos de investigação que levaram à descoberta dos exoplanetas e o contributo específico de Michael Mayor, que levaram à atribuição do prémio Nobel. Chamou a atenção, em particular, para a surpresa inicial da descoberta de planetas do tipo Júpiter a executar órbitas tão próximas dos seus sois, cuja fundamentação teórica foi prontamente desenvolvida na sequência da descoberta. Falou ainda das diferentes classes de planetas já desco-



bertos e das suas propriedades, bem como as condições para a deteção de planetas tipo a Terra em órbita em torno de outros sois. Para terminar referiu as missões que estão a desenvolver-se para o estudo dos exoplanetas, bem como o contributo e participação de equipas portuguesas nesse esforço.

No final da manhã decorreram ainda as plenárias “Preparar o futuro: a Estratégia Europeia na Física de Partículas”, por João Varela da Universidade de Lisboa, e “Potenciais catastróficos”, por Manuel Fiolhais da Universidade de Coimbra e Rogério Nogueira da Escola Secundária Eng. Acácio Calazans Duarte da Marinha Grande.

Na plenária de João Varela, dedicada à estratégia europeia na Física de Partículas, foi contextualizada a situação atual, a procura de nova Física para lá do modelo padrão e as discrepâncias observadas até ao momento, embora ainda não de forma conclusiva. Foi feita uma síntese das questões em aberto para as quais a Física de Partículas poderá contribuir e que guiaram na definição da nova estratégia. Com relevância, foi posta em evidência a necessidade de conhecer melhor o bóson de Higgs, nomeadamente, aumentando a precisão das medidas dos seus parâmetros e do seu acoplamento com outras partículas. Para isso foi observado que será necessário aumentar a luminosidade dos aceleradores para permitir a produção de quantidade significativas do bóson Higgs, para permitir o seu estudo. Será, assim, necessário criar fábricas de Higgs. Para terminar, foram discutidas as várias opções de novos aceleradores para o futuro. Nesse âmbito, foi evidenciada a necessidade de criar um novo colisor de hádrons no CERN, combinado com uma fábrica de Higgs, que permita manter a liderança científica e tecnológica da Europa na Física de Partículas.

Na plenária “Potenciais catastróficos”, Manuel Fiolhais e Rogério Nogueira analisaram as propriedades de potenciais com diferentes regiões de estabilidade e que apresentam comportamentos críticos para determinados valores dos parâmetros de controlo. Mostraram 3 exemplos destes potenciais catastróficos: o ludião, um íman cilíndrico num plano inclinado sujeito a um campo magnético e um potencial num sistema mecânico; tendo procedido à sua caracterização detalhada. Foi discutida e mostrada a implementação prática destas experiências. A partir dos exemplos e das montagens desenvolvidas, mostraram como se pode combinar teoria, experiência e simulações de modo a implementar demonstrações em sala de aula cativantes para os alunos, incentivadoras na melhoria das suas competências e promotoras do seu interesse pela Física.

As plenárias do terceiro dia da FISICA 2020 foram de dedicadas a “O papel da Física no Observatório do Oceano”, por Rui Caldeira do CIIMAR-Madeira, “Os laser e o Nobel da Física de 2018” por Gonçalo Figueira da Universidade de Lisboa, “Portugal in Space with Science” por Marta Gonçalves da PT-Space e “Ciencia ciudadana en la educación formal” por Miguel Queiruga Dios da Universidade de Burgos.

Rui Caldeira começou por explicar o Observatório do Oceano em desenvolvimento na Madeira e a forma como o Oceano pode ser observado, monitorizado e estudado utilizando sensores colocados em terra, direcionados para o mar. Nesse âmbito, foram apresentados e contextualizados os grandes temas de estudo do Observatório, envolvendo a biodiversidade, as pescas e maricultura, a deteção remota e a modelização e previsão do mar

e da atmosfera. De particular relevância salienta-se a capacidade de estudar a interface oceano-atmosfera nas suas várias vertentes, nomeadamente a dinâmica marítima e atmosférica, os seus efeitos na biologia e biodiversidade, a perturbação nos ventos e correntes provocadas pela ilha da Madeira e a execução de modelização em diferentes escalas, da global à local. Para terminar, foram apresentadas e discutidas aplicações práticas com impacto na comunidade, como a determinação dos padrões de vento no aeroporto da Madeira e da compreensão da dinâmica costeira.



Gonçalo Figueira iniciou a sua palestra relembrando a importância dos lasers no mundo contemporâneo, desde as telecomunicações, à maquinagem de peças e à gravação de informação. Notou, em particular, a gama variada de áreas em que os lasers são aplicados, que se traduz pela existência de mais de 55 000 patentes que referem a palavra laser. Revisitando o Nobel da Física de 2018, chamou a atenção para o desenvolvimento das pinças óticas, o que são e como a pressão de radiação tem sido amplamente utilizada para manipulação de sistemas biológicos. Falou ainda da sua evolução recente, em que as pinças óticas são usadas em partículas mais e mais pequenas estando-se a chegar ao nível atómico. Ainda no âmbito do Nobel de 2018 discutiu os lasers de pulsos ultracurtos e lasers intensos. Referiu a evolução histórica deste tipo de lasers, os problemas que foram surgindo e as dificuldades que, a dada altura, os impediam de evoluir. Discutiu em seguida a inovação introduzida pelos vencedores do Nobel, na amplificação dos pulsos, no método desenvolvido e nas possibilidades que se abriram. Evoluções recentes destes lasers têm permitido atingir potências 7 ordens de grandeza acima das que existiam antes do seu aparecimento e estudar escalas de tempo cada vez mais curtas, até à região dos atosegundos. A palestra terminou discutindo e pondo em evidência o impacto destes novos lasers na ciência atual, as aplicações que foram entretanto desenvolvidas a partir deles e a contribuição da comunidade científica Portuguesa para esta área.

No âmbito da estratégia portuguesa para o Espaço, Marta Gonçalves apresentou a PT-Space (Portugal Space), uma instituição dedicada a promover e a fortalecer as atividades relacionadas com o Espaço, em

Portugal, tanto a nível académico como empresarial. O objetivo é desenvolver a comunidade em torno do Espaço e a sua cadeia de valor, apoiar as comunidades científica e empresarial, e promover a colaboração com instituições internacionais nesta área. Pretende-se, desta forma, desenvolver as competências de modo a que Portugal seja reconhecido como uma autoridade na área das interações Espaço-Clima-Oceano, em particular pela sua posição geográfica importante no acesso ao espaço atlântico. Nesse âmbito, o Espaço é entendido como um bem comum e deve ser impulsionada a sua democratização, integrando-o na economia de forma ambiental e economicamente sustentável. Marta Gonçalves referiu em seguida dos desafios para o futuro, nomeadamente na Ciência do Espaço e a contribuição portuguesa em consórcios que estudam estas áreas, como a participação na *European Solar Telescope* para estudo da meteorologia solar e a forma como ela afeta os sistemas e tecnologias utilizados na Terra. Discutiu também a Ciência feita no espaço, como os estudos de microgravidade ou os efeitos biológicos sobre os seres vivos. Falou ainda da Ciência a partir do Espaço e dos estudos por satélite, destinados à observação da Terra nas suas várias vertentes, como a qualidade do ar, a meteorologia, o oceano, o clima, a agricultura, a poluição e tantas outras áreas. Terminou chamando a atenção para a importância dos estudos do Espaço e a partir do Espaço, que podem contribuir de forma relevante para a economia, para a sustentabilidade ambiental e para a compreensão do nosso lugar no Universo.



Na plenária do final da manhã, Miguel Queiruga Dios desenvolveu o conceito de Ciência Cidadã, que se traduz pelo envolvimento do público em geral em atividades de investigação nas quais os cidadãos contribuem ativamente para a ciência com o seu esforço, conhecimentos e recursos. Referiu como a Ciência Cidadã pode ser importante na formação dos cidadãos sobre o

processo científico e sobre a ciência e contribuir para a compreensão e apoio a políticas de base científica, nomeadamente na sustentabilidade ambiental, conservação de recursos e compreensão de dados científicos de acesso livre. Discutiu em seguida as vantagens em termos de ensino e aprendizagem nas escolas, permitindo envolver professores e alunos, trabalhar uma grande diversidade de tópicos e facilitar a alfabetização científica. Nesse âmbito, deu exemplos de projetos já desenvolvidos utilizando os procedimentos da Ciência Cidadã e discutiu os benefícios que trouxeram ao Ensino nas Escolas onde foram implementados. Terminou mostrando como a Ciência Cidadã tem vindo a aumentar a sua importância em trabalhos reportados na literatura, os temas principais que têm sido estudados e o futuro para ela.

As plenárias do quarto e último dia da FISICA2020 envolveram as palestras “200 anos depois da experiência de Oersted”, apresentada por José António Paixão da Universidade de Coimbra, “Ciclotrões no ICNAS – Bons líquidos, muita energia e uma pitada de alquimia”, por Francisco Alves do Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde (ICNAS), e “Pilha de lítio recorrendo a eletrólito ferroelétrico vítreo”, por Maria Helena Braga da Universidade do Porto

José António Paixão dedicou a sua palestra aos 200 anos da experiência de Oersted, ocorridos em 2020, e ao seu impacto na Física atual. Nesta experiência, Oersted colocou uma bússola debaixo de um fio elétrico, tendo observado que a agulha se movia quando era feita passar uma corrente pelo fio. Desta forma, Oersted mostrou que as correntes elétricas dão origem a campos magnéticos. A plenária foi iniciada com uma introdução dedicada à história do magnetismo, à descoberta da magnetite e à utilização de bússolas, bem como aos estudos e contribuições que foram feitas ao longo dos séculos e que antecederam a descoberta de Oersted, tornando-a possível. Para conhecer quem era Oersted, o que o motivava e em que acreditava, José António Paixão discutiu em detalhe a biografia deste cientista. Oersted era também filósofo, fortemente influenciado pelo pensamento de Emanuel Kant, em particular da ideia de que todos os fenómenos da natureza estão interligados entre si. Foi então discutida a experiência, a forma rigorosa como Oersted estudou os resultados, e as reações da comunidade científica. A apresentação terminou com a discussão das suas implicações para a formulação do eletromagnetismo atual, ligando as disciplinas de eletricidade e do magnetismo até então separadas. Foi também discutida a evolução subsequente do entendimento sobre o magnetismo e os materiais magnéticos, desde essa época até à atualidade, e as inúmeras aplicações práticas que foram, entretanto, desenvolvidas.

Na sua plenária, Francisco Alves começou por contextualizar o trabalho desenvolvido no Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde (ICNAS), em Coimbra, em particular na criação de átomos radioativos no seu ciclotrão para posterior utilização como marcadores para localização de tumores em imagem médicas ou para utilização em investigação científica. Nesse âmbito, referiu os custos elevados da produção de alguns isótopos importantes, com tempos de vida baixos e com complexidade na gestão da sua manipulação e utilização. Partindo destas dificuldades, foi discutida a forma como foram desenvolvidas respostas e soluções no ICNAS, para resolver estes problemas, utilizando a irradiação de metais dissolvidos em líquidos com re-

cuperação posterior do material radioativo gerado. Este método tem a vantagem de ter custos substancialmente mais baixos, não só na produção dos isótopos radioativos, como também no seu transporte e aplicação em tratamentos. Como exemplo de investigação recente nesta área, foi apresentada a produção de Ga-68 no ciclotrão do ICNAS, a partir da irradiação de zinco dissolvido num líquido. O trabalho desenvolvido no ICNAS tem dado origem a patentes, que se encontram, atualmente, em processo de implementação pelos centros hospitalares, tanto a nível nacional como internacional.

Na última plenária da FISICA 2020, Maria Helena Braga dedicou a sua apresentação ao desenvolvimentos das baterias de iões de lítio, prémio Nobel da Química de 2019. Na sua palestra, contextualizou os diferentes componentes destas baterias, os materiais que compõem o ânodo e o cátodo, qual as suas limitações e os problemas em aberto. Passou em seguida à descrição e desenvolvimento das baterias baseadas em materiais ferroelétricos, as suas potencialidades e os problemas ainda por resolver para a implementação prática no dia a dia. Terminou contextualizando os recursos existentes em Portugal e no mundo em termos da exploração do lítio para as baterias, tendo, nesse âmbito, discutido os seus custos e as expectativas de gestão futura.

A FISICA2020 encerrou com uma sessão de fecho, onde foram entregues os Prémios MEDEA 11, dedicados à medição de campos elétricos e magnéticos no ambiente por equipas de estudantes do ensino secundário, e o Prémio Bragança Gil atribuído à melhor tese de doutoramento em Física em 2018. Foram também divulgados os novos Sócios Honorários da Sociedade Portuguesa de Física e atribuídos os prémios para o melhor poster pelas Divisões de Educação, Física da Matéria Condensada, Física de Partículas e Física dos Plasmas. Os prémios MEDEA foram já reportados no número anterior da Gazeta de Física. Os restantes premiados foram:

#### **Prémio Bragança Gil para a melhor tese de doutoramento em 2018:**

Vítor Vasco Lourenço Vasconcelos, Orientadores: Prof. Jorge Pacheco (Univ. Minho), Prof. Francisco Santos (Univ. Lisboa), Profa. Marta Ramos (Univ. Minho)

#### **Prémios do melhor Poster:**

Divisão de Educação

“Ligações cerebrais: A Arte e a Física da Neurociência”, Bernardo Peixoto, Edoardo Contente, Teresa Matos Paiva

Divisão de Física da Matéria Condensada

“Sensores de radiação baseados em microfios de nitreto de gálio”, D. Verheij, M. Peres, S. Cardoso, L.C. Alves, E. Alves, C. Durand, J. Eymery, J. Fernandes, K. Lorenz

Divisão de Física de Partículas

“Investigando a interação entre o bosão de Higgs e o W com ATLAS Open Data”, Pedro Figueiredo, Gonçalo Lage

Divisão de Física dos Plasmas

“Focagem ótima para a produção de pares, em colisões lambda de feixe de eletrões”, Óscar Amaro, Marija Vranic

Divisão de Óptica e Lasers

“Element search optimization in LIBS spectra of geological surfaces”, Diana Capela, P. Jorge, R. Martins, Diana Guimarães

#### **Sócios Honorários:**

Amélia Arminda Teixeira Maio, sócia n.º 14

Fernando António de Freitas da Costa Parente, sócio n.º 94

João Manuel Gaspar Caraça, sócio n.º 142

Jorge António C. Sousa Valadares, sócio n.º 160

Jorge Venceslau Comprido Dias de Deus, sócio n.º 165

A FISICA 2020 contou com a participação ativa de cerca de 100 congressistas por dia, entre os participantes de forma presencial e de forma remota, destacando-se o elevado número de jovens investigadores, e estudantes de mestrado e de doutoramento em Física. Para além das lições Plenárias, o programa da Conferência Nacional de Física e do Encontro Ibérico para o Ensino da Física contou, também, com um total de 47 comunicações orais em sessões paralelas e ainda com uma sessão com cerca de 100 pósteres.

## **In Memoriam de André Joel Ferreira Freitas**

**1981 - 2021**



#### **Uma Vida breve e plena**

André Joel Ferreira Freitas, nasceu em Soure a 25 de maio de 1981.

Estudou na Escola Secundária de Soure, tendo terminado o ensino secundário em 1999.

Obteve a Licenciatura em Física - Ramo de Formação Educacional - Ensino de Física e Química (1999-2005), na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Estava atualmente a fazer o Mestrado em Educação e Tecnologias Digitais no Instituto da Educação da Universidade de Lisboa.

Começou por lecionar na escola portuguesa de São Tomé, onde ficou até 2011. Foi professor de Física no Instituto Diocesano da Formação João Paulo II em São Tomé. Após curta interrupção voltou a São Tomé tendo permanecido até ao final do ano letivo 2018/2019.

Estava atualmente a ensinar no Agrupamento de Escolas da Venda do Pinheiro, Mafra. Os muitos projetos em que se envolveu são, alguns deles, lembrados nos testemunhos registados a seguir.



## A SPF recorda André Freitas

André Freitas, o sócio 5423, só deixa boas recordações, desde as coisas simples, como o pagamento atempado das quotas, à disponibilidade para colaborar nos projetos da SPF, em especial aqueles que tivemos para S. Tomé e Príncipe e que teriam sido muito mais difíceis de implementar e manter se não fosse a dedicação do André.

Quando em março de 2017 candidatámos a financiamento da European Physical Society - EPS um projeto concebido pelo nosso sócio Horácio Fernandes, um Pêndulo Universal ou *The World Pendulum*, a instalar na latitude zero, para nós isso só foi atingível recorrendo às nossas relações com um país muito particular da CPLP, São Tomé e Príncipe, que exatamente é atravessado pela linha do Equador. O Projeto foi vencedor! Para além das nossas boas relações com as entidades educacionais de São Tomé decidimos, com a anuência da Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe, montá-lo nas suas instalações. A história da instalação pode ser lida na nota do Horácio Fernandes. O *The World Pendulum*, apesar da sua robustez, tem os seus pontos fracos e encontrou na mente e mãos do André a solução para estar sempre disponível para as visitas dos alunos locais e de todas as personalidades importantes da Lusofonia que se deslocavam a São Tomé. Nestas visitas o André foi um embaixador da Física para todos os visitantes deste ícone, a funcionar na sua plenitude, e a explicar porque razão aquele local geográfico era tão especial.

O André e os seus colegas fizeram explicações magníficas a ilustres visitantes como o presidente português, Marcelo Rebelo de Sousa, o ministro da educação de Portugal, Tiago Brandão Rodrigues, embaixadores de vários países e Sekazi Mtwinga, coordenador da Comissão para o Desenvolvimento da IUPAP e, muito mais importante, foram incansáveis nas explicações a todos os alunos da disciplina de Física e Química das escolas de São Tomé.



O Relatório da SPF, sobre o impacto divulgativo e formativo desta instalação, foi decerto um passo importante para a aprovação do projeto que apresentámos depois à EPS no domínio da sismica.



O André Freitas e a Marina Balbina na apresentação do seu poster na 3.ª CFPLP



O André de pé junto à mesa na sua intervenção na reunião fundadora da UFPLP

Mas o empenho do André não se limitou ao Pêndulo. Na organização da 3.ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa, que decorreu em São Tomé em final de maio de 2019, integrou a Comissão Organizadora. Mais uma vez, tudo o que dependia dele funcionou de modo brilhante. Desde ir com a sua Marina Balbina às costureiras locais para fazer os típicos sacos da conferência e fitas para as identificações a distribuir pelos participantes, até à participação na reunião fundadora da União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa. Contribuiu ainda com um poster sobre as atividades desenvolvidas com demais colegas na Escola Portuguesa no âmbito do Centro Ciência Viva que criaram na Escola Portuguesa.

Para além do seu apoio aos projetos da SPF, sabemos que foi a alma mater, em colaboração com Lúcio Carvalho, Manuel Penhor e outros colegas São Tomenses, nas Masterclasses de Partículas. Esteve presente na Exposição “A luz desviada pelo Sol” nas celebrações do centenário da expedição de Eddington. Colaborou, também, ativamente na criação do Centro Ciência Viva da Escola Portuguesa de São Tomé e num sem número de projetos de antes e depois.

No dia em que faleceu telefonei-lhe, não me atendeu. Deixei uma mensagem, tinha intenção de fazer-lhe mais um desafio.

*M<sup>a</sup> da Conceição Abreu*

*Presidente da SPF*

**Horácio Fernandes**, amigo, Professor no IST e Coordenador do WP

Chego a São Tomé com um pêndulo mundial na bagagem destinada à Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe. À minha espera no aeroporto, o André (Freitas). Tive logo problemas na alfândega, apesar de todas as cartas de conforto de que era portador. De imediato o André tomou conta da situação e resolveu.



André ao centro com as mãos na massa



Tal como muitos colegas do secundário, vestia a camisola da sua escola. Quando regressou a Portugal para ver nascer a filha, sei que deixou um carinho sentido em São Tomé pelos seus alunos e colegas. Interessante como nunca o vi com aquele sentimento de “desenraizado” de outros. Para ele São Tomé também era a sua pátria.

Este processo de “desenrascar”, tão típico português, facilitou imenso a instalação do segundo pêndulo mundial no espaço da lusofonia. Perante tantas complicações de manutenção do pêndulo mundial em São Tomé, o André resolvia-as com todo o empenho, e, sobretudo, com orgulho em manter esta em-

preitada e colocar a sua escola no mapa. Fazia-me lembrar a Apollo 13, eu em Houston-Técnico a imaginar soluções e ele em São Tomé, uma nave isolada no Atlântico, a desenrascar com os arames possíveis de encontrar.

**Marília Peres**, colega e amiga

**O André entre muitos outros atributos era um homem de livros**

Nós somos fruto das nossas vivências, mais do que dos nossos genes. O nosso cérebro é moldado pelas nossas escolhas e pelos desafios que a vida nos oferece e que escolhemos enfrentar. Somos também feitos das viagens que fazemos, dos nossos amigos e dos livros que lemos. O André entre muitos outros atributos era um homem de livros, penso poder dizer que era um leitor compulsivo.

Sendo Físico e professor de Física e Química não é de estranhar que devorasse tudo o que lhe aparecia nesta área, como é o caso dos livros de autores como Feynman, Nuno Cardoso, Brian Greene, Carl Sagan, Peter Atkins ou Sérgio Rodrigues. Ao mesmo tempo lia Kuhn, Darwin ou Damásio, entre outros, apoderando-se de muitas ferramentas cognitivas na área das Ciências.

Como homem culto que era não passava sem Borges, Mia Couto, Zimler, Conan Doyle, Saramago, Agustina ou Afonso Cruz, por exemplo.

O André era um homem imensamente curioso sobre tudo o que se passava à sua volta, era sem dúvida um amante do saber, como é visível no nome que ele e a Marina escolheram para a pequena Sofia.

**Ana Isabel Barbosa**, colega e amiga

**Tinha uma frase que me dizia sempre “adaptar e levar a melhor”**

Trabalhei com o André durante 6 anos em São Tomé e Príncipe ao abrigo da Cooperação Portuguesa, eu como professora de Biologia e Geologia e ele como professor de Física e Química.

No IDF, atual Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe, partilhámos as turmas de Ciências e Tecnologias. Costumávamos passar horas a falar sobre a escola que tínhamos à nossa frente e aquela com que sonhávamos. Também falávamos de ciência, e de como





queríamos entender o mundo natural que nos rodeava, eu dizendo sempre que não entendia muito de física e ele dizendo que era simples e estava em todas as coisas. Que sorte que tinha de ter alguém para me explicar as leis de Newton e a teoria da relatividade. Assim, em jeito de homenagem, quero destacar alguns aspetos do André que mais me marcaram e que me inspiram na contínua luta por um mundo melhor.



1. Usar o que se tem para fazer melhor. O André nunca se queixava muito das condições que tinha pela frente, usava o que tinha, fazia o melhor que podia e vivia em paz com isso. Se tinha um powerpoint para uma aula, e a energia faltava não se consumia com isso. Mudava a aula e pronto. Se uma atividade não acontecia como o planeado, ele conseguia sempre ver o lado positivo e o que os alunos tinham ganho com ela. Tinha uma frase que me dizia sempre “adaptar e levar a melhor”. Que grande lição de vida que me demorou uns bons belos anos até aprender. O André já a sabia antes, aos vinte e pouco anos.



2. Capacidade de trabalho. Não percebia como, mas o André conseguia estar a par do meu trabalho, do trabalho da professora de português, de Matemática,

de Informática, etc. Ele conhecia e ajudava no trabalho de todos. Ele participava ativamente envolvendo-se nas atividades dos outros professores. A multidisciplinaridade não era só uma palavra bonita nos planos e atas. O André vivia essa palavra.

3. Foco e prioridades: os alunos em primeiro lugar. Para o André o mais importante eram os alunos, e transmitir-lhes a sua paixão pela Física. Sem dúvida que ele encontrou algo “maior” para se dedicar e fê-lo muito bem. O André tinha uma visão sobre a escola e trabalhava todos os dias para a tornar real. Que inspiração!



4. Amigo. O André tinha uma forma muito especial de ser amigo: estava presente, respeitava e mimava muito as pessoas que gostava. Sabia tocar o coração e gostar das pessoas tal como são, o que fazia com que as suas relações de amizade fossem verdadeiras.

### **Sofia Andriga e mais colegas e amigos do LIP**

#### **O André estava “em todas”**

Foi com imensa tristeza que soubemos do falecimento do André Freitas. O André era um professor com um entusiasmo e um dinamismo inextinguíveis. Participou na Escola para Professores de Física em Língua Portuguesa no CERN, em 2013. Na sequência desta participação, manteve uma ligação ao LIP que se traduziu em diversas palestras virtuais e participações no World Wide Data Day com alunos de S. Tomé. Como tantos colegas podem testemunhar, o André estava “em todas”, sempre com atividades e contributos muitíssimo interessantes.

Na comemoração do centenário da expedição de Eddington ao Príncipe, em 2019, foi insuperável. Com a SPF e o LIP, participou na atualização, com novas descobertas, da expo-



Participantes na Escola para Professores de Física em Língua Portuguesa no CERN de 2013 (André Freitas é o 12º a contar da direita na fila de trás).

sição “A luz desviada pelo Sol”. Tinha, na sua escola, uma cópia da versão anterior da exposição, criada 10 anos antes, e os seus comentários sobre a forma como os alunos a viam foram extremamente úteis. Esteve na organização local da 3.ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa (onde apresentou também um poster) e na reunião fundadora da União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa. À família e amigos próximos do André expressamos as nossas mais sinceras condolências. A Física de Partículas (e não só) perdeu um dos seus melhores embaixadores junto das gerações mais jovens, em Portugal e em S. Tomé e Príncipe.

**Pedro Abreu**, Professor no IST/Responsável do LIP nas Escolas para Professores no CERN e amigo

**A educação e a divulgação da Ciência em Portugal e no mundo, em português, perdeu um dos seus grandes embaixadores**

Não devemos ficar tristes pelo que perdemos, mas alegres por nos termos cruzado com alguém tão trabalhador e inspirador. Para fazermos melhor, para nos dedicarmos aos outros, para levar a Física, a Física de Partículas e a Ciência aos quatro cantos do mundo, a começar na nossa rua!

Conheci o André Freitas em 2013, aquando da sua participação na 7.ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa. “Missionário” em São Tomé e Príncipe, na altura professor de Física no Instituto Diocesano da Formação João Paulo II, em São Tomé, e na Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe, revelou-se logo de uma grande camaradagem. Foi participante muito ativo na escola e com grande vontade de levar o CERN com ele de regresso a São Tomé.

Muito simpático e afável, integrou-se muito bem no grupo, bem como ajudou à integração dos sisudos portugueses e alegres brasileiros, com o colega de São Tomé e os quatro colegas de Timor-Leste.

Depois do seu regresso a São Tomé, fiz duas palestras remotas aos seus alunos - em 2014 e 2017, tendo promovido uma terceira em 2018. A Escola Portuguesa de São Tomé começou a participar regularmente no “World Wide Data Day” desde o início desta atividade em 2016.

Participava também nas Masterclasses Internacionais em Física de Partículas, em São Tomé, pelo que nos encontrávamos remotamente também nessas sessões.

Estive com ele num almoço em Lisboa em 2019, altura em que tomei conhecimento dos seus novos projetos em Portugal, que eu previa também envolverem uma grande interação com a SPF e com o LIP. Infelizmente, também se meteu uma pandemia entre nós, e esta maior interação ficou adiada sine die.

A educação e a divulgação da ciência em Portugal e no mundo, em português, perdeu um dos seus grandes embaixadores ativos.

O ensino de Física em Portugal e no mundo, em português, perdeu um dos seus grandes professores, sempre cioso dos seus alunos e procurando abrir-lhes os horizontes e levar-lhes o mundo da grande ciência mundial.

Ficam-nos as boas memórias das atividades realizadas, das conversas sobre Física e Física de Partículas, dos momentos no CERN e nas sessões remotas, nos almoços partilhados. Mas



Fotografia tirada por André Freitas dos seus alunos na Escola Portuguesa de São Tomé e Príncipe com o poster do Modelo Padrão da Física de Partículas, na sequência de uma palestra virtual de Pedro Abreu, em 2017.

fica-nos sobretudo a imagem de alguém de coragem, que sempre procurou prosseguir os seus ideais e desenvolver os ideais de outros (em particular dos seus alunos), que sempre cumpriu a sua missão de “Embaixador do CERN” nas suas escolas e comunidades, e que procurou estar sempre próximo estando longe. Obrigado André, por teres nascido, teres pensado e teres existido. Grande Obrigado por teres concorrido à 7.ª Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa. Grande Muito Obrigado por te ter conhecido e por teres cruzado e percorrido um bocadinho do meu caminho, e teres mantido uma forte ligação à Ciência e aos Cientistas.

Não ficámos pobres por teres partido. Ficámos muito ricos por teres vivido! Connosco!

## Obituário

### Falecimento de António Fidalgo



É com pesar que a Direção da Sociedade Portuguesa de Física comunica o falecimento do Sr. António Fidalgo, no passado dia 22 de janeiro de 2021. António Fidalgo, natural de Felgueiras, Torre de Moncorvo, era membro da Dossier - Comunicação e Imagem, Lda, empresa gráfica que, desde 2007, tem trabalhado com a Gazeta de Física. Nesse âmbito, ao longo dos anos, colaborou extensivamente na produção dos números da Gazeta. A SPF envia os sinceros pesares aos familiares, colegas de trabalho e amigos.



# Olimpíadas de Física em 2020

## Olimpíadas Regionais de Física



A XXXVI edição das Olimpíadas de Física, devido à situação de pandemia, decorreu de forma online no dia 6 de junho de 2020. A SPF adaptou-se rapidamente à realização deste evento de forma remota, mobilizando professores e alunos. Os alunos puderam realizar em suas casas. Estiveram envolvidos 262 alunos do 9.º ano, e 328 alunos do 11.º ano. A participação no escalão B foi feita a título individual, enquanto no escalão A os alunos concorrem em equipas com um máximo de três elementos.









Os vencedores da Olimpíada Regional estão reportados no site <http://olimpiadas.spf.pt/> e o número de medalhas e menções honrosas totalizaram 58 no Escalão B e 23 no Escalão A. O maior número de vencedores deve-se a termos a partir deste ano realizar as Olimpíadas em 8 zonas geográficas (Norte Interior, Norte Litoral, Centro Interior, Centro Litoral, Região Sul, Algarve, Açores e Madeira) e devido ao método remoto, termos tido várias situações de empate na classificação.

## Olimpíadas Nacionais de Física




A etapa nacional das XXXVI Olimpíadas de Física, as Olimpíadas Nacionais de Física, decorreu a 24 de outubro de 2020 de forma presencial. De modo a minimizar o ajuntamento de grandes grupos e as viagens realizadas pelos alunos, a prova decorreu simultaneamente no Porto, Coimbra, Covilhã, Lisboa, Faro, Ponta Delgada e Funchal, sendo realizadas nos respetivos departamentos de Física das respetivas universidades. Contou com uma componente teórica e uma componente experimental. Participaram na etapa nacional os premiados da etapa regional, isto é, 37 alunos do escalão A e 58 alunos do escalão B. Os vencedores desta etapa foram:

### Vencedores do Escalão B

-  Bernardo Sousa Alves  
E. S. Domingos Rebelo  
Ponta Delgada
-  Gabriel Almeida  
E. S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo

-  Pedro Costa  
E. S. de Ponte de Lima  
Ponte de Lima
-  Afonso Alves  
E. S. Júlio Dantas  
Lagos
-  David Nunes  
E. S. Quinta das Palmeiras  
Covilhã
-  Guilherme Gonçalves  
E. S. Domingos Rebelo  
Ponta Delgada
-  Henrique Romão  
Colégio Efanor  
Matosinhos
-  João Bispo  
E. S. Homem Cristo  
Aveiro
-  Pedro Almeida  
E. S. Alves Martins  
Viseu
-  Vasco Cotão  
E. S. José Falcão  
Coimbra

### Vencedores do Escalão A

-  Alexandre Imperadeiro  
Gonçalo Moreira P. Oliveira  
Pedro Coelho  
A. E. do Castelo da Maia, Maia
-  Maria Teresa Pires  
Matilde Massa  
Rodrigo Santos Aarão  
E. S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada
-  Diogo Alves  
EB 2,3 de Ferreiras, Albufeira

As provas podem ser consultadas em:  
<http://olimpiadas.spf.pt/nacionais/2020.shtml>

Os vencedores do escalão B da etapa nacional ficaram pré-selecionados para uma preparação a decorrer durante o próximo ano letivo que os poderá levar a representar Portugal em 2021 na LI Olimpíada Internacional de Física (Vilnius, Lituânia) ou na XXV Olimpíada Ibero-Americana de Física (João Pessoa, Brasil). Os seguin-

tes alunos ficaram também pré-selecionados para esta preparação:

Afonso Oliveira, E. B. S. Quinta das Flores  
Ana Beatriz Ribeiro, E. S. José Falcão  
Filipe Santos, Colégio de Nossa Senhora da Bonança  
Gonçalo Serafim, E. S. Gil Eanes  
Henrique Figueiredo, E. S. Vergílio Ferreira  
Leonardo Tavares, A.E. Dona Filipa de Lencastre  
Leonor Gonçalves, Colégio Rainha Santa Isabel  
Leonor Roque, E. S. Rainha Dona Leonor  
Salvador Florêncio, E. S. D.João II  
Tomás Gaspar, E. S. Camilo Castelo Branco (Carnaxide)  
Tomás Pinto, Salesianos do Estoril - Escola  
Vasco Castro, Colégio de Amorim

## Olimpíadas Internacionais de Física

Este ano a SPF participou em três olimpíadas internacionais: a Olimpíada Internacional Distribuída de Física (IdPhO), a Olimpíada Ibero-americana de Física Virtual (OIBF) e a Olimpíada Europeia de Ciência 2020 – Edição Online (EuPhO). A preparação da equipa portuguesa iniciou-se no âmbito da escola "Quark!", em Coimbra, tendo todos os alunos pré-selecionados frequentado as primeiras duas sessões da escola em 2020 (em janeiro e fevereiro). As sessões tiveram sempre início num sábado às 9h00 e terminaram no domingo, pelas 17h00. Participaram nestas sessões, além dos pré-selecionados para as olimpíadas, cerca de 50 alunos do 11.º e 12.º ano, provenientes de todo o país, interessados em Física. Após março, a escola "Quark!" foi cancelada e as sessões de preparação passaram para a modalidade online. Ao longo do período de preparação foram sendo disponibilizados elementos de estudo, designadamente provas (e respetivas soluções) de Olimpíadas Internacionais de anos anteriores. Foi também fornecido aos alunos um livro de estudo adequado aos currículos das Olimpíadas Internacionais: Giancoli, D. (2013). *Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics*: Pearson New International Edition. Pearson Higher Ed.

## Seleção dos alunos para a IPhO, EuPhO e a OIBF


As provas de seleção para a Eupho, IPhO e a OIBF decorreram de forma online em junho de 2020 e consistiram na realização de uma complexa prova teórica. Devido ao exigente processo de adaptação ao regime online por parte dos alunos e à exigente preparação que lhes foi imposta, seis dos vinte alunos completaram o processo. Estes seis alunos estavam extremamente motivados, resultando no final na melhor classificação de sempre em provas internacionais de física, como veremos mais abaixo. Esses 6 alunos, por ordem alfabética, foram os seguintes:


Afonso Santiago Nunes Gonçalves  
E.S. Carlos Amarante, Braga  
Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo  
Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré, Gafanha da Nazaré  
Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo, Porto  
Pedro Bezerra Roque da Costa  
E. S. de Ponte de Lima, Ponte de Lima  
Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo

## A EuPhO 2020

Portugal participou pela primeira vez nas Olimpíadas Europeias de Física neste ano. Normalmente este evento acontece durante o mês de maio, o que torna difícil a participação de um ponto de vista logístico, por ocorrer a meio do terceiro período escolar. No entanto, este ano a EuPhO 2020 decorreu de forma online de 20 a 26 de julho de 2020, tendo participado na competição 258 estudantes do ensino secundário de 54 países. Nesta competição os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental, realizada através da simulação computacional de experiências realistas, e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. Os participantes realizaram as provas no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, sob a vigilância e coordenação de Rui Travasso, João Carvalho e Filipa Borges. A maioria dos temas abordados não consta dos programas oficiais do ensino secundário português, incluindo sobretudo assuntos que são abordados apenas no primeiro e segundo anos dos cursos universitários de Física. Note-se, no entanto, que o syllabus destas olimpíadas coincide com o programa do ensino secundário de um vasto número dos países participantes. O vencedor absoluto foi um estudante da Indonésia, Peter Addison Sadhani, que obteve 40 dos 50 pontos possíveis.

A lista dos estudantes portugueses (que obtiveram 1 medalha de bronze e 1 menção honrosa) é a seguinte:

 Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo

 Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo

Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo  
Porto






Afonso Santiago Nunes Gonçalves  
E.S. Carlos Amarante  
Braga

Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré  
Gafanha da Nazaré

## A I<sup>d</sup>PhO

As Olimpíadas Internacionais distribuídas de Física decorreram de 7 a 15 de dezembro de 2020, tendo participado na competição 211 estudantes do ensino secundário de 45 países. Nesta competição os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. Os participantes realizaram as provas no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, sob a vigilância e coordenação de Rui Travasso, João Carvalho, Paulo Gordo e dois representantes da organização internacional Yana Labodina e Alexander Labodin, que foram responsáveis por trazer até Coimbra o equipamento experimental. A prestação da equipa de Portugal foi a melhor de sempre nas Olimpíadas Internacionais de Física.


A lista dos estudantes portugueses é a seguinte:


-  Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo  
Porto
-  Nuno Gabriel Carvalho Carneiro  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
-  Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo
-  Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré  
Gafanha da Nazaré
-  Pedro Bezerra Roque da Costa  
E. S. de Ponte de Lima  
Ponte de Lima


## A OlbF 2020 Virtual

A Olimpíada Ibero-americana de Física também teve a sua edição virtual que decorreu de 5 a 13 de dezembro de 2020. Participaram na competição 69 estudantes de 18 países do espaço ibero-americano. Os participantes realizaram as provas também no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, sob a vigilância e coordenação de Rui Travasso e João Carvalho. O vencedor absoluto desta olimpíada foi um estudante brasileiro, Filipe Farias Ribeiro Filho. A prestação da equipa de Portugal foi a melhor de sempre nas Olimpíadas Ibero-Americanas de Física.

A lista dos estudantes portugueses e respetivos prémios é a seguinte:

-  Gabriel Alberto Mourão Almeida  
E.S. Santa Maria Maior  
Viana do Castelo

 Gabriel do Carmo Rouxinol  
E.S. de Gafanha da Nazaré  
Gafanha da Nazaré

 Pedro Bezerra Roque Costa  
ES de Ponte de Lima  
Ponte de Lima

 Martim Paiva  
E.B.+S. Fontes Pereira de Melo  
Porto

A todos os alunos participantes e aos vencedores os nossos PARABÉNS!

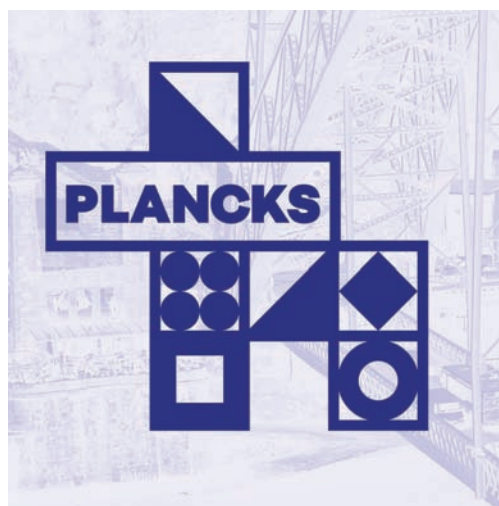
## Vai acontecer

### PLANCKS 2021, 6-9 maio, Universidade do Porto

O PLANCKS é uma competição de Física para alunos de Licenciatura e de Mestrado. É um evento internacional em que os participantes competem com equipas compostas por três ou quatro alunos. Durante a competição, as equipas respondem a questões de Física, destinadas a desafiar e entreter os competidores.

A primeira edição do PLANCKS ocorreu em 2014 em Utrecht, na Holanda. Desde então é realizado em anualmente, em maio. O evento oferece aos estudantes de Física a oportunidade de conhecerem e contactarem com colegas de todo o mundo. O objetivo é aumentar a colaboração internacional e estimular o desenvolvimento pessoal de cada aluno, criando um ambiente de convivência, de troca de ideias e de troca de experiências, entre eles.

Em 2021 o PLANCKS irá decorrer entre 6 e 9 de maio e é organizado pela PhysikUP - Núcleo de Física, Engenharia Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, com o apoio da Sociedade Portuguesa de Física. A edição de 2021 do PLANCKS será online e terá atividades que irão decorrer em contínuo, 24 horas por dia, para permitirem a participação de equipas de todo o mundo. Para mais informações consultar <https://2021.plancks.org/>.





# Olimpíadas de Física 2021



Imagem do cartaz: Roger Parosé, prémio Nobel de Física 2020, foi pioneiro na constituição de mesátons não perfidicos, alguns dos quais presentes em cristais atómicos cuja descoberta levou ao Nobel de Química de 2011

## PROVAS

**Regionais: 10/4/2021**

**Nacionais: 5/6/2021**

**Internacionais: 7/2022, Bielorrússia**

**Ibero-americanas: 9/2022, Guatemala**

**Escalão A: alunos até ao 9º ano**

**Escalão B: alunos até ao 11º ano**

**Inscrições até 12/2/2021**

**<http://olimpiadas.spf.pt>**



# TABELA DE PUBLICIDADE 2020



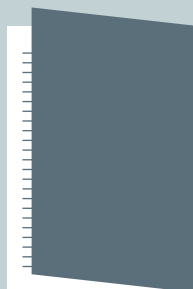
A) verso da capa



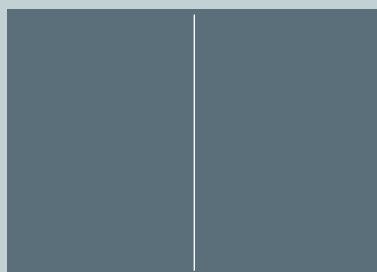
B) destacável/folha



C) verso da contracapa



D) contracapa



E) página dupla



F) página inteira



G)  
coluna ou  
1/2 página

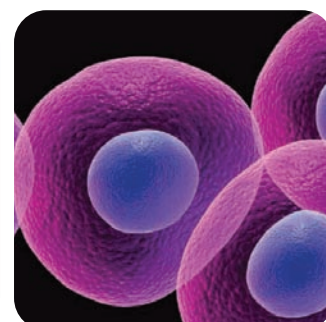
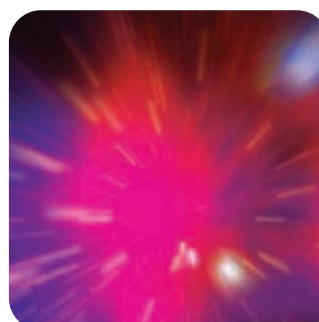
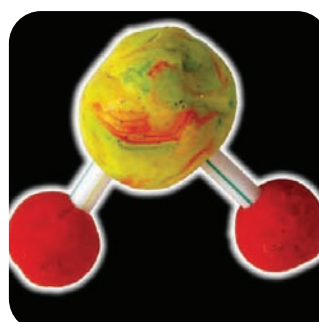
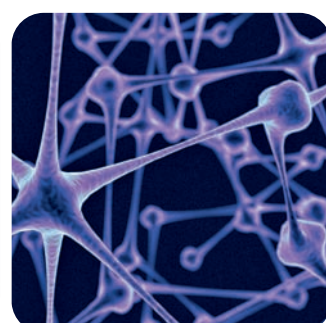
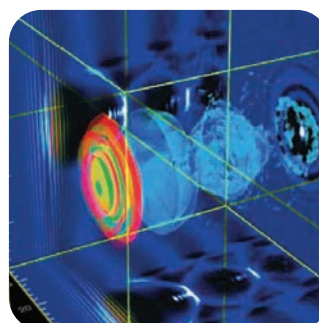
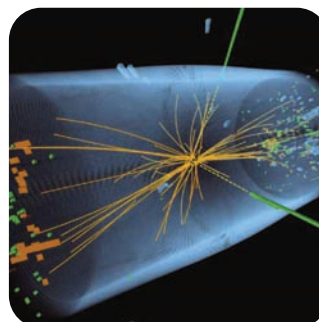


H)  
1/4 página  
ou faixa

Posição	Preço (Euros)	
	Ímpar	Par
A	1500	
B	1500	
C	1500	
D	2000	
E	2000	
F	1000	900
G	650	550
H	400	350
banner website	100/mês	



Para os físicos e amigos da física.  
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT

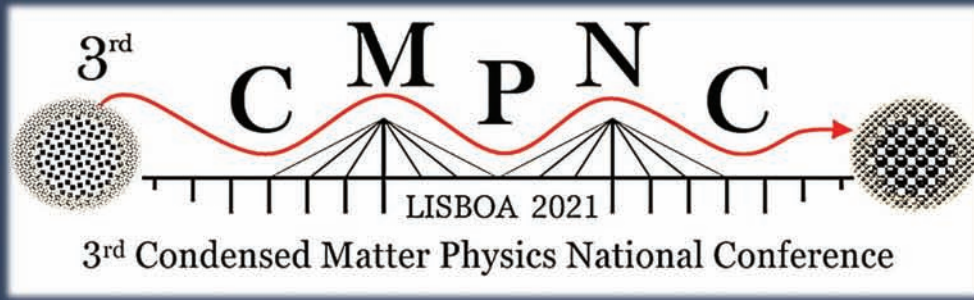


Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

Descontos de quantidade:  
2X: -20% 3X: -25% 4X: -30%

Tiragem anual 2018:  
3000 exemplares

Contactos:  
Sociedade Portuguesa de Física  
Av. República 45, 3º esq. 1050-187 Lisboa  
Tel: 351 21 799 36 65; spf@spf.pt



<https://cmpnc2021.sci-meet.net/>

Lisboa, 20 – 22 june 2021



Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Magnetism  
Semiconductors & Dielectrics  
Functional materials  
Soft Matter & Biophysics  
Strongly Correlated Electron Systems

Low-Dimensionality and Quantum Systems  
Phase Transitions and Critical Phenomena  
Nanotechnology & Devices

Submissão de resumos: até 18 de abril de 2021