GAZETA DE física

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

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA / VOL. 48 - N.º 1 / Maio / 2025 / Periodicidade: 3 x Ano / €5,00



Tecnologias Quânticas em Criptografia

A fotografia no desenvolvimento da Física em Portugal

As pioneiras no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra

Inteligência Artificial em Educação

A Fotografia no ensino da Física em Portugal no séc. XIX

sp física
SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

Índice

1 **Editorial**

artigo geral
3 **Tecnologias Quânticas em Criptografia**
Nuno A. Silva, Maurício Ferreira, Sara Mantey, Margarida Almeida, Gustavo Anjos, Nelson J. Muga, Armando N. Pinto

artigo geral
8 **Click! Estamos a Fazer Ciência! A Contribuição da Fotografia no Desenvolvimento da Física em Portugal**
Marília Peres

artigo geral
15 **As Pioneiras: Mulheres no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra (1911-1972)**
Gilberto Pereira, Décio Martins, Carlos Fiolhais

sala de professores
21 **Inteligência Artificial (IA) em Educação: uma Perspetiva**
José Braga

sala de professores
25 **A Fotografia como Ferramenta no Ensino da Física em Portugal no séc. XIX**
Marília Peres

livros e multimédia
31 **Génesis - Inteligência Artificial, Esperança e o Espírito Humano**
José Braga

crónicas
34 **Still a bit short of the Qubit – A Promessa da Computação Quântica**
Carlos Herdeiro

vamos experimentar
35 **Será um osso de mamute?**
Constança Providência, Rita Wolters

38 **Notícias**

Facebook: https://www.facebook.com/Gazeta.de.Fisica
Instagram: https://www.instagram.com/gazetadefisica

CRÉDITOS
Imagem da capa: Laboratório de Comunicações Óticas Quânticas do Instituto de Telecomunicações, Universidade de Aveiro.
Neste laboratório são implementados sistemas de criptografia quântica, nomeadamente um sistema de distribuição quântica de chaves criptográficas usando variáveis discretas, isto é, através da geração e deteção de fotões únicos. Para além disso o laboratório permite ainda o desenvolvimento de sistemas de geração quântica de números aleatórios, a implementação de sistemas de criptografia quântica baseados em variáveis contínuas, e a realização de testes do realismo não-local usando pares de fotões entrelaçados através de testes de Bell e Leggett.

Editorial

No dia 7 de junho de 2024, a Organização das Nações Unidas (ONU) proclamou 2025 como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas (Internacional Year of Quantum - IYQ). De acordo com a proclamação da ONU, o IYQ será levado à prática, promevendo um conjunto de atividades que têm o objetivo de "aumentar a conscientização pública sobre a importância da ciência quântica e das suas aplicações". A escolha de 2025 como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas decorre dos 100 anos passados desde o início do desenvolvimento da Mecânica Quântica como a conhecemos hoje. Em particular remete-nos para o centenário do artigo de Werner Heisenberg intitulado "Quantum-mechanical re-interpretation of kinematic and mechanical relations", W. Heisenberg, "Uber quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen", Z. Phys. 33, 879-893 (1925), no original, que marcou o final da chamada teoria Quântica "antiga", do início de 1900. Este artigo constituiu um marco que rapidamente conduziu às primeiras formulações completas da Mecânica Quântica, sendo a sua principal contribuição a de propor uma descrição da Mecânica Quântica baseada unicamente em relações entre quantidades observáveis.

No início do texto, Heisenberg declara logo o seu objetivo, ou seja, que se devem deixar de tomar em consideração grandezas que não são mensuráveis, como a posição ou o período orbital de um eletrão então usados, e, em vez disso, focar em relações entre grandezas que se possam medir. Em última análise, este foco nas observáveis é o que permitiu que a Mecânica Quântica se tornasse uma das teorias mais bem-sucedidas da Física. Desde essa altura, têm sido desenvolvidas múltiplas aplicações baseadas nos princípios da Mecânica Quântica, que vão desde a imagiologia aplicada à medicina e à investigação (ressonância magnética, microscopia eletrónica e outros), à optoelectrónica (lasers, LED, semicondutores, etc), até aos novos desenvolvimentos em computação quântica e criptografia.

A criptografia quântica, em particular, refere-se a vários métodos de cibersegurança para encriptar e transmitir dados seguros com base nas leis da Mecânica Quântica. As vantagens destes métodos prendem-se com o facto de a criptografia quântica ser construída com base nas leis da Física, ao contrário da criptografia tradicional, que é baseada na resolução de problemas de Matemática complexos.. Ela tem, por isso, elevado potencial para a transmissão de informação de forma inerentemente segura. A um nível quântico, as partículas podem existir simultaneamente em mais do que um estado e é impossível prever o seu estado quântico exato. Por outro lado, um sistema quântico não pode ser medido sem ser alterado e o ato de medir ou observar um sistema quântico terá sempre um efeito mensurável nesse sistema. Aproveitando estas e outras propriedades quânticas, têm sido dados passos significativos no desenvolvimento de tecnologias que permitem continuar a melhorar e a aprofundar a segurança, a confidencialidade e a privacidade dos nossos dados digitais, para um acesso, manipulação e troca segura e confiável de informação. Aqui, nesta edição da Gazeta, tomando em consideração o Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas, debruçamo-nos precisamente sobre a criptografia quântica. No artigo de capa dedicado a este tema é discutido o seu enquadramento, as suas aplicações e os seus desenvolvimentos recentes.

Mas nem só de Mecânica Quântica se faz este número da Gazeta. Assim, encontramos também um artigo que nos conta a interessante e complexa história da integração de investigadoras na Universidade de Coimbra em períodos de grande adversidade à aceitação das mulheres na Academia. Dois que debatem a importância da fotografia no desenvolvimento da Física em Portugal, tanto ao nível do ensino como da investigação, e ainda mais uma visão sobre o uso das plataformas de inteligência artificial e a sua aplicação no ensino da Física. Estes trabalhos mostram como a Física se tem desenvolvido em Portugal, como tem evoluído e como se pretende manter integrada com a atualidade.

Boas leituras

Ficha Técnica

Estatuto Editorial
http://www.spf.pt/gazeta/editorial

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

Director
Bernardo Almeida

Editores
Francisco Macedo
Olivier Pellegrino

Secretariado
Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

Comissão Editorial
José António Paixão - 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
Deolinda Campos - 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, Uinversidade 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

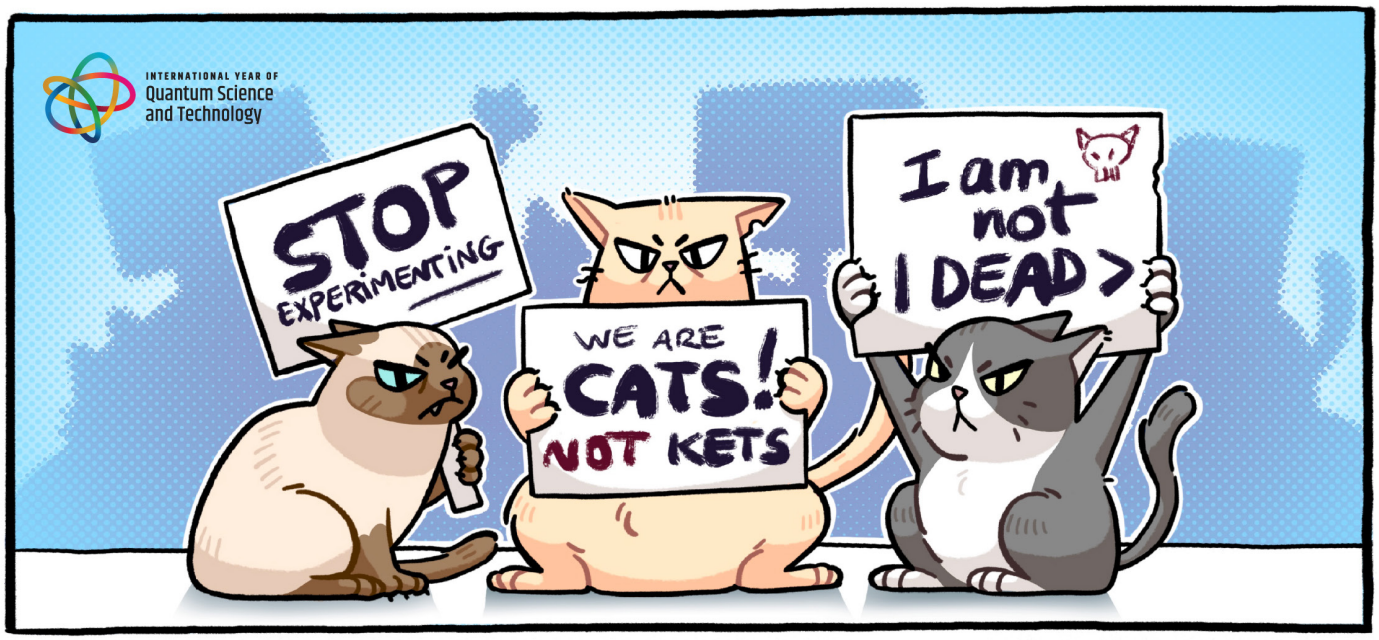
***Design* / Produção Gráfica**
Double Dot Consulting
geral@doubledot.pt

Impressão
ACD Print
Rua Marquesa d'Alorna Nº12-A, 2620-271 Ramada – Odivelas
www.acdprint.pt | geral@acdprint.pt

NIPC 501094628 **Registo ERC** 110856
ISSN 0396-3561 **Depósito Legal** 51419/91
Tiragem 1 000 Ex.

Periodicidade: 3 x Ano
As opiniões dos autores não representam necessáriamente 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.



A grande revolta dos gatos de Schrödinger após 100 anos de quântica

O que significa o protesto destes gatos? Será um protesto contra a violência contra animais? Porque é que os cartazes dizem: "stop experimenting", "we are cats not kets", "I am not |dead>"?

Tudo começou com a experiência imaginária que o físico austríaco Erwin Schrödinger propôs em 1935 para explicar como os conceitos da mecânica quântica não fazem sentido no mundo que nós conhecemos. Contou então a história de um gato, o Gato de Schrödinger, e desde então os gatos nunca mais tiveram paz, vivendo com o medo constante de estarem mortos.

Imaginemos o seguinte cenário estranho: temos uma caixa fechada e, lá dentro, está um gato, um frasco de veneno e uma máquina muito especial ligada a uma partícula radioativa. A qualquer momento, a partícula pode ou não "decair" – se decair emite um pequeno sinal que ativa a máquina. Se o sinal for emitido, o frasco de veneno parte-se e o gato morre.

Enquanto o sinal não for emitido, o gato mantém-se vivo. Nós estamos fora da caixa e não sabemos se o gato está vivo ou morto. Temos de abrir a caixa para saber. Imaginemos que temos muitas caixas iguais, que foram fechadas todas ao mesmo tempo e abertas todas ao mesmo tempo. Nalgumas caixas encontramos um gato vivo e noutras um gato morto. O que diria a mecânica quântica se o gato fosse uma partícula quântica? Enquanto ninguém abrir a caixa, o gato está simultaneamente vivo e morto. Sim, leste bem! Como é que isto pode ser possível? Não faz sentido!

Esta experiência imaginária mostra quão estranhas são as regras da mecânica quântica, um ramo da física que estuda as partículas mais pequenas do universo. Partículas como os eletrões de que certamente já ouviste falar. Nessas escalas minúsculas, as partículas podem existir em dois estados ao mesmo tempo (ou até mais do que dois) – algo chamado sobreposição de estados. Só sabemos em que estado a partícula realmente está se fizermos uma medição. No caso do gato, enquanto não abrimos a caixa para espreitar (enquanto não fizermos a medição), ele está num estado "misto", vivo e morto ao mesmo tempo.

Claro que, na vida real, os gatos não funcionam como partículas quânticas e Schrödinger não queria que ninguém colocasse gatos em caixas! A experiência é apenas uma metáfora que nos ajuda a compreender que, no mundo quântico, as partículas comportam-se de forma que desafia o nosso senso comum.

Os cartazes no protesto brincam com esta ideia. "Stop experimenting" pede o fim de experiências hipotéticas que colocam os gatos em situações em que podem ser mortos. "We are cats, not kets" é um trocadilho com o termo "ket", um termo usado na mecânica quântica para representar estados quânticos, o estado das partículas. Já a frase "I am not |dead>" é uma piada sobre a notação usada na física: "|dead>" é a notação usada para o ket que representa o estado "morto" do gato.

No nosso mundo macroscópico, não faz qualquer sentido dizer que um objeto – ou um animal, como um gato - existe em dois estados ao mesmo tempo. A experiência do Gato Schrödinge é famosa por mostrar como é absurdo pensar no nosso mundo macroscópico como se fosse um mundo quântico. O protesto imaginário dos gatos é uma forma bem-humorada de lembrar que, por mais que a ciência avance, os gatos (felizmente!) preferem ser apenas... gatos.

Seja na ciência ou no humor, o Gato de Schrödinger continua a inspirar e desafiar a nossa forma de ver o mundo!

Autores da ilustração
Sagar Pratapsi é o autor da ideia associada à ilustração e do texto dos cartazes de protesto. É professor do curso "Computação e Tecnologias Quânticas" da Universidade de Coimbra, e pertence ao grupo Quantum@UC.
Joana Esteves ilustrou o protesto dos gatos. É uma ilustradora profissional original de Vila Real, que vive e trabalha em Coimbra. Para ver mais dos seus trabalhos, pode visitar o seu website joanaesteves.pt.

Autoras do texto
Helena Alberto e **Constança Providência**, ambas professoras de Física, pertencendo ao Centro de Física da Universidade de Coimbra.

3
artigo geral
VOL. 48 - N.1

Tecnologias Quânticas em Criptografia

Nuno A. Silva[1], Maurício Ferreira[1,2], Sara Mantey[1,2], Margarida Almeida[1,2], Gustavo Anjos[1], Nelson J. Muga[1], Armando N. Pinto[1,2]

[1]Instituto de Telecomunicações e Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

[2]Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

nasilva@ua.pt

Resumo

A segurança e a privacidade dos nossos dados digitais são atualmente garantidas assumindo que entidades sem acesso legítimo aos mesmos dispõem de capacidades computacionais limitadas. Contudo, recentes desenvolvimentos alcançados nas áreas da computação em rede e da computação quântica prometem colocar desafios inultrapassáveis aos protocolos criptográficos implementados nos atuais dispositivos. Em particular, os protocolos criptográficos de chave assimétrica são conhecidos pelas suas vulnerabilidades a ataques baseados em computação quântica. No entanto, uma nova classe de protocolos criptográficos baseados nos princípios da mecânica quântica oferecem uma abordagem inovadora, capaz de solucionar o problema de segurança e privacidade na proteção dos dados.

Introdução

A criptografia quântica, ou mais especificamente, o uso das propriedades quânticas para a codificação e descodificação de informação secreta nasceu com Stephen Wieser em 1983 [1]. Esse trabalho pioneiro deu origem a uma nova área de investigação e desenvolvimento, isto é, a criptografia quântica. Atualmente, a codificação de informação através de criptografia clássica baseia-se na complexidade de certos problemas matemáticos, tal como a factorização de números inteiros, os quais um computador clássico pode demorar séculos a resolver [2], [3]. Os computadores quânticos têm a capacidade de resolver certos problemas matemáticos muito mais rapidamente que computadores clássicos. Um exemplo desses problemas é precisamente a factorização de números inteiros, colocando dessa forma em causa a segurança da criptografia clássica e, consequentemente, a confidencialidade de grande parte da informação que atualmente circula pela Internet [4]. Como termo de comparação, um processador quântico fotónico desenvolvido em 2022 resolveu uma tarefa especifica (amostragem de bosões) em 36 microssegundos, enquanto um computador clássico teria precisado de 9000 anos [5].

A criptografia quântica tem como objetivo principal o uso das propriedades da mecânica quântica para encriptar e transmitir dados num canal de comunicação de forma segura. Um dos exemplos mais conhecidos nesta área de investigação é a geração e distribuição de chaves simétricas em canais de comunicação públicos, usualmente denominada de distribuição quântica de chaves (QKD). De forma detalhada, entidades que pretendem comunicar de forma segura recorrem à QKD para criarem uma chave simétrica secreta que permita codificar e descodificar uma dada mensagem de forma segura. Ao contrário da criptografia clássica, a criptografia quântica é segura independentemente da capacidade computacional que um adversário possa ter [6]. Isto porque a segurança da QKD baseia-se nas propriedades de efeitos quânticos que se regem pelos princípios da mecânica quântica, tais como o princípio da incerteza e o princípio da não clonagem. Fazendo uso desses princípios, é sempre possível detetar a presença de um espião que tenta atacar o sistema durante a implementação do protocolo que permite gerar uma chave secreta entre duas entidades separadas no espaço.

Os protocolos de QKD dividem-se em duas categorias principais, dependendo do uso de variáveis discretas (DV-QKD) ou de variáveis contínuas (CV-QKD). DV-QKD corresponde ao método inicialmente proposto para a distribuição de chaves e baseia-se no uso das propriedades discretas de fotões únicos para gerar a chave secreta [7]. Mais recentemente, foi proposto o uso das propriedades contínuas dos estados coerentes para extrair uma chave secreta, denominada de CV-QKD [8], [9]. Para além destas duas categorias de sistemas de QKD, existe uma terceira categoria que é baseada nas propriedades do entrelaçamento quântico. Esta categoria de sistemas QKD foi proposta em 1991 por Artur Ekert [6]. Apesar de ser um aspeto frequentemente negligenciado, é fundamental garantir que as chaves geradas pelos sistemas de criptografia quântica possuem propriedades adequadas ao fim a que se destinam. Como descrito pelo princípio de Kerckhoffs [10], a imprevisibilidade da chave criptográfica é determinante para a segurança de um protocolo de QKD. Assim, a segurança destes sistemas criptográficos depende implicitamente da qualidade da fonte de entropia utilizada e, por conseguinte, do gerador de números aleatórios (RNG) escolhido para a implementação das diferentes fases dos protocolos [11]. Se do RNG resultarem sequências correlacionadas, ou o método de geração de aleatoriedade for passível de ser manipulado por um adversário, a segurança do protocolo não é garantida [12].

Até agora, os geradores pseudoaleatórios (PRNGs) têm sido a abordagem mais utilizada para a obtenção da aleatoriedade requeridas pelos protocolos. Infelizmente, estes geradores são deterministas e inerentemente periódicos, tornando-se previsíveis para um adversário com recursos computacionais suficientes

[13]. Na verdade, estes ataques criptoanalíticos a PRNGs são cada vez mais comuns devido à crescente capacidade computacional e a técnicas emergentes como *Machine Learning* (ML) que permitem identificar padrões nas sequências aleatórias [14]. Adicionalmente, PRNGs são particularmente vulneráveis à introdução de *backdoors* e a falhas catastróficas por erros de implementação, tendo sido já responsáveis por diversos ataques bem-sucedidos [15]. Assim, apesar de existirem implementações consideradas criptograficamente seguras, a sua fiabilidade a longo prazo não pode ser garantida.

Geradores quânticos de números aleatórios (QRNGs) exploram as propriedades das medições de fenómenos quânticos para colmatar as falhas de segurança dos seus homólogos clássicos. Ao contrário dos últimos [16], [17], a sua fonte de aleatoriedade não se baseia numa mera dificuldade em modelar um sistema determinístico complexo, fundamentando-se antes num processo inerentemente probabilístico [11]. Tal torna estes sistemas particularmente atrativos para aplicações criptográficas.

Geração quântica de números aleatórios

As primeiras propostas para QRNGs exploravam a aleatoriedade associada aos processos de decaimentos radioativos, o que, dada a sua natureza, dificultava em muito a sua implementação em termos práticos [18]. Em geral, os esquemas contemporâneos exploram as propriedades quânticas de sistemas óticos, que, para além de permitirem implementações muito mais práticas e seguras do ponto de vista da integridade do utilizador, permitem também alcançar taxas de geração muito mais elevadas. Uma outra vantagem destes sistemas óticos é o facto de utilizarem tecnologias eletro-ópticas largamente utilizadas em sistemas de telecomunicações clássicos atualmente implementados [11]. Tal como na QKD, estas fontes de entropia subdividem-se entre as que medem propriedades discretas de fotões únicos [19], [20] e as que analisam variáveis contínuas [10]. Apesar de a primeira abordagem ser conceptualmente mais simples, a deteção macroscópica evita limitações associadas às técnicas de deteção de fotões únicos, como o *deadtime* dos detetores, permitindo fornecer taxas de geração mais elevadas [11]. Desta forma, sistemas que exploram fenómenos tão diversos como a emissão espontânea amplificada [21], [22], o espalhamento estimulado de Raman [23], o ruído de fase de um laser [24], ou as flutuações de quadratura de um estado vácuo [25], [26], foram já implementados. Não obstante o desempenho obtido ser dependente de cada implementação e da fonte de entropia escolhida, foram já demonstradas taxas de geração de números aleatórios até 100 Gbps [27].

Apesar de intrinsecamente probabilísticas, outras fontes de ruído de origem clássica, como o ruído eletrónico, estão geralmente presentes nos geradores quânticos. Consequentemente, algoritmos de extração de aleatoriedade computacionalmente exigentes são normalmente necessários para obter uma implementação teoricamente segura [28]. A maioria destes protocolos de geração assume um adversário passivo, incapaz de ativamente manipular o gerador, e fundamenta a sua segurança numa caracterização extensiva da implementação experimental [29]. Desta forma, estas implementações permanecem geralmente vulneráveis a formas de manipulação ativas, como controlo da temperatura [30], [31]. Ainda assim, existem QRNGs que oferecem uma segurança independente dos diversos componentes que os compõem, garantindo a aleatoriedade e privacidade das chaves geradas através da verificação de desigualdades de Bell [32], [33]. Estes esquemas fornecem o maior nível de segurança possível, removendo a necessidade de confiar na própria implementação, mas sacrificam gravemente as taxas de geração alcançáveis. Como um compromisso entre estas duas abordagens, implementações híbridas que mantêm a confiança apenas em parte do gerador, tipicamente na fonte ótica [34], [35] ou no sistema de medição [36], [37], têm-se tornado cada vez mais populares. Adicionalmente, uma área de desenvolvimento importante tem sido a sua implementação em plataformas fotónicas integradas capazes de se aproximar dos custos e facilidade de utilização dos PRNGs tradicionais [38], [39]. Recentemente, integrámos um gerador de números aleatórios baseado nas flutuações de quadratura de um estado vácuo num servidor de rede, podendo este ser acedido remotamente.

Criptografia quântica com variáveis discretas

Os sistemas DV-QKD baseiam-se na utilização de propriedades discretas de fotões únicos, como a polarização, para codificar a chave secreta [40]. Neste caso, o transmissor, geralmente conhecido como Alice, prepara os fotões modulando a sua polarização de acordo com duas sequências de números aleatórios, uma das quais serve para definir a unidade de informação quântica (geralmente denominado qubit) a ser codificada e a segunda servirá para definir a base a ser usada para codificar o mesmo qubit. De seguia, a Alice envia os fotões para o recetor, geralmente conhecido por Bob. O Bob, por sua vez, mede a polarização dos fotões recebidos utilizando detetores de fotões únicos. As especificações que a Alice e o Bob usam para enviar/receber os fotões são definidos pelo protocolo QKD a ser aplicado.

O primeiro protocolo de QKD foi desenvolvido em 1984 por Charles Bennett e Giles Brassard, sendo conhecido como protocolo BB84 [7]. No total, existem seis estados de polarização que per-

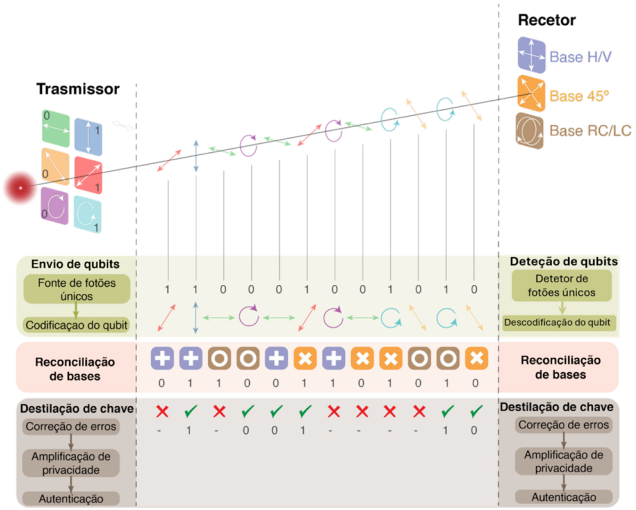


Figura 1 - Representação esquemática do princípio de funcionamento de um protocolo de QKD. No transmissor são representados os seis estados de polarização que podem ser usados para codificar os qubits, enquanto no recetor estão representadas as três bases correspondentes. Apos a codificação da chave usando a polarização dos fotões únicos, estes são enviados para o recetor onde é feita a respetiva descodificação. Após esta fase dá se a reconciliação de bases e a destilação da chave que dará como produto final uma chave secreta e simétrica no transmissor e recetor.

tencem a três bases mutuamente não ortogonais: a base retilínea que inclui os estados de polarização horizontal e vertical, a base diagonal, com os estados diagonal e anti-diagonal, e a base circular que engloba os estados circular direito e circular esquerdo, tal como mostra a Fig. 1. Na implementação do BB84, são usados quatro destes seis estados, por exemplo, os estados das bases retilínea e circular. Assim, Alice gera duas sequências de números aleatórios utilizando um QRNG para codificar os qubits. Uma destas sequências decide a base a usar e a outra o estado dessa mesma base. Por exemplo, o valor '0' da primeira sequência corresponderia à base retilínea e o valor '1' à base circular. Da mesma forma, o valor '0' da segunda sequência corresponderia ao estado horizontal ou circular direito, enquanto o valor '1' corresponderia ao estado vertical ou circular esquerdo. No recetor, Bob gera apenas uma sequência de números aleatórios que definem em que base ele vai medir a polarização dos fotões que recebe. Após a medição da polarização, dada de forma discreta através da observação de qual dos dois detetores de fotões únicos deu clique, ele regista qual a polarização medida e em que base foi realizada a medição. Dado que Bob escolhe aleatoriamente a base em que vai medir, ele apenas vai acertar nas bases usadas pela Alice em 50 % dos fotões recebidos. Nos casos em que as bases da Alice e do Bob não coincidem, a medição da polarização tem 50 % de probabilidade de estar correta e 50 % de estar errada. De seguida, Alice e Bob tornam público que bases utilizaram para a codificação/medição. Nos casos em que não escolheram a mesma base o qubit é descartado, enquanto os qubits em que as bases coincidem correspondem à chave secreta que vão usar para codificar e descodificar a mensagem secreta que pretendem partilhar. O processo de obtenção da chave a partir dos bits enviados é conhecido por destilação da chave.

Devido a perturbações no canal através do qual são enviados os fotões, pode haver erros na chave partilhada entre Alice e Bob que precisam de ser corrigidos. Para estimar a percentagem de erros existentes na chave, parte desta é partilhada através de um canal público. Ao parâmetro que define a taxa quântica de erros existentes denomina-se de quantum bit error rate (QBER). Durante a correção de erros perde-se alguma segurança da chave, dado que é partilhada informação no canal público obtida a partir da chave. Assim, é necessário proceder à amplificação da privacidade e de seguida à autenticação [41].

A deteção de um espião, geralmente chamado Eve, é feita através da medição do QBER mencionado anteriormente. Como entidade externa, a Eve não sabe quais foram as bases escolhidas pela Alice na fase de codificação e, numa tentativa de conseguir obter informação sobre os fotões enviados para o Bob, vai fazer as suas medidas escolhendo as suas bases de medição de forma aleatória. Este aspeto faz com que a Eve acerte nas bases em apenas 50 % das suas medições. De notar que, de acordo com a mecânica quântica (particularmente o teorema da não-clonagem) um estado quântico desconhecido não pode ser clonado. Do ponto de vista do espião no canal quântico, isto significa que sempre que as bases da Alice e da Eve não coincidam o estado enviado pela Alice não poderá ser clonado pela Eve. Nos restantes 50 % em que não acertou na base, o resultado da medição da polarização vai ser aleatório. Desta forma, se a Eve decidir reenviar para o Bob os fotões com a polarização que mediu, numa tentativa de não ser detetada, a Alice e o Bob, ao comparem as suas chaves vão aperceber-se que tem cerca de 25 % de erros, conseguindo detetar a presença de um espião [41]. Para provar a segurança do protocolo e para estimar a quantidade de informação que a Eve consegue alcançar, consoante a probabilidade de ser detetada, existem as provas de segurança. Estas provas geralmente usam argumentos da teoria de informação e dão uma estimativa de quanta informação terá de ser sacrificada para garantir que a Eve não obteve informação nenhuma [42] [43].

Distribuição de chaves quânticas com variáveis contínuas

Os sistemas CV-QKD fazem uso das propriedades dos estados coerentes para obter uma chave secreta, partilhada pela Alice e pelo Bob. Os estados coerentes são facilmente obtidos recorrendo a lasers comerciais [8], [9]. No geral, a CV-QKD faz uso de dispositivos comuns, bastante estudados e utilizados nas telecomunicações clássicas, tornando a implementação prática de sistemas CV-QKD não só mais barata, como mais simples do que a implementação dos sistemas DV-QKD [44], [45], [46]. Num protocolo de CV-QKD tradicional, a Alice modela as quadraturas de estados coerentes tendo por base modelação gaussiana ou modelação discreta [9], [47], [48]. O sinal laser que a Alice usa é bastante atenuado antes de ser transmitido. O Bob recorre a deteção coerente clássica, com o apoio de um sinal laser de alta intensidade, para medir as quadraturas do sinal enviado pela Alice. Dependendo do tipo de deteção usada, deteção homodína ou heterodína, o Bob consegue medir apenas uma ou as duas quadraturas do sinal, respetivamente. O uso de deteção heterodína permite usar o canal de forma mais eficiente e não requer a reconciliação de base, tal como exigido nos sistemas DV-QKD [49]. A segurança de um sistema CV-QKD considera, usualmente, o uso de modelação gaussiana ideal para modelar os estados coerentes [50], [51]. No entanto, apesar de, teoricamente, este formato ter um desempenho ótimo [52], a sua implementação prática revela-se desafiante, acabando por ser muito difícil obter uma modelação gaussiana ideal [50], [53]. Como tal, tem vindo a aumentar a aplicação de modelação discreta para modelar os estados coerentes [48]. Os formatos de modelação discreta são equivalentes aos usados nas comunicações clássicas, no entanto, ainda não foi obtida uma prova de segurança incondicional tendo em conta os ataques mais poderosos que um espião pode efetuar. Mesmo assim, já foi possível concluir que, recorrendo ao uso de modelação discreta de ordem elevada, é possível aproximar o desempenho da modelação gaussiana [50], simplificando a implementação prática.

Para determinar a segurança da informação que a Alice e o Bob têm após a transmissão, a Alice e o Bob recorrem à estimação de parâmetros [54]. Durante este processo, é possível estimar os parâmetros do canal, especialmente o ruído associado a um potencial espião. Para tal, é necessário partilhar parte da informação que cada um tem, conseguindo, com isso, estimar o tamanho máximo da chave que podem extrair. A informação partilhada é descartada, não sendo utilizada nas fases posteriores do protocolo.

É de notar que a informação adquirida pelo Bob é ruidosa [55], e que, tanto a informação gerada pela Alice, como a adquirida pelo Bob, são compostas por valores reais, e não por valores binários. O passo denominado por reconciliação de informação é responsável por extrair uma chave binária através da informação

transmitida no canal quântico, garantindo que o transmissor e o recetor adquirem uma sequência binária igual [56], [57]. A reconciliação das chaves é o passo mais exigente computacionalmente nos sistemas CV-QKD e o que mais dificulta a sua implementação em tempo real.

Após a reconciliação de informação, a sequência binária partilhada entre a Alice e o Bob é apenas parcialmente secreta [58], [59], visto que um adversário pode ter informação de parte desta sequência. Recorrendo à informação obtida durante a estimação de parâmetros, a Alice e o Bob aplicam o passo de amplificação de privacidade, de forma a extrair uma chave binária idêntica, completamente secreta [58], [59].

Atuais desafios da Criptografia Quântica

Novos desenvolvimentos em QRNGs têm-se focado principalmente em aumentar as taxas de geração que podem ser alcançadas. Neste âmbito, uma preocupação fundamental é a redução da penalização introduzida pela complexidade computacional dos algoritmos de extração de aleatoriedade [60]. Adicionalmente, técnicas para maximizar a entropia disponível têm sido propostas como a implementação de fontes de aleatoriedade paralelas [61], [62] ou a otimização da amostragem do ruído [63]. Além disso, recentemente, novos protocolos semi-independentes dos dispositivos baseados em limites de energia [64], [65] ou sobreposição [66] dos estados medidos têm ganho atenção. Estes permitem relaxar a confiança necessária no sistema de medição, mantendo as taxas de geração tipicamente associadas a esquemas CV independentes da fonte ótica.

Atualmente, o desenvolvimento dos sistemas CV-QKD a nível experimental centra-se no estudo de soluções que permitam aumentar a distância entre a Alice e o Bob para a qual é possível extrair chaves criptográficas secretas. Por outro lado, o aumento da taxa de chaves secretas é ainda um tópico de estudo pela comunidade científica. Nesse sentido, está a ser analisada a aplicação de multiplexagem por divisão de frequência e multiplexagem de polarização para transmitir a informação entre a Alice e o Bob [67], [68]. Adicionalmente, tendo vindo a ganhar o interesse do estudo de sistemas CV-QKD coexistentes com sistemas de comunicações clássicas, o estudo de sistemas CV-QKD com propagação do sinal através do espaço livre, e ainda o estudo de sistemas CV-QKD baseados em estados entrelaçados [69]. No futuro, espera-se que os sistemas de CV-QKD sejam cada vez mais compactos, sendo para tal integrados em chips fotónicos [69].

Agradecimentos

Este trabalho é financiado pela FCT/MEC através de fundos nacionais no âmbito do projeto PTDC/EEI-TEL/8017/2020. Este trabalho foi ainda suportado pelo financiamento FCT/MEC através das bolsas 2022.09584.BD, 2021.06085.BD e UI/BD/153377/2022, associadas respetivamente aos autores M. Ferreira, S. Mantey e M. Almeida.

Referências

[1] S. Wiesner, "Conjugate coding," ACM Sigact News, vol. 15, no. 1, pp. 78–88, 1983.
[2] P. W. Shor, "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer," SIAM review, vol. 41, no. 2, pp. 303–332, 1999.
[3] C. Cheng, R. Lu, A. Petzoldt, and T. Takagi, "Securing the Internet of Things in a quantum world," IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 2, pp. 116–120, 2017.
[4] A. Sharma and A. Kumar, "A survey on quantum key distribution," in 2019 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 2019, pp. 1–4.
[5] L. S. Madsen et al., "Quantum computational advantage with a programmable photonic processor," Nature, vol. 606, no. 7912, pp. 75–81, 2022.
[6] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, and H. Zbinden, "Quantum cryptography," Rev Mod Phys, vol. 74, no. 1, p. 145, 2002.
[7] C. H. Bennett and G. Brassard, "Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing," in International Conference on Computer Systems and Signal Processing (ICCSSP), 1984, pp. 175–179.
[8] C. Weedbrook et al., "Gaussian quantum information," Rev Mod Phys, vol. 84, no. 2, pp. 621–669, May 2012, doi: 10.1103/RevModPhys.84.621.
[9] F. Grosshans and P. Grangier, "Continuous Variable Quantum Cryptography Using Coherent States," Phys Rev Lett, vol. 88, no. 5, p. 057902, Jan. 2002, doi: 10.1103/PhysRevLett.88.057902.
[10] M. Herrero-Collantes and J. C. Garcia-Escartin, "Quantum random number generators," Rev. Mod. Phys., vol. 89, no. 1, p. 15004, Feb. 2017, doi: 10.1103/RevModPhys.89.015004.
[11] V. Mannalatha, S. Mishra, and A. Pathak, "A comprehensive review of quantum random number generators: concepts, classification and the origin of randomness," Quantum Inf Process, vol. 22, no. 12, p. 439, 2023, doi: 10.1007/s11128-023-04175-y.
[12] J. Bouda, M. Pivoluska, M. Plesch, and C. Wilmott, "Weak randomness seriously limits the security of quantum key distribution," Phys. Rev. A, vol. 86, no. 6, p. 62308, Dec. 2012, doi: 10.1103/PhysRevA.86.062308.
[13] J. Kelsey, B. Schneier, D. Wagner, and C. Hall, "Cryptanalytic attacks on pseudorandom number generators," in Fast Software Encryption, S. Vaudenay, Ed., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1998, pp. 168–188.
[14] N. D. Truong, J. Y. Haw, S. M. Assad, P. K. Lam, and O. Kavehei, "Machine Learning Cryptanalysis of a Quantum Random Number Generator," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 14, no. 2, pp. 403–414, 2019, doi: 10.1109/TIFS.2018.2850770.
[15] G. Markowsky, "The Sad History of Random Bits," Journal of Cyber Security and Mobility, vol. 3, no. 1, pp. 1–24, 2014, doi: https://doi.org/10.13052/jcsm2245-1439.311.
[16] G. and V. P. Marangon Davide G. and Vallone, "Random bits, true and unbiased, from atmospheric turbulence," Sci Rep, vol. 4, no. 1, p. 5490, Jun. 2014, doi: 10.1038/srep05490.
[17] J.-C. Hsueh and V. H.-C. Chen, "An ultra-low voltage chaos-based true random number generator for IoT applications," Microelectronics J, vol. 87, pp. 55–64, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.mejo.2019.03.013.
[18] A. Alkassar, T. Nicolay, and M. Rohe, "Obtaining True-Random Binary Numbers from a Weak Radioactive Source," in Computational Science and Its Applications -- ICCSA 2005, O. Gervasi, M. L. Gavrilova, V. Kumar, A. Laganà, H. P. Lee, Y. Mun, D. Taniar, and C. J. K. Tan, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 634–646.
[19] Y. Zhang et al., "A simple low-latency real-time certifiable quantum random number generator," Nat Commun, vol. 12, no. 1, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1038/s41467-021-21069-8.
[20] L. Nguyen, P. Rehain, Y. M. Sua, and Y.-P. Huang, "Programmable quantum random number generator without postprocessing," Opt Lett, 2018, doi: 10.1364/ol.43.000631.
[21] Y. Guo et al., "40 Gb/s quantum random number generation based on optically sampled amplified spontaneous emission," APL Photonics, vol. 6, no. 6, p. 066105, Jun. 2021, doi: 10.1063/5.0040250.
[22] A. Martin, B. Sanguinetti, C. C. W. Lim, R. Houlmann, and H. Zbinden, "Quantum Random Number Generation for 1.25-GHz Quantum Key Distribution Systems," Journal of Lightwave Technology, vol. 33, no. 13, pp. 2855–2859, 2015, doi: 10.1109/JLT.2015.2416914.
[23] P. J. Bustard et al., "Quantum random bit generation using energy fluctuations in stimulated Raman scattering," Opt Express, 2013, doi: 10.1364/oe.21.029350.
[24] M. Huang, Z. Chen, Y. Zhang, and H. Guo, "A Phase Fluctuation Based Practical Quantum Random Number Generator Scheme with Delay-Free Structure," Applied Sciences, vol. 10, no. 7, 2020, doi: 10.3390/app10072431.
[25] T. Gehring et al., "Homodyne-based quantum random number generator at 2.9 Gbps secure against quantum side-information," Nat Commun, vol. 12, Feb. 2021, doi: 10.1038/s41467-020-20813-w.
[26] M. J. Ferreira, N. A. Silva, A. N. Pinto, N. J. Muga, Characterization of a Quantum Random Number Generator Based on Vacuum Fluctuations, Applied Sciences, Vol. 11, No. 16, pp. 7413-1 - 7413-16, August, 2021.
[27] C. Bruynsteen, T. Gehring, C. Lupo, J. Bauwelinck, and X. Yin, "100-Gbit/s Integrated Quantum Random Number Generator Based on Vacuum Fluctuations," PRX Quantum, vol. 4, no. 1, p. 10330, Mar. 2023, doi: 10.1103/PRXQuantum.4.010330.
[28] X. Ma, F. Xu, H. Xu, X. Tan, B. Qi, and H.-K. Lo, "Postprocessing for quantum random-number generators: Entropy evaluation and randomness extraction," Phys. Rev. A, vol. 87, no. 6, p. 62327, Jun. 2013, doi: 10.1103/PhysRevA.87.062327.
[29] J. Thewes, C. Lüders, and M. Aßmann, "Eavesdropping attack on a trusted continuous-variable quantum random-number generator," Phys Rev A (Coll Park), 2019, doi: 10.1103/PhysRevA.100.052318.
[30] Y. and W. W. and M. X. and W. H. and D. Q. and M. Z. Li Yuanhao and Fei, "Analysis of the effects of temperature increase on quantum random number generator," The European Physical Journal D, vol. 75, no. 2, p. 69, Feb. 2021, doi: 10.1140/epjd/s10053-021-00087-7.
[31] P. R. Smith, D. G. Marangon, M. Lucamarini, Z. L. Yuan, and A. J. Shields, "Out-of-Band Electromagnetic Injection Attack on a Quantum Random Number Generator," Phys Rev Appl, 2021, doi: 10.1103/PhysRevApplied.15.044044.
[32] Y. Zhang et al., "Experimental Low-Latency Device-Independent Quantum Randomness," Phys Rev Lett, 2020, doi: 10.1103/PhysRevLett.124.010505.
[33] L. K. Shalm et al., "Device-independent randomness expansion with entangled photons," Nat Phys, vol. 17, no. 4, pp. 452–456, 2021, doi: 10.1038/s41567-020-01153-4.
[34] T. Wu, C.-H. Zhang, X.-Y. Zhou, J. Li, and Q. Wang, "Measurement-Device-Independent Quantum Random-Number Generator With Source Flaws," IEEE Photonics J, vol. 15, no. 6, pp. 1–5, 2023, doi: 10.1109/JPHOT.2023.3331547.
[35] A. Tavakoli, "Semi-Device-Independent Framework Based on Restricted Distrust in Prepare-and-Measure Experiments," Phys Rev Lett, vol. 126, no. 21, p. 210503, May 2021, doi: 10.1103/PhysRevLett.126.210503.
[36] M. Avesani, D. G. Marangon, G. Vallone, and P. Villoresi, "Source-device-independent heterodyne-based quantum random number generator at 17 Gbps," Nat Commun, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1038/s41467-018-07585-0.
[37] B. Xu et al., "High speed continuous variable source-independent quantum random number generation," Quantum Sci Technol, vol. 4, no. 2, p. 025013, 2019, doi:

10.1088/2058-9565/ab0fd9.
[38] N. Leone et al., "An optical chip for self-testing quantum random number generation," APL Photonics, vol. 5, no. 10, p. 101301, Oct. 2020, doi: 10.1063/5.0022526.
[39] B. Bai et al., "18.8 Gbps real-time quantum random number generator with a photonic integrated chip," Appl Phys Lett, vol. 118, no. 26, p. 264001, 2021, doi: 10.1063/5.0056027.
[40] S. T. Mantey, N. A. Silva, A. N. Pinto, N. J. Muga, Design and implementation of a polarization-encoding system for quantum key distribution, Journal of Optics (United Kingdom), Vol. 26, No. 6, pp. 075704 - 075704, June, 2024.
[41] V. Martin, J. Martinez-Mateo, and M. Peev, "Introduction to quantum key distribution," Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, pp. 1–17, 2017.
[42] B. Kraus, N. Gisin, and R. Renner, "Lower and upper bounds on the secret-key rate for quantum key distribution protocols using one-way classical communication," Phys Rev Lett, vol. 95, no. 8, p. 80501, 2005.
[43] R. Renner, N. Gisin, and B. Kraus, "Information-theoretic security proof for quantum--key-distribution protocols," Phys Rev A (Coll Park), vol. 72, no. 1, p. 12332, 2005.
[44] Z. Li, Y.-C. Zhang, F. Xu, X. Peng, and H. Guo, "Continuous-variable measurement--device-independent quantum key distribution," Phys Rev A (Coll Park), vol. 89, no. 5, p. 052301, May 2014, doi: 10.1103/PhysRevA.89.052301.
[45] R. Namiki, A. Kitagawa, and T. Hirano, "Secret key rate of a continuous-variable quantum-key-distribution scheme when the detection process is inaccessible to eavesdroppers," Phys Rev A (Coll Park), vol. 98, no. 4, p. 042319, Oct. 2018, doi: 10.1103/PhysRevA.98.042319.
[46] P. Huang, J. Fang, and G. Zeng, "State-discrimination attack on discretely modulated continuous-variable quantum key distribution," Phys Rev A (Coll Park), vol. 89, no. 4, p. 042330, Apr. 2014, doi: 10.1103/PhysRevA.89.042330.
[47] M. Almeida, D. Pereira, N. J. Muga, M. Facão, A. N. Pinto, N. A. Silva, Secret key rate of multi-ring M-APSK continuous variable quantum key distribution, Optics Express, Vol. 29, No. 23, pp. 38669 - 38669, November, 2021.
[48] A. Leverrier and P. Grangier, "Continuous-variable quantum-key-distribution protocols with a non-Gaussian modulation," Phys Rev A (Coll Park), vol. 83, no. 4, p. 042312, Apr. 2011, doi: 10.1103/PhysRevA.83.042312.
[49] C. Weedbrook, A. M. Lance, W. P. Bowen, T. Symul, T. C. Ralph, and P. K. Lam, "Quantum Cryptography Without Switching," Phys Rev Lett, vol. 93, no. 17, p. 170504, Oct. 2004, doi: 10.1103/PhysRevLett.93.170504.
[50] A. Denys, P. Brown, and A. Leverrier, "Explicit asymptotic secret key rate of continuous-variable quantum key distribution with an arbitrary modulation," Quantum, vol. 5, p. 540, Sep. 2021, doi: 10.22331/q-2021-09-13-540.
[51] E. Kaur, S. Guha, and M. M. Wilde, "Asymptotic security of discrete-modulation protocols for continuous-variable quantum key distribution," Phys Rev A (Coll Park), vol. 103, no. 1, p. 012412, Jan. 2021, doi: 10.1103/PhysRevA.103.012412.
[52] P. Jouguet, S. Kunz-Jacques, and A. Leverrier, "Long-distance continuous-variable quantum key distribution with a Gaussian modulation," Phys Rev A (Coll Park), vol. 84, no. 6, p. 062317, Dec. 2011, doi: 10.1103/PhysRevA.84.062317.
[53] W.-B. Liu et al., "Homodyne Detection Quadrature Phase Shift Keying Continuous--Variable Quantum key Distribution with High Excess Noise Tolerance," PRX Quantum, vol. 2, no. 4, p. 040334, Nov. 2021, doi: 10.1103/PRXQuantum.2.040334.
[54] A. Leverrier, F. Grosshans, and P. Grangier, "Finite-size analysis of a continuous--variable quantum key distribution," Phys Rev A (Coll Park), vol. 81, no. 6, p. 062343, Jun. 2010, doi: 10.1103/PhysRevA.81.062343.
[55] N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, and H. Zbinden, "Quantum cryptography," Rev Mod Phys, vol. 74, no. 1, pp. 145–195, Mar. 2002, doi: 10.1103/RevModPhys.74.145.
[56] G. Brassard and L. Salvail, "Secret-Key Reconciliation by Public Discussion," in Advances in Cryptology — EUROCRYPT '93, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 410–423. doi: 10.1007/3-540-48285-7_35.
[57] G. Limei, R. Qi, J. Di, and H. Duan, "QKD Iterative Information Reconciliation Based on LDPC Codes," International Journal of Theoretical Physics, vol. 59, no. 6, pp. 1717–1729, Jun. 2020, doi: 10.1007/s10773-020-04438-9.
[58] Q. Li, B.-Z. Yan, H.-K. Mao, X.-F. Xue, Q. Han, and H. Guo, "High-Speed and Adaptive FPGA-Based Privacy Amplification in Quantum Key Distribution," IEEE Access, vol. 7, pp. 21482–21490, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2896259.
[59] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, and U. M. Maurer, "Generalized privacy amplification," IEEE Trans Inf Theory, vol. 41, no. 6, pp. 1915–1923, 1995, doi: 10.1109/18.476316.
[60] A. Stanco et al., "Versatile and Concurrent FPGA-Based Architecture for Practical Quantum Communication Systems," IEEE Transactions on Quantum Engineering, vol. 3, pp. 1–8, 2022, doi: 10.1109/TQE.2022.3143997.
[61] E. O. Samsonov et al., "Vacuum-based quantum random number generator using multi-mode coherent states," Quantum Inf Process, vol. 19, no. 9, p. 326, 2020, doi: 10.1007/s11128-020-02813-3.
[62] X. Guo, C. Cheng, M. Wu, Q. Gao, P. Li, and Y. Guo, "Parallel real-time quantum random number generator," Opt. Lett., vol. 44, no. 22, pp. 5566–5569, Nov. 2019, doi: 10.1364/OL.44.005566.
[63] Z. Lu, J. Liu, X. Wang, P. Wang, Y. Li, and K. Peng, "Quantum random number generator with discarding-boundary-bin measurement and multi-interval sampling," Opt. Express, vol. 29, no. 8, pp. 12440–12453, Apr. 2021, doi: 10.1364/OE.419756.
[64] D. Rusca, H. Tebyanian, A. Martin, and H. Zbinden, "Fast self-testing quantum random number generator based on homodyne detection," Appl Phys Lett, 2020, doi: 10.1063/5.0011479.
[65] M. Avesani, H. Tebyanian, P. Villoresi, and G. Vallone, "Semi-Device-Independent Heterodyne-Based Quantum Random-Number Generator," Phys Rev Appl, 2021, doi: 10.1103/PhysRevApplied.15.034034.
[66] J. B. Brask et al., "Megahertz-Rate Semi-Device-Independent Quantum Random Number Generators Based on Unambiguous State Discrimination," Phys Rev Appl, 2017, doi: 10.1103/PhysRevApplied.7.054018.
[67] H. Wang et al., "Sub-Gbps key rate four-state continuous-variable quantum key distribution within metropolitan area," Commun Phys, vol. 5, no. 1, p. 162, Jun. 2022, doi: 10.1038/s42005-022-00941-z.
[68] A. A. E. Hajomer, I. Derkach, N. Jain, H.-M. Chin, U. L. Andersen, and T. Gehring, "Long-distance continuous-variable quantum key distribution over 100 km fiber with local local oscillator." 2023.
[69] Y. Zhang, Y. Bian, Z. Li, S. Yu, and H. Guo, "Continuous-variable quantum key distribution system: Past, present, and future," Appl Phys Rev, vol. 11, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1063/5.0179566.



Nuno Silva licenciou-se em Física pela Universidade do Minho em 2006, e recebeu o grau de mestre em Física pela Universidade de Aveiro em 2008. Doutorou-se em Engenharia Electrotécnica, pela mesma Universidade, em 2013, data a partir da qual colaborou no Instituto de Telecomunicações como bolseiro de pós-doutoramento. Colabora com o Departamento de Física e de Eletrónica, Telecomunicações e Informática ambos da Universidade de Aveiro, onde apoia à lecionação de disciplinas nas áreas da ótica quântica, segurança quântica e tecnologias quânticas. Atualmente, é investigador do Instituto de Telecomunicações, estando inserido no grupo de investigação Optical Quantum Communications, em Aveiro. Ao longo dos anos, participou em mais de 30 projetos de investigação, desenvolvendo conhecimento no domínio da criptografia quântica.



Maurício Ferreira completou o Mestrado em Engenharia Física em 2021 na Universidade de Aveiro. Atualmente, frequente o programa doutoral em Engenharia Eletrotécnica na mesma instituição e participa no grupo de comunicações quânticas no Instituto de Telecomunicações – Aveiro. O seu trabalho foca-se na implementação de uma plataforma quântica de geração de números aleatórios resiliente a imperfeições experimentais.



Sara Mantey obteve o Mestrado em Engenharía Física em 2021, na Universidade de Aveiro. Atualmente está a fazer o doutoramento em Engenharia Eletrotécnica na Universidade de Aveiro em parceria com o Instituto de Telecomunicações – Aveiro, no grupo de comunicações quânticas. O seu trabalho foca-se na implementação prática de sistemas quânticos para a distribuição de chaves com codificação na polarização. Os seus interesses principais envolvem comunicações óticas, comunicações quânticas e técnicas de controlo da polarização.



Margarida Almeida obteve o Mestrado em Engenharia Física pela Universidade de Aveiro em 2021. Atualmente é aluna de doutoramento em Engenharia Electrotécnica na Universidade de Aveiro em parceria com o Instituto de Telecomunicações – Pólo de Aveiro. Iniciou o seu trabalho no Instituto de Telecomunicações em 2018, estando inserida no grupo Optical Quantum Communications and Technologies desde então. Os seus principais interesses envolvem a distribuição quântica de chaves com variáveis contínuas, com foco no pós-processamento necessário para a extração de chaves simétricas, e na sua implementação experimental, principalmente no que diz respeito às imperfeições do sistema.



Gustavo Anjos recebeu o grau de mestre e de doutorado em engenharia elétrica pela Universidade de Aveiro em 2013 e 2022, respectivamente. Ele tem desenvolvido trabalho de investigação no Instituto de Telecomunicações em Aveiro, participando em múltiplos projectos como FLEXICELL, SWING2 e DISCRETION. Actualmente trabalha como investigador no Instituto de Telecomunicações na Universidade de Aveiro desenvolvendo trabalho no grupo de comunicações quânticas. Os seus atuais interesses de investigação incluem segurança ao nível da camada física para comunicações sem fio, e sistemas de distribuição de chaves quânticas. Neste último caso, o foco de trabalho incide na implementação deste tipo protocolos em plataformas de hardware dedicadas tendo em vista a computação eficiente dos algoritmos associados.



Nelson Muga licenciou-se em Física pela Universidade do Porto, em 2002, e recebeu os graus de mestre em Física Aplicada, em 2006, e doutor em Engenharia Física, em 2011, ambos pela Universidade de Aveiro. Fez pós-doutoramento no Instituto de Telecomunicações, colaborando com o Departamento de Física da Universidade de Aveiro desde 2016, onde leciona disciplinas nas áreas da ótica e optoelectrónica. Atualmente, é investigador auxiliar do Instituto de Telecomunicações, estando inserido no grupo de investigação Optical Quantum Communications, em Aveiro. Ao longo dos anos, participou em mais de 30 projetos de investigação, desenvolvendo conhecimento no domínio dos sistemas de comunicação por fibra ótica de elevada velocidade e no domínio das comunicações quânticas. É autor de mais de 150 publicações científicas (50 artigos em revistas internacionais com revisão por pares, 96 atas de conferências, 5 capítulos de livros) e de uma patente.



Armando Nolasco Pinto é Professor Catedrático do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e lidera o grupo de Comunicações Quânticas do Instituto de Telecomunicações em Aveiro. É autor e apresentou seu trabalho em mais de 200 revistas e conferências científicas internacionais. O trabalho por si realizado e pela equipa que coordena foi distinguido com mais de 23 prémios científicos. Detém 4 patentes internacionais e participou em 57 projetos de investigação, tendo sido coordenador global de 24. Atualmente, é coordenador de um projeto da União Europeia e de um projeto da NATO, ambos na área das tecnologias de comunicação quânticas. É membro do Conselho Editorial das revistas "Scientific Reports", publicadas pela Nature, e das revistas "Optical and Quantum Electronics" e "Quantum Communication", publicadas pela Springer e pelo Institute of Engineering and Technology, respetivamente. É o Presidente da Comissão Técnica de Normalização CTE JTC 22 – Tecnologias Quânticas, a funcionar no âmbito IEP - Instituto Eletrotécnico Português. É membro Sénior do Institute of Electrical and Electronics Engineers e membro Sénior da Optica Society.

8
artigo geral
VOL. 48 - N.1

Click! Estamos a Fazer Ciência!
A Contribuição da Fotografia no Desenvolvimento da Física em Portugal

Marília Peres

Escola Secundária José Saramago-Mafra e Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

imperes@ciencias.ulisboa.pt

Resumo
A fotografia desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da Física, permitindo a documentação e a análise precisa de fenómenos naturais e experiências científicas. Desde o registo do movimento por Étienne-Jules Marey e Eadweard Muybridge até a comprovação da teoria da relatividade de Einstein com as fotografias do eclipse solar de 1919, a imagem fotográfica tornou-se uma ferramenta essencial para a investigação científica. Neste artigo, analisa-se a função da fotografia no desenvolvimento de várias áreas associadas à Física, dentro do contexto português, durante o século XIX e início do século XX.

Introdução
A fotografia terá nascido do desejo de captar uma imagem e guardá-la para um futuro próximo ou distante. Cientificamente foi mais do que isso, ela necessitou da conjunção de duas ciências: a física e a química. Se, por um lado, ela dependia dos conhecimentos de ótica e da instrumentação existente, dependia igualmente dos conhecimentos de química do fotógrafo.

Foi em 1839 que François Arago (1786–1853) apresentou, à Academia das Ciências de Paris, os trabalhos de Louis Daguerre (1787–1851) e Joseph Niépce (1765–1833) relativos à descoberta da Fotografia, considerando, com grande sentido de previsão, o contributo que teria para as Ciências e as Artes. Nesse discurso [1], Arago indicava as perspetivas de utilização da descoberta como um auxiliar indispensável ao cientista nas áreas da Astronomia, Arqueologia e Espectroscopia.

Sucessivos progressos técnicos e científicos encorajaram a prática fotográfica em diversas outras ciências. No início, a utilização da fotografia no papel de auxiliar documental da Ciência era entendida, segundo Jules Janssen (1824-1907), eminente astrónomo francês, como a "retina do cientista", tal como referiu Louis Alphonse Davanne (1824-1912) na conferência que proferiu a 22 de novembro de 1891:

"La Science est la recherche de la vérité, la Photographie en est l'expression, et, suivant la définition si juste de l'éminent directeur de l'Observatoire d'Astronomie Physique, M. Janssen: «La surface photographique est la rétine du savant», bien supérieure à celle de l'œil, car elle voit mieux et conserve l'image des choses vues." [2]

Desde o início da fotografia que vários cientistas se apoderaram desta técnica. Por exemplo, em 1840 o médico Alfred Donné (1801-1878) obteve daguerreótipos de fotomicrografias. No entanto, não existiu um método único para que a ciência transformasse a fotografia num instrumento de trabalho. Se, por um lado, uns consideravam a objetiva fotográfica como uma extensão da retina que permitia ver o que era muito pequeno, ou o que estava muito longe, numa perspetiva unicamente documental, outros procuravam estabelecer padrões, como é o caso da fotografia solar ou da fotografia de espectros [3].

Outros cientistas ainda, nomeadamente nas áreas da Meteorologia, do Geomagnetismo e da Oceanografia [4], em vez de usarem o registo obtido diretamente através da câmara fotográfica, optaram por obter um registo indireto de uma grandeza física, em papel fotográfico em aparelhos de registo automático que podiam funcionar em contínuo, necessitando apenas da substituição do papel fotográfico.

O aumento da sensibilidade das placas fotográficas permitiu que se desenvolvesse a chamada fotografia instantânea, tendo sido iniciada com a câmara pistola (primeira câmara instantânea em forma de pistola) do inglês Thomas Skaife (1806–1876), que conseguiu obter tempos muito reduzidos entre duas fotografias [5]. Mais tarde, o físico e filósofo da ciência austríaco, Ernst Mach (1838-1916) foi um dos primeiros a investigar sistematicamente o movimento supersónico, usando técnicas fotográficas inovadoras, por volta de 1890. As fotografias de balas em movimento revelaram as ondas produzidas por uma bala sempre que esta ultrapassava a velocidade do som.

Em 1878 o fotógrafo inglês Eadweard Muybridge (1830–1904) usou múltiplas câmaras para conseguir captar o movimento de galope de um cavalo. Esta série de fotografias conseguiu provar que o cavalo fica, por instantes, com os quatro cascos no ar. Também, em França, o fisiologista Étienne-Jules Marey (1830–

1904) inventa a cronofotografia, aplicando-a ao estudo de movimentos, aerodinâmica, vibração, circulação de sangue, etc. [5].

Na área da eletricidade e do magnetismo, a possibilidade de reproduzir faíscas elétricas e efeitos magnéticos permitiu aos cientistas, fixar padrões para interpretação destes fenómenos.

A fotografia com Raios X, descoberta em 1895 por Wilhelm Röntgen (1845-1923), vem permitir uma nova visão sobre o mundo, desde o interior do corpo humano, de animais, de cristais, detalhes em maquinaria, arqueologia etc. Logo em 1896, começou a surgir por toda a Europa, incluindo em Potugal, a sua utilização médica.

Ao longo da segunda metade do século XIX, os cientistas capturaram reinos anteriormente ocultos, fazendo fotografias, usando o microscópio e o telescópio e analisando o movimento, observando galáxias distantes, e olhando para dentro do corpo humano. A fotografia científica desde cedo revelou um outro olhar sobre o mundo que até aí era impossível.

"*Todos olhámos, mas nunca vimos as imagens com que a ciência sempre se fez. Como se elas não estivessem lá. Como se elas não tivessem que ter estado lá. Sempre, ao lado da palavra. Incapazes de falar por si só, mas necessariamente lá, como suporte de significados que, pelas palavras, se não conseguem dizer.*" [6]

A Contribuição da fotografia para o desenvolvimento da Física

Em 1907, Gaston-Henri Niewnglowski (1871–1953), fotógrafo e autor de vários livros sobre fotografia, publicou "Les Applications de la Photographie" [7], onde sistematizou as aplicações da fotografia em duas grandes áreas: ciências físicas e químicas e ciências naturais.

No campo das ciências físicas e químicas, Niewnglowski destacou aplicações ligadas ao visível e invisível ao olho humano, com exemplos como:

- Na metalografia, a fotomicrografia das superfícies metálicas revelava informações sobre características e defeitos dos metais;
- Na cinemática, a cronofotografia permitia determinar a velocidade de projéteis e fluidos;
- No estudo dos estados elétricos;
- Na acústica, usando o método estroboscópico, com diapasões com pequenos espelhos que permitiam refletir a luz enquanto vibravam, sobre uma placa fotográfica;
- Nos raios X, onde a fotografia era crucial para estudar comprimentos de onda curtos;
- Na interferência das ondas, a fotografia permitiu a descoberta do método interferencial de Lippmann para reproduzir cores;
- Na astronomia, onde destacou a cartografia do céu e a análise espectrográfica para estudar a composição atmosférica dos astros;
- Na meteorologia, com aparelhos de autorregisto e fotografias de nuvens;

Neste artigo, abordam-se algumas destas áreas nomeadamente na Meteorologia, no Geomagnetismo e na Espectrografia em Portugal.

Fotografia Científica na Meteorologia e no Geomagnetismo

Na segunda metade do século XIX, o aprimoramento da qualidade das imagens fotográficas e o desenvolvimento de novas técnicas tornaram a fotografia uma ferramenta valiosa para cientistas, permitindo o registo direto da natureza com câmaras fotográficas ou indiretamente, por meio de aparelhos fotográficos de autorregisto para fenómenos naturais.

Observatórios Meteorológicos e Astronómicos em toda a Europa, como o de Kew (considerado como de referência a nível internacional), foram equipados com esses instrumentos, que registavam variações de temperatura (psicrógrafos), pressão (barógrafos), eletricidade atmosférica (eletrógrafos) e magnetismo (magnetógrafos) com grande sensibilidade. Em Portugal, o Observatório Infante D. Luís de Lisboa, o Observatório Meteorológico e Magnético de Coimbra, e o Posto Meteorológico do Porto também possuíam estes aparelhos [8].

Na década de 1850, a Escola Politécnica de Lisboa (EPL) e a Universidade de Coimbra (UC) propuseram ao governo a criação de observatórios geomagnéticos, colaborando com a rede internacional de observatórios. O Observatório Infante D. Luís (OIDL) foi fundado em 1853 pela EPL e começou a funcionar regularmente em 1854, sob a direção de Guilherme Pegado, professor de Física Experimental e Matemática.

João Carlos de Brito Capello, observador do OIDL, visitou os observatórios de Paris e Londres e recomendou a compra de instrumentos. O Observatório comprou alguns instrumentos: magnetógrafos e o eletrógrafo de Thomson ao fabricante Patrick Adie e o baropsicrógrafo (que permitia registar em simultâneo a variação da pressão e a da temperatura atmosférica) ao fabricante Jules Salleron de Paris [3].

Em diferentes períodos, o Gabinete de Física da UC realizou observações meteorológicas, mas a falta de equipamentos adequados e instalações próprias impedia a regularidade e precisão dessas medições. Para superar essas limitações, o Conselho da Faculdade de Filosofia decidiu construir um observatório. O observatório entrou em funcionamento em 1864, ainda sem instrumentos de registo fotográfico. Em 1860, o professor de Física Jacinto António de Souza visitou observatórios em Madrid, Paris, Bruxelas, Londres, Greenwich e Kew. No seu relatório, recomenda que o Observatório de Coimbra adote o modelo de Kew, com magnetógrafos, eletrógrafo de Thomson e um baropsicrógrafo do fabricante Patrick Adie. Esses instrumentos foram adquiridos em 1866 [9].

O observatório foi projetado para acomodar os instrumentos de registo fotográfico desde o início. No rés-do-chão, uma oficina fotográfica abrigava o baropsicrógrafo; o eletrógrafo de Thomson estava no primeiro andar, enquanto os magnetógrafos foram instalados na casa subterrânea. Existia guarda fotógrafo, responsável por auxiliar no uso dos instrumentos de registo. Apesar do início das operações dos magnetógrafos em 1866, o diretor relatou várias irregularidades, como variações na inten-

sidade do gás e a humidade do prédio recém-construído, além da inexperiência dos guardas fotógrafos [9].

No norte de Portugal, em 1842, médicos como Macedo Pinto em Bragança e Pereira da Silva no Porto realizaram observações meteorológicas. Em 1853, Pereira da Silva e Câmara Sinval instalaram uma estação meteorológica no Hospital de Santo António, batizada de Observatório da Escola Médica do Porto [3].

Em 1882, a direção do OIDL decidiu estabelecer postos meteorológicos de qualidade superior, para poder dispor de uma rede nacional. Assim, em 1883 ficou instalado na Serra do Pilar, no Porto, um novo Posto Meteorológico e Magnético. Mais tarde este Posto teve a designação de Observatório Meteorológico da Princesa D. Amélia, voltando em 1913 a designar-se Observatório Meteorológico da Serra do Pilar. Em 1901 este Observatório passou a estar associado à Academia Politécnica do Porto. Esta mudança não se fez acompanhar da respetiva dotação financeira, tendo ficado por isso destituído de meios e de instrumentos para poder trabalhar [10].

No início do século XX (1903), os diretores dos Observatórios de Lisboa, Coimbra, Porto e Açores (Pina Vidal, Santos Viegas, Francisco Paula Azeredo e Afonso Chaves, respetivamente) decidiram distribuir as tarefas de monitorização meteorológica e magnética entre as suas instituições. Coimbra ficou responsável pelos dados magnéticos (apesar de Lisboa ter iniciado esses estudos anteriormente, eles estavam suspensos); o Porto cuidaria da eletricidade atmosférica; Lisboa centralizaria as observações para climatologia e previsão do tempo; e os Açores teriam um conjunto completo de tarefas, limitado pelos recursos. Em 1909, também ficou decidido que Lisboa centralizaria as comunicações sísmicas [3].
Em 1904, o Observatório do Porto adquiriu equipamentos como o eletrómetro de quadrante Kelvin-Mascart, isoladores, uma pilha de 50 elementos e um registador fotográfico com pêndulo e lanterna. A primeira tentativa de instalação do serviço ocorreu entre 1919 e 1920. Em 1927, foi adaptado um gabinete no primeiro andar para os instrumentos (figura 1), e os registos regulares começaram até 1933.

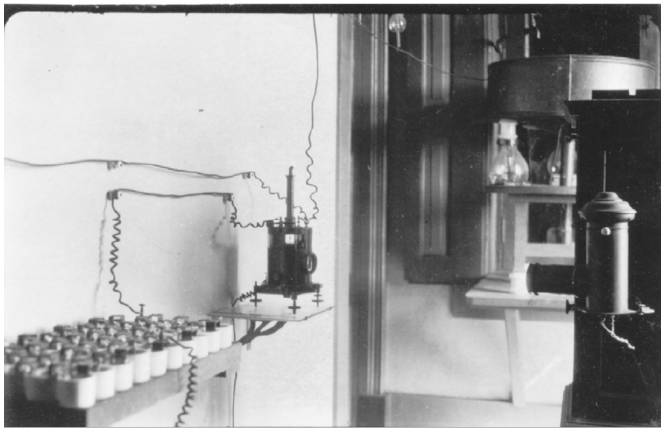


Figura 1 – Sistema completo para o registo fotográfico da eletricidade atmosférica, sem autor, c. 1927. Da esquerda para a direita: pilha de 50 elementos, eletrómetro, coletor com sistema gota a gota, caixa com papel para registo fotográfico e lanterna com lâmpada a gás (coleção do Instituto Geofísico da Un. do Porto, cortesia de M. Monteiro do Museu de Ciência da FCUP).

Os instrumentos dessa instalação ainda existem e fazem parte do acervo do Museu de Ciência da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

O baropsicrógrafo:
Em 1864, o diretor do OIDL, Fradesso da Silveira, descreve um novo instrumento construído por Jules Salleron de Paris para o registo fotográfico das variações barométricas e psicrométricas: o baropsicrógrafo (figura 2). Este era um instrumento fotográfico, que iria registar simultaneamente a pressão a e temperatura (leituras de termómetros de bolbo seco e bolbo húmido), em dois papéis fotográficos, com a mesma lâmpada. O barógrafo e o psicrógrafo funcionavam reunidos com um só relógio e um só bico de gás.

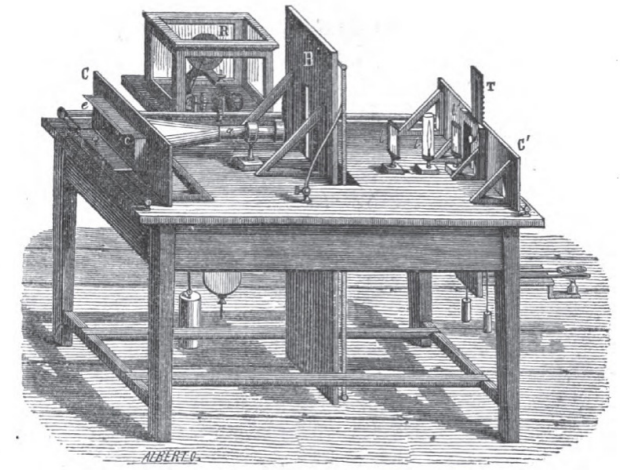


Figura 2 – Baropsicrógrafo de Salleron [11] (Legenda: R - relógio, B - chapa de lousa a que se ligava o barómetro e um sistema compensador de réguas metálicas, T - psicrómetro, b - bico de gás; C e C' - os alvos móveis que transportavam o papel sensibilizado; l e l' as lentes coletoras e a - câmara escura).

Sendo o papel móvel, a folha ia recebendo sucessivamente a impressão da luz, tornando-se a sua leitura fácil e exata. O aparelho estava montado sobre uma mesa muito sólida de carvalho colocada sobre uma casa escura, no quarto pavimento do Observatório.

Este instrumento construído por Salleron sob as instruções do Observatório Infante D. Luís tinha a vantagem de reunir o barógrafo e o psicrógrafo de Ronalds, que foram construídos em 1854 e funcionaram em Oxford, no observatório de Radckliffe.
Em Coimbra foi adquirido um baropsicrógrafo em 1867, ao fabricante Patrick Adie. Segundo Jacinto de Souza este instrumento era único pois resultou de discussões científicas entre Adie e ele próprio [3]. O baropsicrógrafo possuía um sistema de iluminação único e os dois sistemas registadores e estavam numa caixa de madeira e zinco.

Os magnetógrafos:
Os estudos sobre o magnetismo terrestre no OIDL começaram antes da década de 1860. Desde 1857, realizavam-se regularmente observações da declinação e inclinação da agulha magnética, utilizando um declinómetro de Jones e um inclinómetro de Barrow. O objetivo era comparar essas observações com as dos observatórios da Inglaterra e Rússia, a fim de analisar variações magnéticas ligadas à atividade solar. Eram visíveis as

variações observadas nos solstícios e durante auroras boreais [12]. Em 1863, um subsídio de D. Luís I permitiu a aquisição de novos equipamentos, incluindo magnetógrafos [13].
Os magnetógrafos de declinação, bifilar e de balança, equipados com registos fotográficos, foram instalados numa sala abobadada no pavimento inferior do observatório, construída para evitar humidade e variações de temperatura. Sem luz solar ou ferro na sua construção, a sala contava com colunas de pedra que sustentavam os magnetógrafos, cilindros registadores e um relógio (figura 3).

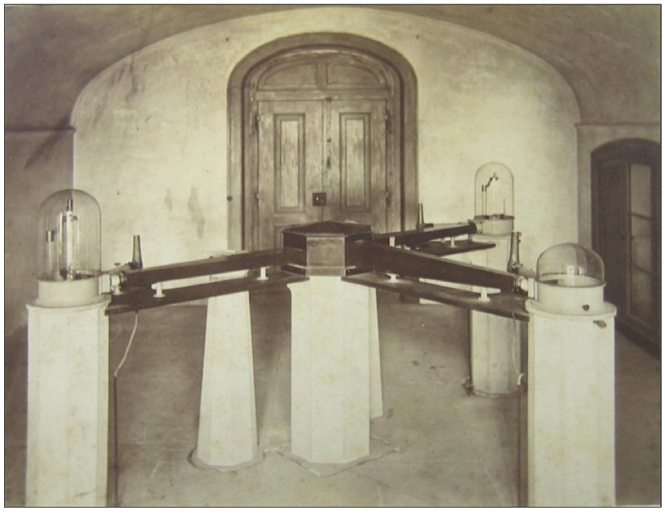


Figura 3 – A sala dos magnetógrafos do OIDL fotografia de Francisco Rocchini (Arquivo do Observatório Astronómico da Ajuda, pasta 723).

Cada magnetógrafo possuía dois espelhos: um fixo à barra magnética e outro no centro de cada pilar. A luz refletida por esses espelhos atingia os cilindros registadores, gerando uma linha curva contínua no papel fotográfico. Um espelho fixo criava uma linha reta de referência. Todos os instrumentos, fabricados por Patrick Adie, foram calibrados com os padrões do Observatório de Kew e começaram a operar em julho de 1863. O sistema de três registradores e o relógio ficavam em uma caixa octogonal de madeira (figura 4), e parte significativa deste conjunto ainda pode ser encontrada no espólio do Museu Nacional de História Natural e da Ciência (MUHNAC).

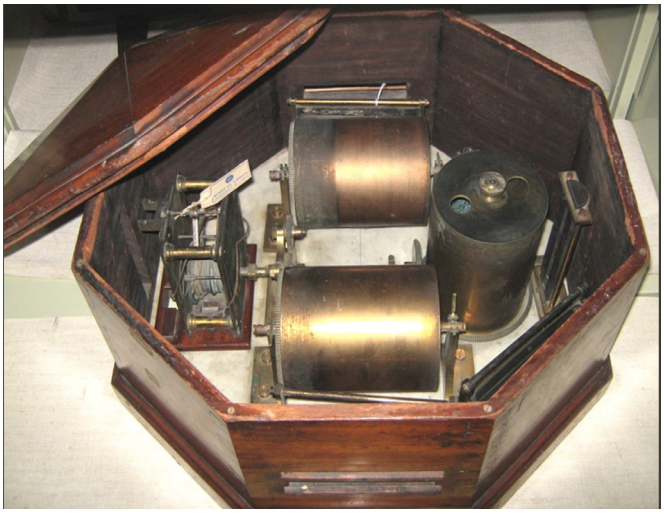


Figura 4 - Caixa octogonal com sistemas registadores para os três magnetógrafos, MUHNAC-UL000354 (fotografia de M. Peres, cortesia de MUHNAC).

Após as primeiras utilizações dos magnetógrafos, Capello enviou alguns exemplares dos registos obtidos, os magnetogramas, para o diretor do Observatório de Kew, Balfour Stewart. Após a comparação entre as curvas obtidas pelos dois observatórios por registo fotográfico, foi feita uma comunicação preliminar dos resultados obtidos, publicada em 1864, nos "Proceedings of the Royal Society of London", volume 13: "Results of a Comparison of Certain traces produces simultaneously by the Self-recording Magnetographs at Kew and at Lisbon; especially of those which record the Magnetic Disturbance of July 15, 1863" [14] (figura 5).

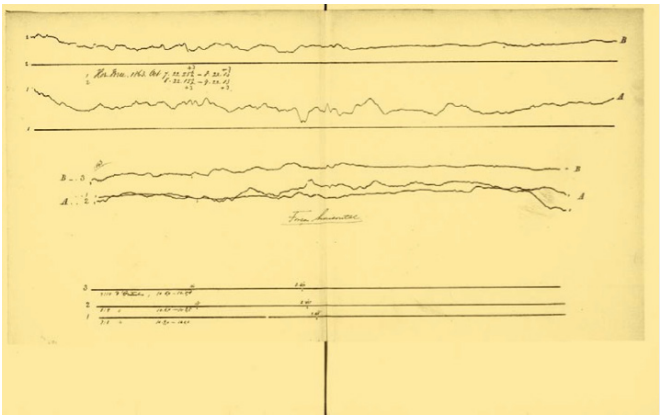


Figura 5 - Fotolitografia (processo fotomecânico utilizando uma matriz de pedra) de dois registos fotográficos correspondentes à variação da força horizontal nos dias 7 e 8 de outubro de 1863, registados nos Observatórios de Kew e de Lisboa [14].

Brito Capello terá tentado relacionar os dados obtidos a partir dos magnetógrafos sobre o campo magnético terrestre, com a atividade solar [15]. Por volta de 1870 iniciou um programa de fotografia solar, tendo conseguido obter fotografias com uma qualidade reconhecida internacionalmente em exposições internacionais. Os estudos efetuados indicam que entre as fotografias do Sol enviadas poderiam constar as quatro que pertencem ao arquivo do Instituto Geográfico Português (IGP) (figura 6) e duas que estão no Observatório Astronómico de Lisboa.

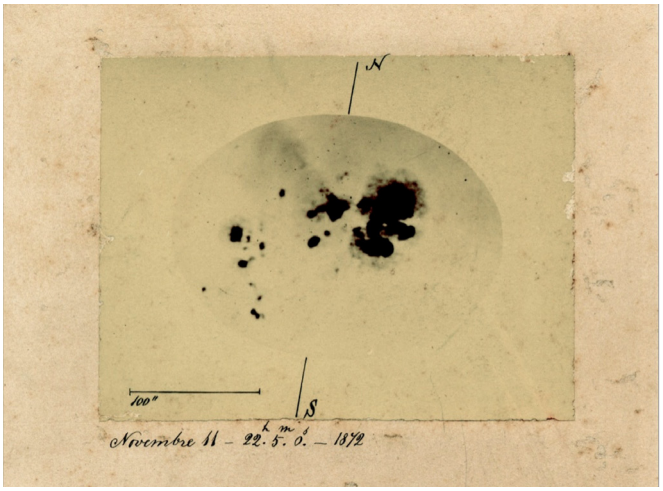


Figura 6 – Fotografia de manchas solares obtidas em 1872 (cortesia do IGP).

Por volta de 1880, a fotografia sofreu consideráveis avanços. Começou a usar-se gelatina em vez do colódio para produzir negativos. Com o uso da gelatina, a sensibilidade das placas fotográficas aumentou, tornando as operações fotográficas mais

rápidas [3]. Este facto permitiu potenciar a fotografia em todos os aspetos. Na Astronomia nasce uma nova era em que se conseguia fotografar objetos não detetáveis com a observação através da luneta. Ao mesmo tempo que se fotografavam estrelas longínquas, tornava-se possível fotografar o muito pequeno, conseguindo-se maiores ampliações.
Infelizmente, e apesar do investimento, o OIDL não teve a capacidade financeira que lhe permitisse acompanhar os novos desenvolvimentos instrumentais na área da fotografia astronómica, o que implicou o fim do projeto do estudo da atividade solar que durou aproximadamente dez anos nesta instituição [13].

A primeira tentativa para registar fotograficamente as variações magnéticas em Coimbra data de 1866. Estes magnetógrafos trabalharam até 1930, altura em que foram substituídos. Os instrumentos do século XIX fazem parte do espólio do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra (IGUC).

O IGUC detém uma importante coleção de magnetogramas que resultam do longo período de estudos sobre geomagnetismo neste Observatório, desde 1867 até hoje.

A leitura dos registos fotográficos era feita com tradutor de Gibson (figura 7) de modo a poderem ser elaboradas tabelas com os dados obtidos, publicadas nos Anais das respetivas instituições.

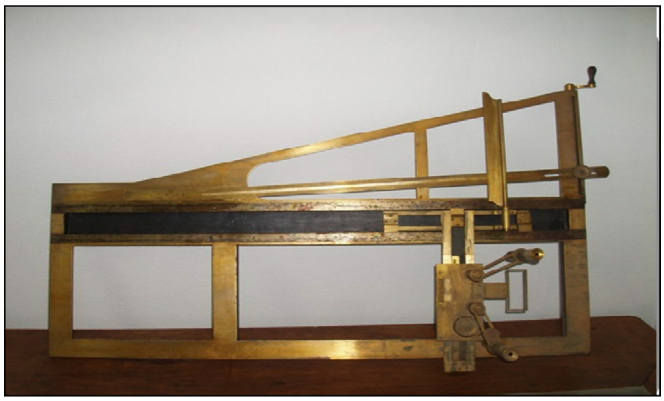


Figura 7 – Conversor de Gibson para a leitura de fotogramas (fotografia de P. Ribeiro; cortesia do IGUC).

O processo fotográfico usado, conhecido por "Processo Le Gray", que consistia essencialmente em usar papel encerado, tinha a vantagem de melhorar a nitidez e sensibilidade do registo de dados. É digno de nota que o processo Le Gray impedia a distorção da imagem durante os banhos de revelação, lavagem e fixação. Para melhorar a estabilidade das imagens a produzidas, no Observatório de Kew era usado um banho de viragem com cloreto de ouro. Não foi possível encontrar vestígios de ouro nos magnetogramas cedidos pelo IGUC e analisados por Espectroscopia de Fluorescência de Raios X [3], admitindo-se por isso que o acabamento químico fotográfico não incluísse a viragem com cloreto de ouro.

Estes magnetogramas são uma importante fonte para o estudo da atividade solar. Na figura 8, é mostrado um exemplo relevante de um destes magnetogramas. Pode-se ver registada uma grande variação da componente D da força magnética, devido à grande tempestade solar que ocorreu entre 24 de outubro e 25

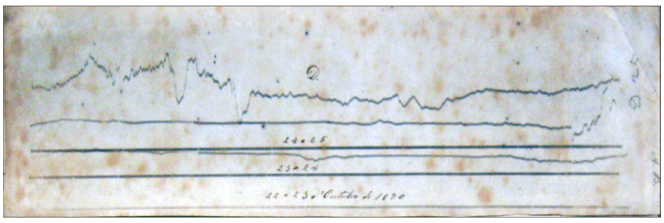


Figura 8 – Magnetograma da componente D, de 22 a 25 de outubro de 1870 do Observatório Meteorológico e Magnético de Coimbra (fotografia de M. Peres; cortesia do IGUC).

de maio de 1870. Este registo fotográfico foi estudado por Vaquero et al. em 2008 [16] que o relacionou com as manchas solares fotografadas por Rutherfurd em 22 de setembro de 1870.

Fotografia e Espectroscopia no ensino e na investigação na Escola Politécnica de Lisboa e na Faculdade de Ciências de Lisboa

As cores do espectro foram fotografadas pela primeira vez pelo astrónomo inglês John Herschel (1792-1871). Em 1842, publicou em "On the Action of the Rays of the Solar Spectrum on Vegetable Colours, and on Some New Photographic Processes" [17] imagens fotográficas do espectro solar, com cinco tempos diferentes de exposição.

Apesar das experiências iniciais, a baixa sensibilidade das placas fotográficas e a dificuldade em obter o registo fotográfico das diferentes cores, limitou o uso da fotografia. Apenas em meados da década de 1860 é que as melhorias obtidas na técnica fotográfica permitiram obter espectros com qualidade relevante. Foi o astrónomo amador e fotógrafo Lewis Morris Rutherfurd (1816-1892) o primeiro a obter uma imagem fotográfica de um espectro capaz de competir com os desenhos existentes e publicados [18].

Porém, as placas de colódio na altura ainda não eram sensíveis nas regiões do amarelo e do vermelho. Só perto do final do século XIX com a divulgação das placas pancromáticas é que se conseguiram obter resultados satisfatórios na reprodução fotográfica de espectros, prática que se estendeu a instituições científicas e de ensino como foi o caso da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa [19].



Figura 9 – Espectrógrafo e acessórios Pulfrich e Löwe, da C. Zeiss, MUHNAC-UL004446 (fotografia de M. Peres, cortesia de MUHNAC).

Nesta área são de realçar os trabalhos desenvolvidos por António Pereira Forjaz Pimentel (1893-1972), no laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa. Em 1916, Pereira Forjaz era assistente de Física, quando obteve o grau de Doutor em Ciências Físico-Químicas (a primeira tese da Universidade de Lisboa), com uma tese intitulada "O Estudo da Análise Espectral dos Minerais de Urânio e Zircónio Portugueses", cuja parte experimental havia sido realizada no Laboratório de Física [20].

No seu trabalho, Forjaz decidiu utilizar o método fotográfico empregando um espectro conhecido, o do ferro ou o espectro solar, como referência. Para fotografar o espectro UV, Forjaz utilizou um espectrógrafo da C. Zeiss, com prisma de quartzo de Cornu e lentes acromáticas (figura 9).

Forjaz instalou os aparelhos em mesas muito pesadas e sólidas, no laboratório de Física, para evitar as oscilações e retificações constantes. As fontes luminosas utilizadas foram: chamas, faíscas, tubos de Geissler e arcos voltaicos. Apresenta-se o esquema da disposição dos aparelhos na figura 10.

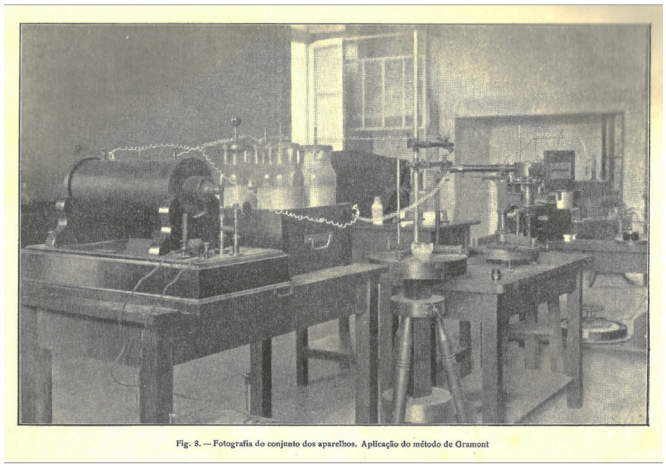

Fig. 8. — Fotografia do conjunto dos aparelhos. Aplicação do método de Gramont

Figura 10 – Fotografia do conjunto de aparelhos usados por Forjaz, segundo o método Gramont [20].

Para a produção de faíscas, Forjaz utilizou bobines de indução. Ligava os elétrodos às armaduras de um condensador, que por seu turno estavam ligadas aos pólos do secundário de uma bobine, obtendo deste modo faíscas mais luminosas, que designou por faíscas condensadas [20].
Para fotografar o espectro, Forjaz usou chapas pancromáticas Wratten e Wainwright sensíveis até ao vermelho, conseguindo deste modo fotografar toda a zona visível.

Forjaz deu grande importância, nesta análise, ao conhecimento das riscas últimas descritas por Gramont, com vista a uma análise quantitativa. A análise espectral era praticamente irrealizável se fosse necessário medir todas as riscas conhecidas na época: 4695 riscas de ferro, 3912 riscas de tungsténio, etc. Assim, era necessário selecionar entre essas riscas as que realmente tinham interesse analítico. Nas análises realizadas, Gramont [21] destacava as riscas espectrais que apareciam para quantidades mínimas do elemento estudado, designando estas por "riscas últimas", ou seja, aquelas que desapareciam por último, quando as quantidades não eram mais do que vestígios.

Neste estudo Pereira Forjaz pode concluir sobre a presença de cada um dos elementos componentes dos minerais de urânio.

Além das conclusões de ordem mineralógica [20] apresentou outras relativas às técnicas usadas, de onde se destacam as que dizem respeito ao uso da fotografia:

- *"É cómodo e rigoroso utilizar a espectrofotografia.*
- *Devem utilizar-se chapas sensibilizadas.*
- *É cómodo fazer aplicação dum espectro de referência.*
- *O espectro de referência preferível é obtido com a liga de Eder.*
- *Deve reproduzir-se esquematicamente a fisionomia do espectro da liga de Eder, antes de a empregarmos."*

Em 1921, Pereira Forjaz apresentou à Académie des Sciences de Paris dois estudos que utilizavam a análise espectral: "Étude spectrographique d'une météorite portugaise" e "Étude spectrographique des minéraux portugais de tungstène" [22,23]. No primeiro estudo, inspirado por A. Gramont, Forjaz analisou um fragmento de ferro meteórico da Faculdade de Ciências, identificando-o como uma holosiderite com crosta de magnetita. Ele determinou a sua composição qualitativa. Esses trabalhos influenciaram significativamente o ensino e a pesquisa na Faculdade de Ciências.

Entre as décadas de 1920 e 1930, Forjaz conduziu investigações sobre a análise espectral das águas e sais portugueses, publicando nos Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris, incluindo "Spectrochimie des eaux minerales portugaises: L'eau du Gerez" [24].



Figura 11 – Conjunto de espectrógrafo de Cornu (MUHNAC-UL003592), câmara escura (MUHNAC-UL000170) e caixa de espectrogramas (MUHNAC-UL003572) (fotog. de M. Peres, cortesia de MUHNAC).

Para as suas análises, Forjaz encomendou ao fabricante Félix Péllin (descendente da famosa casa Duboscq) a construção de um espectrógrafo de Cornu, supervisionado por Gramont (figura 11) [19,24]. Os sais marinhos foram analisados com este equipamento, e os registos foram feitos em placas fotográficas anti-halo Lumière, usando como espectro padrão a liga de Eder. Esses registos fazem parte do espólio do MUHNAC (figuras 11 e 12).

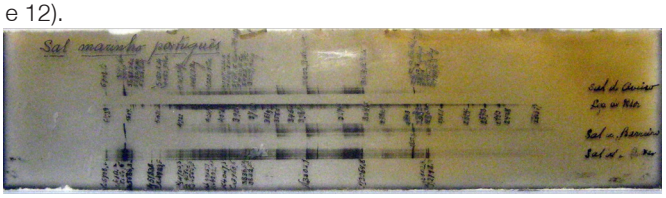


Figura 12 – Espectrograma do sal de Aveiro, obtido por Forjaz c. 1931, MUHNAC-UL003572 (fotografia de M. Peres, cortesia de MUHNAC).

Considerações finais

As instituições portuguesas estudadas acompanharam de perto o que se fazia na Europa, relativamente ao uso científico da fotografia, integrando essa técnica nas suas práticas desde a sua invenção.

Na década de 1860, houve um significativo investimento na Escola Politécnica de Lisboa para adquirir equipamentos fotográficos, para a Física. Esse aumento parece estar relacionado com a criação do Observatório Meteorológico Infante D. Luís, onde se conduziam investigações com instrumentos fotográficos. O mesmo ocorreu no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

Verificou-se que durante o século XIX, os Observatórios Meteorológicos e Magnéticos europeus trocavam informações por correspondência científica, livros e periódicos. A evolução dos equipamentos permitiu que, em pouco tempo, essas instituições recolhessem dados sobre geomagnetismo e meteorologia de forma rigorosa e eficiente. O uso de dispositivos fotográficos, de grande sensibilidade, foi essencial para o crescimento e internacionalização dessas ciências.

A fotografia também desempenhou um papel crucial na espectroscopia a partir do momento em que a sensibilidade das placas fotográficas permitiu registar todo o espetro visível e próximo. O uso dos métodos fotográficos no registo e estudo dos resultados da análise espectroscópica resultou em trabalhos de investigação em Química e em Física de grande qualidade, que foram publicados no campo da espectroscopia.

Referências

[1] F. Arago, "Œuvres Complètes", J. A. Barral, Paris (1858)
[2] L. A. Davanne, "Invention et Applications de la Photographie, conférence du 22 Novembre 1891", in Conservatoire National des Arts et Métiers, "Conférences publiques sur la photographie, organisées en 1891-1892", Gauthier-Villars et Fils, Paris, pp.11-32 (1893)
[3] I. M. Peres, "Fotografia científica em Portugal, das origens ao séc. XX: investigação e ensino em química e instrumentação". Tese de Doutoramento em Química, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Disponível em: http://hdl.handle.net/10451/8692 (2013)
[4] P. Regnard, "Recherches Expérimentales sur les Conditions Physiques de la Vie dans les Eaux", G. Masson, Éditeur, Paris (1891)
[5] R. Callender, "Scientific Photography", in J. Hannavy, "Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography", Routledge, New York & London, pp.1255-1258 (2008)
[6] O. Pombo, "Introdução", in O. Pombo & S. Marco (ed.), "As imagens com que a Ciência se faz", Fim de Século – Edições, Lisboa, p.11 (2010)
[7] G. H. Niewnglowski, "Les Applications de la Photographie", Garnier Frères, Librairie-Éditeurs, Paris (1907)
[8] I. M. Peres, M. E. Jardim, & F. M. Costa, "The Photographic Self-Recording of Natural Phenomena in the Nineteenth Century", in A. Roca-Rosell (ed.), "The Circulation of Science and Technology: Proceedings of the 4th International Conference of the ESHS", Barcelona, 18-20 November 2010 SCHCT-IEC. Barcelona, pp.462-476 (2012)
[9] J. Sousa, "Observatório Meteorológico e Magnético", in J. A. Carvalho (ed.), "Memoria historica da Faculdade de Philosophia", Imprensa da Universidade, Coimbra, pp.193-199 (1872)
[10] A. Machado, "Observatório da Serra do Pilar: Breves notas históricas. Estado actual e desenvolvimento", Publicações do Observatório da Serra do Pilar, Porto (1929)
[11] A. P. Vidal, "Curso de Meteorologia", Typographia da Academia, Lisboa (1869)
[12] J. A. Silva, "Noticia dos trabalhos magneticos executados no Observatorio Meteorologico do Infante D. Luiz, na Escola Polytechnica, apresentada á Academia Real das sciencias pelo socio Joaquim Antonio da Silva", Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa - Classe de Sciencias Mathematicas, Physicas e Naturaes, 2, pp.1-22 (1861)
[13] V. Bonifácio, "Da Astronomia à Astrofísica. A perspectiva portuguesa (1850-1940)", Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro (2009)
[14] J. B. Capello & B. Stewart, "Results of a Comparison of Certain traces produces simultaneously by the Self-recording Magnetographs at Kew and at Lisbon; especially of those which record the Magnetic Disturbance of July 15, 1863", Proceedings of the Royal Society of London, 13, pp.111-122 (1864)
[15] V. Bonifácio, I. Malaquias & J. Fernandes; "Solar Photography in the nineteenth century: the case of the Infante D. Luiz Observatory (1871-1880)", Journal of Astronomical History and Heritage, 10 (2), pp.101-113 (2007)
[16] J. Vaquero, M. A. Valente, et al, "The 1870 space weather event, Geomagnetic and auroral records", J. Geophys. Res., 113, 16 (2008)
[17] J. W. Herschel, "On the Action of the Rays of the Solar Spectrum on Vegetable Colours, and on Some New Photographic Processes", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 132, pp.181-21 (1842)
[18] K. Hentschel, "Mapping the spectrum: techniques of visual representation in research and teaching" Oxford University Press, Oxford (2002)
[19] I. M. Peres, "O Ensino da Análise Química Espectral: Um Compromisso entre Químicos, Fabricantes de Instrumentos Científicos e Professores (Um estudo de caso na Escola Politécnica e na Faculdade de Ciências de Lisboa, de 1860 a 1960)", Dissertação de Mestrado em Química para o Ensino. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa (2006)
[20] A. Forjaz, Estudos de análise espectral realizados sobre os minerais de urânio e de zircónio portugueses. Tese de Doutoramento. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (1916)
[21] A. Gramont, "A Sur la Répartition des Raies Ultimes dans les Spectres Stellaires", Memorie della Societa Degli Spettroscopisti Italiani, 39, pp.77-78 (1910)
[22] A. Forjaz, "Étude spectrographique d'une météorite portugaise", Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris, 173, p.1170 (1921)
[23] A. Forjaz, "Étude spectrographique des minéraux portugais de tungstène" Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris, 173, pp.1170-1171 (1921)
[24] A. Forjaz, "Spectrochimie des eaux minérales portugaises: L'eau du Gerez. Comptes Rendues de l'Académie des Sciences de Paris", 186, pp.1366-1367 (1928)



Marília Peres é professora de Física e de Química do ensino secundário na Escola Secundária José Saramago-Mafra. Doutorada em Química pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. É colaboradora do Centro de Química Estrutural-Ciências da Universidade de Lisboa e da Divisão de Educação da SPF. Atualmente faz investigação em História da Fotografia Científica, Química Fotográfica do século XIX e História da Química e da Física.

As Pioneiras: Mulheres no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra (1911-1972)

Gilberto Pereira[1,2], Décio Martins[1], Carlos Fiolhais[1]

[1]Centro de Física da Universidade de Coimbra
[2]Museu da Ciência da Universidade de Coimbra

ggpereira@ci.uc.pt

Introdução[1]

Ser mulher em Portugal nunca foi fácil. No tempo do Estado Novo (1933-1974), as dificuldades eram acrescidas. Antes do 25 de Abril de 1974, as mulheres não tinham os mesmos direitos que os homens. Por exemplo, não podiam votar (salvo algumas excepções, como terem habilitações mínimas ou serem chefes de família); até 1969 não podiam sair do país sem autorização do marido; também não podiam ascender a determinadas carreiras profissionais, como o serviço diplomático, militar, policial ou a magistratura judicial [1]. A Revolução de Abril ajudou a derrubar barreiras, mas alguns obstáculos ainda perduram.

No que diz respeito à participação feminina na Universidade de Coimbra (UC), quer como estudantes, quer como docentes, a sua presença foi sempre residual, dificultada por questões políticas, sociais e culturais.

Poucos saberão identificar a primeira mulher a estudar na Universidade de Coimbra ou a primeira professora desta instituição secular. E o nome da pioneira mulher a leccionar Física na UC caiu no esquecimento, inclusive dentro do próprio Departamento de Física da UC (DFUC)[2]. Este texto serve para retirar o seu nome desse injusto esquecimento, assim como realizar um levantamento mais vasto da presença feminina na Física, em Coimbra e no país.

A primeira mulher a matricular-se na UC foi Domitila Hormizinda Miranda de Carvalho, natural de Travanca da Feira. Matriculou-se na Faculdade de Matemática no ano lectivo de 1891-1892, sendo Reitor da UC António dos Santos Viegas, professor de Física. Domitila de Carvalho, que também frequentou a Faculdade de Medicina, foi a única aluna desta instituição até 1896. Professora, escritora e poetisa, notabilizou-se por ter sido uma das três primeiras deputadas portuguesas, entre 1935 e 1938, juntamente com Maria Guardiola e Maria Cândida Pereira. Até à proclamação da República, em 1910, apenas 23 alunas frequentaram a UC (7 no curso de parteiras), não havendo no ano de 1910-1911, um único funcionário do sexo feminino nesta instituição [2, 3].

[1] Este texto não segue o acordo ortográfico.
[2] A designação de "Laboratório de Física" prevaleceu entre 1911 e 1972 e a de "Departamento de Física" após 1972, até hoje.

A primeira professora na UC foi Carolina Michaëlis de Vasconcelos, contratada em 1911, para leccionar Filologia Germânica na recém-criada Faculdade de Letras. Alemã, casada com Joaquim de Vasconcelos, tinha já 60 anos aquando da sua contratação. Com um currículo valioso que a credibilizou e permitiu a sua ascensão a um mundo até então masculino, foi a única professora até 1925, ano da sua morte [4]. Só em 1938 uma segunda mulher voltaria a ocupar um lugar de professora na UC: Leonor Maria da Piedade Flores, contratada como assistente de Química [2].

A Pioneira

Focando-nos no Laboratório de Física, um nome que até agora foi relegado ao esquecimento, foi o de Hermínia Pratas Inácio (25-11-1921 / 13-12-2015) (Figura 1), a primeira mulher a ensinar Física na UC. Natural de São Martinho do Bispo, concelho de Coimbra, era filha de Maria Baptista Pratas e Manuel Inácio Júnior. Matriculou-se em Ciências Físico-Químicas, na UC, no ano de 1940-1941, curso que completou com a classificação final de 14 valores. Foi quartanista de Ciências em 1943, tendo sido colega de curso de Luiz Vaz de Sampayo (que posteriormente foi Professor Catedrático neste grupo). Em 1946 Hermínia Pratas Inácio foi contratada por Mário Silva, Professor Catedrático e Director do Laboratório de Física, para um lugar de Assistente Extraordinário sem encargos para o Estado (honorários assegurados com verbas próprias do Laboratório de Física), indo trabalhar com João Almeida Santos, Professor Extraordinário da secção de Física [5]. A passagem de Hermínia Pratas Inácio pelo Laboratório de Física foi curta: apenas dois anos (até 1948). Dedicou-se posteriormente ao ensino liceal, leccionando no Liceu Bocage (Setúbal, 1952), no Liceu Rainha D. Leonor (Lisboa, 1953) e no Liceu D. João de Castro (Lisboa, 1955). Por esta altura, o ensino liceal era a saída profissional dominante para os licenciados em Ciências Físico-Químicas. Casada e com filhos, abandonou o professorado para se dedicar à família, estando sepultada em Ponte de Lima.

No ano lectivo em que Hermínia Inácio foi contratada, 1946-1947, o corpo docente do grupo da Física era composto por três professores efectivos: Mário Silva, João Almeida Santos e

José Luís Rodrigues Martins (1.º Assistente). Em lugares não permanentes encontravam-se João Soares Teixeira Lopes e José Lopes Cristo (2.os Assistentes) e Hermínia Inácio, como já vimos, no cargo de Assistente Extraordinário. Com a demissão compulsiva de Mário Silva em 1947, todos os seus assistentes foram pouco a pouco substituídos. Rodrigues Martins, primeiro doutorado em Física Teórica pela UC, decidiu rumar para Moçambique em 1949. Em 1948 Almeida Santos tornou-se o



Figura 1 – Hermínia Pratas Inácio (1921-2015). Largo da Feira, junto à Sé Nova, em Maio de 1943. Fotografia gentilmente cedida pelo seu filho, Álvaro Queiróz.

novo Director do Laboratório de Física, ocupando este cargo até 1974 [6].

As outras Pioneiras

Se na primeira metade do século XX, sob a direcção de Mário Silva, apenas encontramos um nome feminino, no longo período de direcção de Almeida Santos ocorreu um aumento significativo deste número. Este é um período caracterizado por um grande desenvolvimento do Departamento de Física, designadamente nos campos da Física Nuclear Experimental, da Física Teórica e da Física da Matéria Condensada. São vários os motivos que levaram a uma grande contratação de assistentes. Uma das razões foi o incremento do número de assistentes a realizar o seu doutoramento no estrangeiro, criando a necessidade da sua substituição temporária. O cumprimento do serviço militar obrigatório, principalmente após o início da Guerra Colonial, também requereu a necessidade de assistentes pontuais. Mas, o principal motivo que levou à necessidade de contratar mais professores foi, provavelmente, a criação da Licenciatura em Física, em 1964, quando ocorreu uma cisão com a licenciatura de Química. O aumento de disciplinas, aliado ao crescimento do número de alunos no ensino superior impunha a necessidade de um quadro de docentes mais alargado, embora com ligações contratuais de curta duração, o que conduziu a uma grande rotatividade de docentes.

Num levantamento efectuado para o período entre 1946 e 1972, verificámos que foram contratados, para a secção de Física, 31 mulheres e 30 homens. Deste grupo feminino 11 fizeram toda a carreira profissional no Departamento de Física, tendo 4 atingido o cargo máximo de Professora Catedrática neste estabelecimento (ver tabela 1). Ou seja, cerca de um terço das mulheres conseguiu entrar no quadro e ter uma carreira de professora universitária ou investigadora neste Departamento, mas apenas 13 % das mulheres atingiu o topo na hierarquia do professorado. Se contabilizarmos uma professora que atingiu o lugar de Catedrática pelo Instituto Superior Técnico, a percentagem sobe ligeiramente para 16%.

No caso masculino, de um total de 30 homens foram 17 os que fizeram toda a carreira profissional na UC (alguns tendo iniciado a sua ligação à Física, depois transferiram-se para outros Departamentos ou Faculdades da UC). Do total, 11 atingiram o lugar de Professor Catedrático no DFUC (37 % dos homens) e, outros 2 foram nomeados Professores Catedráticos pelo Departamento de Engenharia Electrotécnica da UC. Isto é, 43 % do total atingiu o cargo máximo da carreira do professorado universitário.

Em média, foram contratados cerca de 2 novos assistentes por ano. Se em 1946-1947, como referido, eram 6 os professores, em 1965-1966 há um grupo de 18 docentes (14 homens + 4 mulheres) e em 1972-1973 há 30 docentes (16 homens + 14 mulheres). Neste último ano lectivo, o número de mulheres quase igualou o número de homens, mas os oito postos máximos (Professores Catedráticos e Extraordinários) são ocupados por estes [7].

Corpo docente DFUC (1972-1973) [7]:

- Prof. Catedrático: 4 homens
- Prof. Extraordinário: 2 homens
- Prof. Extraordinário (equiparado): 2 homens
- Assistente: 3 (1 homem + 2 mulheres)
- Prof. Auxiliar além do quadro: 4 (3 homens + 1 mulher)
- Assistente além do quadro: 9 (2 homens + 7 mulheres)
- Assistente Eventual: 6 (2 homens + 4 mulheres)

Na Figura 2 encontram-se retratadas quatro destas pioneiras,



Figura 2 – Elisa Pereira Silva, Carlos Conde, Maria de Fátima Ferreira, Maria Celeste dos Santos e Maria Alegria Rocha. Fotografia no Laboratório de Física da UC, no rés-do-chão do edifício do Colégio de Jesus, 1974. Fotografia gentilmente cedida por Carlos Conde.

Tabela 1 - Professoras e Investigadoras no Laboratório de Física da UC, entre 1911 e 1972.

	Nome (data nascimento / morte) [a]	**Período de ligação ao LF**	**PhD** (local, data)	**Catedrática UC** (data)
1	Hermínia Pratas Inácio (25-11-1921 / 13-12-2015)	1946 - 1948	–	–
2	Maria Alice Furtado Alves (5-5-1924 / 17-8-2006) [b]	1948 - reforma	–	–
3	Maria Amália de Freitas Tavares (24-4-1925 / 1-10-2018) [b]	1949 - reforma	Coimbra 1981	–
4	Maria Esmeralda Leite Rainho (15-2-1925 / 2-8-2002)	1950 - 1956 e 1969 - 1977	–	–
5	Maria Preciosa Duarte Gomes de Sousa Alves (2-6-1932)	1955 - 1980	–	–
6	Maria Helena Rodrigues Fonseca (1-1-1934)	1956 - 1957	–	–
7	Maria Isabel Carneiro Barradas (18-11-1935)	1958 - 1962	Aveiro 1986	–
8	Erundina da Fonseca Nunes (7-11-1935)	1961 - 1962	–	–
9	Maria Adelaide Moreira Brandão (21-8-1939 / 3-12-2008)	1962 - 1972	Paris 1973	–
10	Maria Salete Silva Carvalho (13-2-1940) [b]	1963 - 2002 (reforma)	Manchester 1969	1983
11	Teresa Maria da Mota Horta e Vale (13-11-1944) [b]	1964 - reforma	Coimbra 1986	–
12	Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa (21-8-1945 / 9-12-2021) [b]	1964 - 2015 (jubilação)	Cambridge 1974	1986
13	Maria Júlia Malaquias Gravato (19-6-1943)	1965 - 1969?	–	–
14	Maria da Alegria Gomes da Rocha (23-12-1943)	1966 - 1983?	Coimbra 1983	–
15	Nídia Maria Bandeira da Silva (23-1-1944)	1966 - 1969	–	–
16	Maria Celeste Marques dos Santos (20-6-1944)	1967 - 1975	–	–
17	Maria de Fátima Fernandes Pinheiro (14-10-1945)	1968 - 1970	Oxford 1978	–
18	Evangelina da Silva Nunes (19-4-1947)	1969 -1971	–	–
19	Maria Francisca da Silva (24-3-1946)	1970 - 1976?	Manchester 1976	–
20	Lídia dos Santos Ferreira (19-2-1946)	1970 - 1988	Oxford 1976	–
21	Maria Joana Torres de Carvalho (20-10-1946)	1970 - 1979	Estrasburgo 1980	–
22	Maria José Barata Marques de Almeida (14-2-1946) [b]	1970 - 2016 (jubilação)	Cambridge 1976	1990
23	Maria da Conceição Espadinha Ruivo (6-5-1948) [b]	1970 - reforma	Coimbra 1983	2000
24	Maria Norberta Neves Correia de Pinho (6-6-1945)	1971	Florida 1976	[c]
25	Maria Helena Carvalho Gomes Caldeira (7-3-1948 / 29-11-2024) [b]	1971 - reforma	Coimbra 1982	–
26	Ana Maria Tinoco de Matos Beja (18-12-1949) [b]	1971 - reforma	Coimbra 1988	–
27	Maria Isabel Mendonça Neves de Almeida (7-9-1947)	1971 - ?	–	–
28	Maria de Fátima Andrade Ferreira (4-5-1947)	1971 - 1982	–	–
29	Ermelinda Maria Ramos Figueiredo Antunes (7-5-1941) [b]	1971 - 2006 (reforma)	Coimbra 1988	–
30	Elisa Maria Pereira da Silva (7-4-1947)	1972 - ?	–	–
31	Lourdes da Conceição Rodrigues Andrade (25-01-1954) [b]	1972 - 2019 (reforma)	Coimbra 1986	–

Nota:

[a] Os nomes apresentados são os de solteira. Ordenados por ordem cronológica da data de contratação.

[b] Todo o percurso profissional no Dep. Física da UC.

[c] Catedrática pelo Instituto Superior Técnico, em 2011.

numa rara imagem captada no Laboratório de Física da UC, pouco tempo antes da transferência deste Laboratório para as novas instalações, na Rua Larga (1974). Não podendo pormenorizar aqui a biografia de cada elemento deste conjunto, destacaremos cinco casos: a primeira investigadora e as quatro professoras que obtiveram a cátedra.

Maria Alice Furtado Alves (1924-2006) - Natural da freguesia da Conceição, na cidade de Angra do Heroísmo (Açores), filha de Rosa Margarida Furtado Alves e de Francisco Alves, concluiu o curso liceal no liceu de Angra do Heroísmo, com a classificação final de 18 valores (Figura 3). Em 1943 ingressou na licenciatura em Ciências Físico-Químicas na UC, tendo concluído o curso em 1947, com a classificação final de 17 valores. Alice Alves destaca-se por ter sido a primeira mulher a ser contratada como investigadora do Laboratório de Física (1966), sendo também das primeiras na Faculdade de Ciências da UC. Em Abril de 1948 tornou-se 2.ª Assistente do grupo de Física, lugar que ocupou até 1954, quando obteve uma bolsa do Instituto de Alta Cultura (IAC), tornando-se bolseira no Centro de Estudos de Física Nuclear de Coimbra (CEFN). Após um ano em Inglaterra obteve, em 1957, um "Master of Science in Radioactivity", pela Universidade de Birmingham, Reino Unido. Após o seu regresso a Coimbra tornou-se Assistente do CEFN, colaborando nas investigações deste centro de investigação e na formação dos tirocinantes que passavam por este grupo. Em 1964, durante quatro meses, colaborou com os Estudos Gerais de Moçambique, na montagem de um laboratório para estudos de Física, e na regência de um curso sobre Radioisótopos. Após a criação do lugar de Técnico-Investigador tomou posse deste lugar, em 16-5-1966, tornando-se com João da Providência Santarém e Costa nos dois primeiros investigadores do quadro do pessoal do Laboratório de Física. Em 1982 foi nomeada Investigadora Principal, além do quadro. Alice Alves teve papel relevante na organização e transferência do Departamento de Física (iniciada em 1974), do edifício do Colégio de Jesus para as novas instalações na Rua Larga.



Figura 3 – Maria Alice Furtado Alves (1924-2006). Fotografia existente no LIP-Coimbra.

Maria Salete Silva Carvalho[3] (1940) - Natural de Paranhos da Beira, Seia, filha de Arminda da Conceição de Almeida e Silva e de José Marques de Carvalho. Após concluir o ensino liceal em Coimbra (Liceu Nacional Infanta D. Maria), com a média final de 18 valores, tendo sido agraciada por isso com um prémio nacional, ingressou na UC no ano lectivo de 1957-1958, onde, durante três anos, frequentou o Curso Preparatório para Engenharia Químico-Industrial, concluindo os restantes dois anos da licenciatura no Instituto Superior Técnico (em Julho de 1963), com a classificação final de 17 valores. Posteriormente colaborou com o CEFN de Coimbra, como bolseira da Comissão de Estudos de Energia Nuclear (CEEN) do IAC, dedicando-se ao estudo da separação de radioisótopos. Em Novembro de1964 tomou posse como 2.º Assistente do grupo da Física e, no ano seguinte, foi enviada para a Universidade de Manchester, onde frequentou um curso de "Advanced Studies in Science (Physics)", que concluiu com distinção. Posteriormente especializou-se em Física Molecular, tendo concluído, na mesma Universidade, e sob a orientação de John Birks, um doutoramento com uma tese intitulada "Influence of diffusion on energy transfer and quenching in aromatic solutions" (1969). Após o seu regresso ao Laboratório de Física da UC, continuou os seus estudos sobre luminescência, com uma bolsa da CEEN (1969-1970), sendo posteriormente integrada no projecto CF/2 do IAC, "Desenvolvimento de detectores de radiações nucleares e atómicas, montagem dum acelerador e estudo da luminescência de moléculas orgânicas". Em 1983 foi nomeada Professora Catedrática, aposentando-se em 2002. Ocupou inúmeros cargos directivos, tais como: Presidente do Conselho Pedagógico da FCTUC (1984-1985); Presidente da Mesa da Assembleia de Representantes da FCTUC (1994-1999); Vice-Presidente do Conselho Científico da FCTUC (1999); Coordenadora do Centro de Física da Radiação e dos Materiais da UC (2000-2002) e Presidente da Comissão Executiva do Departamento de Física da UC. Foi a primeira mulher a presidir à direcção do Instituto Pedro Nunes (1997-1999).

Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa (1945-2021) - Natural da freguesia de Santo António dos Olivais, Coimbra, filha de Maria Fernanda Ramalho Ribeiro da Costa e de Hernâni Ribeiro da Costa. Matriculou-se na UC em 1962, tendo concluído a licenciatura em Ciências Físico-Químicas em Julho de 1966, com a classificação final de 17 valores. Enquanto estudante, foi tirocinante durante dois anos, na Secção de Física do Centro de Estudos de Física e Química, tendo nesta função realizado um estágio no Centro de Cálculo Científico da Fundação Calouste Gulbenkian, em programação e iniciação aos computadores. Após concluir a sua licenciatura foi contratada como técnico-experimentador, trabalhando na análise de estruturas de ligas metálicas por difracção de raios X. Um ano depois foi contratada como Assistente além do quadro do grupo da Física (Agosto de 1967), ingressando depois, como bolseira do IAC, no Laboratório Cavendish da Universidade de Cambridge (Outubro de 1968), onde se doutorou em 1974. A sua tese, intitulada "A study of charge and spin density in some transition metal aluminium alloys", teve a supervisão de Penelope Jane Brown. Após o seu regresso ao Departamento de Física da UC tomou posse como Professora Auxiliar (1975). Em 1982 foi nomeada Professora Associada e, quatro anos

[3] Maria Salete Silva Carvalho Pinheiro Leite, após casamento.

depois, Professora Catedrática. Dirigiu a Linha de Acção n.º 1 - Estrutura dos Materiais, do Centro de Física da Radiação e dos Materiais da UC (1987), assim como o Centro de Estudos de Materiais por Difração de Raios X (1994). Ocupou também o cargo de Presidente da Comissão Executiva do Departamento de Física da UC. Aquando da sua morte, foi-lhe feita uma merecida homenagem na Gazeta de Física [8].

Maria José Barata Marques de Almeida (1946) - Natural da Golegã, Santarém, filha de Ana Maria Hermínia de Carvalho Ferreira Barata Marques de Almeida e de José Marques de Almeida. Licenciou-se em Física, em 1970, pela UC, com a nota final de 17 valores. Nesse mesmo ano foi contratada como Assistente eventual, passando a Assistente dois anos depois. Em 1975 submeteu a sua tese de doutoramento no domínio da Física da Matéria Condensada, desenvolvida no Cavendish Laboratory da Universidade de Cambridge, intitulada "Coherent neutron scattering by ferrous ions", que foi aprovada em 1976. De regresso à UC foi nomeada sucessivamente Professora Auxiliar (1976), Professora Associada (1978) e Professora Catedrática (1990). Para além da sua especialização base, destacou-se também pelo seu trabalho em Física Educacional. Foi Vice-Presidente do Conselho Directivo da FCTUC (1995-1999). Em 23-9-2015, um ano antes da sua jubilação, proferiu a Oração de Sapiência[4], na abertura solene das aulas na UC.

Maria da Conceição Espadinha Ruivo (1948) - Natural de Alfundão, Ferreira do Alentejo, filha de Francisca Neves Espadinha e João Pedro Ruivo. Conceição Ruivo foi proposta para monitora por Almeida Santos, tendo sido contratada no final de 1970. Em Novembro de 1972 finalizou a licenciatura em Física pela UC, com a classificação final de 16 valores. Tendo-se dedicado à Física Teórica, apresentou na UC, em Maio de 1983, a tese de doutoramento em Física Teórica, subordinada ao tema "Graus de liberdade piónicos e fenómenos críticos em matéria nuclear", trabalho realizado sob a orientação de João da Providência Santarém e Costa. Nesse mesmo ano assumiu o lugar de Professora Auxiliar, sendo nomeada Professora Associada em 1986 e Catedrática em 2000. Especialista em Física das Partículas e em História da Ciência, possui diversos livros publicados, na área literária.

Alguns números curiosos

Um facto curioso que teve lugar no Departamento de Física da UC, talvez único nesta instituição e no país, foi o trabalho simultâneo, entre 2000 e 2002, das quatro Professoras Catedráticas atrás apresentadas. A ascensão feminina a este lugar não era fácil. Vejamos o caso de Maria Salete Leite, que se doutorou em 1969, sendo nomeada Professora Catedrática em 1983. Existiram três professores masculinos que se doutoram depois dela e chegaram ao lugar de Catedrático antes: João Pedroso Lima (1970/1981), Joaquim Maria Domingos (1971/1982) e Nuno Ayres de Campos Barbosa (1976/1982) (respectivamente ano de doutoramento / Catedrático).

Numa outra análise, contabilizamos entre 1910 e 1924 um total de 29 Professores Catedráticos de Física, na UC. Deste grupo, 6 são mulheres (21%) e 23 homens (79%). Na actualidade, o Departamento de Física possui 7 Professores Catedráticos, sendo composto por 2 mulheres (29%) - Constança Providência e Isabel Lopes - e 5 homens (71 %). Embora se verifique um ligeiro aumento, quando analisamos o número total de docentes (57) no presente ano lectivo, a percentagem de professoras é de apenas 26 % [9]. Uma grande diferença relativamente ao ano lectivo de 1972-1973, quando as mulheres representavam 47 % do corpo docente deste Departamento.

Corpo docente DFUC (2024-2025) [9]

- Prof. Catedrático: 7 (5 homens + 2 mulheres)
- Prof. Associado: 16 (12 homens + 4 mulheres)
- Prof. Auxiliar: 18 (14 homens + 4 mulheres)
- Convidados: 13 (9 homens + 4 mulheres)
- Externos: 3 (2 homens + 1 mulher)

No universo das instituições de Ensino Superior em Portugal, com departamentos dedicados à Física, e o panorama não é melhor. Com um total de 52 Professores Catedráticos a nível nacional, dividem-se em 43 homens (83 %) e 9 mulheres (17 %).

Professores Catedráticos – Departamentos de Física, Portugal*

- Instituto Superior Técnico: 13 (12 homens + 1 mulher)
- Universidade da Beira Interior: 2 homens
- Universidade da Madeira: 1 homem
- Universidade de Aveiro: 7 (5 homens + 2 mulheres)
- Universidade de Coimbra: 7 (5 homens + 2 mulheres)
- Universidade de Évora: 3 (2 homens + 1 mulher)
- Universidade de Lisboa: 4 (3 homens + 1 mulher)
- Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro: 2 homens
- Universidade do Algarve: 1 homem
- Universidade do Minho: 6 (5 homens + 1 mulher)
- Universidade dos Açores: 0 **
- Universidade Nova de Lisboa: 6 (5 homens + 1 mulher)

* Dados recolhidos nas páginas de Internet ou nas secretarias, em Outubro de 2024.

** Departamento de Ciências da Física, Química e Engenharia.

O relatório apresentado em 2021 pela editora Elsevier, sobre a investigação científica realizada em Portugal, analisada na perspectiva de género, conclui que o país tem melhorado e equilibrado, em algumas áreas, a igualdade entre homens e mulheres. Porém, embora as mulheres representem mais de 50% dos doutorados, engenheiros e profissionais com formação superior, apenas ocupam menos de 30 % dos cargos directivos em instituições do Ensino Superior [10].

A percentagem de mulheres investigadoras em áreas disciplinares das Ciências Físicas (Física e Astronomia) em Portugal, no período entre 2014-2018, era ligeiramente superior a 30 %, valores superiores à Matemática ou Ciências da Computação, mas inferiores às das Ciências da Vida ou da Saúde. No geral, para todas as áreas, em 2019 a percentagem de investigadoras era de 53 % [10].

Numa altura em que a proporção de mulheres nas Universidades é dominante, os cargos máximos ainda são inalcançáveis para a maioria.

[4] A Oração de Sapiência é uma tradição secular na UC, que prestigia o orador.

Agradecimentos
Os autores agradecem gentilmente as fotografias e as informações fornecidas por Álvaro Queiróz (filho de Hermínia Pratas Inácio), assim como por Carlos Conde (1935-2024), Professor Catedrático do DFUC, recentemente falecido, a quem prestamos homenagem.

Referências
1. I. Pimentel e W. Tamzali, "As mulheres na história e nas histórias", Faces de Eva, nº 32, p. 125-132 (2014).
2. J. Ferreira Gomes, "A mulher na Universidade de Coimbra", Livraria Almedina, Coimbra (1987).
3. J. L. C. Nunes, "As primeiras mulheres assistentes e doutoradas na Secção de Ciências Matemáticas da Universidade de Coimbra (1961 a 1986)", Boletim da SPM, nº 72, p. 53-74 (2015).
4. L. Cabral e J. V. Costa (Org.), "Joaquim de Vasconcelos Homem de Cultura - Lugares de Carolina Michaëlis e de Joaquim de Vasconcelos", Catálogo das exposições. Câmara Municipal do Porto, Porto (2009).
5. Livro de Actas da Faculdade de Ciências da UC (1941-1947), reunião de 15-11-1946. Arquivo da UC, cota IV-1ªD-3-1-53-A, p. 219.
6. G. Pereira, D. Martins e C. Fiolhais, "João Rodrigues de Almeida Santos e o seu contributo científico e pedagógico para o Laboratório de Física da Universidade de Coimbra". In Tiago Brandão (Org.), História Biográfica e Intelectual da Ciência e da Tecnologia: Atores, Ideias e Identidades (253-279). Instituto de História Contemporânea, Lisboa.
7. "Anuário da Universidade de Coimbra. 1972-1973", Imprensa de Coimbra, Lda., Coimbra (1975).
8. J. A. Paixão, "Em memória de Maria Margarida Costa", Gazeta de Física, nº 44 (4), p. 29-30. (2022).
9. "Docentes" (https://www.uc.pt/fctuc/df/pessoas/docentes).
10. "Gender in the Portugal Research Arena: A Case Study in European Leadership" (2021) (https://www.elsevier.com/insights/gender-and-diversity-in-research/portugal).



Gilberto Pereira é licenciado em Química Industrial (FCTUC) e mestre em Química Aplicada ao Património Cultural (FCUL). Encontra-se a desenvolver a sua tese de doutoramento em História da Ciência (UC), subordinada ao tema "A investigação científica no Laboratório de Física da Universidade de Coimbra, entre 1911 e 1972". Trabalha no Museu da Ciência da UC (desde 2002), sendo o curador da colecção de instrumentos científicos.



Décio Martins é doutorado em História e Ensino da Física, pela UC. Tem publicado artigos e colaborado em livros sobre a História da Ciência em Portugal. Colaborou na organização de exposições nacionais e internacionais sobre instrumentos científicos dos séculos XVIII e XIX. Integrou a Comissão Científica do Museu da Ciência e foi Director do Museu de Física da UC. Foi coordenador do Doutoramento em História das Ciências e Educação Científica.



Carlos Fiolhais é licenciado em Física na UC (1978) e doutorado em Física Teórica na Universidade Goethe, Frankfurt (1982). É Professor Catedrático emérito da UC. É autor de mais de 70 livros científicos, pedagógicos e de divulgação científica e de numerosos artigos científicos, pedagógicos e de divulgação. Foi Director da Biblioteca Geral da UC, Coordenador da área do Conhecimento da Fundação Francisco Manuel dos Santos e Director do Rómulo - Centro Ciência Viva da UC. Dirige a colecção Ciência Aberta da Gradiva. Ganhou os Prémios: Medalha de Ouro da Cidade de Coimbra (2024), Medalha de Mérito do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (2021), José Mariano Gago da SPA (2018), Ciência Viva-Montepio (2017), Globo de Ouro de Mérito e Excelência em Ciência da SIC (2005), Ordem do Infante D. Henrique (2005), Inovação do Fórum III Milénio (2006) e Rómulo de Carvalho da Universidade de Évora (2006).

Inteligência Artificial (IA) em Educação: uma Perspetiva

José Braga

Resumo
A Inteligência artificial (IA) está na moda. Com efeito, sem dificuldade, encontram-se nos escaparates várias obras de publicação recente que servem de introdução a esta temática. Servem de exemplo os seguintes livros: "Génesis" [1], que apresenta uma reflexão realizada por um político recentemente falecido, em conjunto com dois especialistas em informática, que apresenta cenários da utilização da IA em diversas situações, levantando as principais questões sobre a área. "Futuro Tenso: Como Criámos a Inteligência Artificial – e como Ela vai Mudar Tudo" [2], virado para um público mais jovem, traça a história da inteligência artificial e fornece um panorama dos benefícios e problemas que a IA apresenta, sendo talvez a melhor introdução ao fenómeno. "Superpotências da Inteligência Artificial: a China, Sillicon Valley e a Nova Ordem Mundial" [3], dá uma perspetiva Geopolítica ao problema e fornece cenários sobre a possível evolução do mercado de trabalho. "A Revolução do Algoritmo Mestre", de um autor português a trabalhar nos E.U.A, mais virado para informáticos ou um público mais conhecedor do tema. Finalmente, "Artificial Inteligence and Education" [4]. É uma publicação do Conselho Europa em que se aborda a aplicação e ensino da IA, as relações entre IA e educação com as suas implicações nos valores europeus dos direitos humanos, democracia e estado de direito, e oportunidades e desafios da IA em educação. É facilmente acessível pela internet.

Todos temos noção de que a IA já está a ter repercussões no campo educativo e, por isso, os professores devem estar preparados para ela e dar aos seus alunos alguma experiência na sua utilização.

Neste artigo pretende-se, sinteticamente, apresentar alguns programas com potencial educativo dos quais podem extrair-se experiências de aprendizagem e formas de os integrar nas atividades pedagógicas do ensino básico e secundário. Faz-se um breve resumo das principais vantagens e desvantagens da utilização da IA em educação, refletindo-se sobre algumas questões éticas que a sua utilização levanta e fornece-se um exemplo de prática pedagógica no 3.º ciclo do ensino básico, com ênfase interdisciplinar.

Cumpre notar que nos encontramos na «Era digital», a fase contemporânea da sociedade de informação onde a digitalização dos dados e a conectividade global transformam todas as esferas da vida humana, incluindo como aprendemos. Desta maneira, o trabalho com a internet, o telemóvel e a IA faz parte dos desafios que a escola enfrenta. Deve-se procurar tentar integrá-los no contexto escolar da melhor maneira possível. São fenómenos do nosso tempo e os alunos deverão saber utilizá-los de forma proficiente, como todas as Tecnologias de Informação e Comunicação com que terão de lidar no seu futuro.

A IA na educação

Os programas Gemini e ChatGPT podem já ser usados para fazer, corrigir e responder a testes, permitindo um trabalho docente mais rápido, mas, exigindo uma supervisão humana. São de acesso livre e, portanto, já se nota nas escolas o recurso a eles, especialmente ao segundo.

O Art Steps e o Spatial são programas que permitem realizar exposições virtuais, podendo ser usados para os alunos realizarem portefólios digitais. São formas de criar ambientes estimulantes e desafiantes para os discentes, caso sejam explorados de forma conveniente. Crê-se que serão mais úteis em disciplinas ligadas às Artes.

Os programas SAMR, TPACK ou Magic School são instrumentos de IA próprios para fins educacionais: permitem preparar aulas inovadoras, pô-las em prática e realizar a sua avaliação. Outro instrumento de IA com utilidade na educação é o DeepL, um *software* para realizar traduções, fundamental na aprendizagem de línguas. No entanto, os mais populares são o ChatGPT, o NotebookLM e o GammaApp, programas de fácil acesso e utilização gratuita.

Podem-se elaborar planos de aula com ChatGPT, utilizando chatbots ou comandos, criando aulas interativas e onde o trabalho dos alunos é estimulado. Por sua vez, o NotebookLM, que usa *prompts*, ele faz uma boa interligação da informação existente em duas fontes: pode-se cruzar informação de um ficheiro em PDF e um vídeo do YouTube, por exemplo. Além do resumo solicitado do texto introduzido nele, apresenta ainda questões muito pertinentes que podem ser utilizadas num debate, após a visualização do vídeo e leitura do texto usados, orientando a análise da informação. Na prática docente, pode ser um recurso interessante para análise documental. Os alunos podem usar o NotebookLM para apoio ao estudo ou para realizar trabalhos de pesquisa de forma rápida, sendo depois os textos aperfeiçoados por eles mesmos.

O GammaApp pode ser utilizado para realizar apresentações em Powerpoint, mas possui outras capacidades. Fica-se siderado com a rapidez com que consegue elaborar uma apresentação utilizando apenas a versão de utilização livre (que permite a realização de 8/9 diapositivos).

No global, a IA traz como vantagens mais importantes permitir adaptar o conteúdo e o ritmo de aprendizagem às caraterísticas dos alunos, caminhando para um ensino mais individualizado. Na medida em que se pode orientar aprendizagens de forma mais direta, ajuda a criar ambientes pedagógicos mais estimulantes e motivadores para os alunos, combinando competências com práticas reais e integrando IA com métodos mais tradicionais. Também possibilita uma maior diversificação, tanto a nível das formas de aprendizagem como de avaliação. A IA também pode auxiliar na identificação de lacunas de conhecimento, permitindo analisar as interações e o desempenho do aluno em diferentes atividades. Essa análise pode ser usada rápida e eficazmente por parte do professor, que pode direcionar os seus esforços para as áreas onde o aluno apresenta maior dificuldade.

A IA poderá ajudar a aprendizagem através de diversas abordagens. Refira-se, nomeadamente, a utilização de Sistemas de Aprendizagem Adaptativa, que recorrem a algoritmos de IA para personalizar o conteúdo, as atividades e as estratégias de ensino de acordo com as necessidades e o ritmo de aprendizagem de cada aluno. Os Assistentes Virtuais poderão facilitar a comunicação e a gestão de tarefas administrativas, libertando os professores para as atividades pedagógicas. A Avaliação Automática agiliza a correção de atividades e provas, fornecendo *feedback* imediato aos alunos e permitindo que os professores acompanhem o progresso de cada um, o que já pode ser feito com o GoogleClassroom ou Kahoot, por exemplo. Finalmente, a IA permite criar Conteúdos Educacionais Personalizados. Através do ChatGPT, podem criar-se materiais didáticos personalizados, adaptando o conteúdo e o formato às necessidades de cada aluno, o que pode ser fundamental no trabalho com alunos com Planos Educativos Individuais.

Claro que a implementação da IA nas escolas apresenta muitos desafios. Desde logo, a formação de professores. É essencial que os professores sejam capacitados para utilizar as ferramentas de IA. O esforço de Capacitação Digital deverá ser reforçado. A formação dos docentes deve também incluir a compreensão das implicações éticas, sociais e pedagógicas da IA na educação.

Algumas das desvantagens da IA são o facto de esta poder ser influenciada por viés algorítmico. Ela poderá também fomentar uma certa substituição do mundo real, minimizando as relações humanas, criando uma anomia/alheamento em relação à realidade e constituir um fator de perigo para a saúde mental. Ela requer, sobretudo, equipamento e infraestruturas capazes para a sua implementação, uma vez que existem falhas recorrentes nos sistemas informáticos nas escolas.

Deve-se sublinhar, contudo, que a IA possui limitações na compreensão da complexidade humana. Pode analisar dados, identificar padrões, mas não consegue captar a totalidade dos fatores que influenciam a aprendizagem, como aspetos emocionais, sociais e motivacionais, que têm um peso maior nos jovens. O professor, portanto, continua a ser essencial para aplicar os dados fornecidos pela IA, para compreender as necessidades de cada aluno e para apoiar o seu desenvolvimento integral. Tem de garantir-se que a maioria dos alunos tenham acesso às tecnologias de IA e que a sua utilização não amplie as desigualdades. Outro desafio é a Ética e Privacidade. A recolha e utilização de dados dos alunos devem ser feitas de forma ética e responsável, respeitando a privacidade e a segurança das informações. Se um programa é gratuito é porque os dados serão o preço a pagar, como lembrava alguém. Devem respeitar-se fontes e direitos autorais. Enfim, devem-se desenvolver as competências digitais dos discentes para que possam utilizar as ferramentas de IA de forma eficaz e responsável. Assim, deve existir uma complementaridade entre IA e interação com o docente. São ambas meios de chegar às aprendizagens. A IA deve complementar, e não substituir, a interação humana na educação. O papel do professor continua a ser essencial para criar um ambiente de aprendizagem motivador, oferecer suporte individualizado e desenvolver as competências dos alunos. A relação professor-aluno continua a ser basilar na educação.

A IA tem o potencial de melhorar a educação, mas a sua implementação deve ser planeada, ética e inclusiva, garantindo que todos possam beneficiar das suas vantagens. Ao trabalhar em IA com os alunos deve-se ser muito específico e dar o contexto para os comandos (*prompts* ou *bots*) ou explicar o que é pedido passo a passo, na medida em que o resultado vale o que valerem as instruções dadas aos programas. Para introduzir um trabalho de pesquisa com IA deve-se primeiro abordar a *prompt engineering* (como elaborar os comandos), supervisionando a forma como os alunos pedem a informação aos programas. Provavelmente, o mais sensato, devido à idade e falta de experiência dos discentes, deve ser realizar as *prompts* em conjunto com eles, num *brainstorming*.

O maior perigo que a IA coloca em educação é o impacto sobre a relação pedagógica, que não pode ser substituída, na medida que esta proporciona tanto a instrução como a formação humana. Para combater a fraude académica/escolar podem recorrer-se a declarações de honra e a referência de fontes (o uso de IA deve ser reconhecido nas tarefas escolares). No entanto, deve-se, sobretudo, privilegiar o trabalho pessoal e original. Em síntese, nas ciências humanas, deve-se promover o recurso aos documentos e, nas ciências experimentais, ao trabalho laboratorial. O aluno deve dar sempre a sua opinião pessoal, por exemplo. Os professores deverão usar a IA com os alunos incentivando aspetos que esta descura, como questões formais (legendas das figuras, fontes…), o estímulo da síntese, etc. Para avaliar, recorrer às apresentações orais de trabalhos com questões sobre o que foi apresentado (obrigando os alunos a "defender" o seu trabalho) e procurar fomentar a criatividade, imaginação e espírito crítico. Uma estratégia a empregar pode ser os alunos construírem um Powerpoint sobre um tema da disciplina (aprendendo a trabalhar com a IA, conjugando ChatGPT e GammaApp) e depois irem corrigi-lo ou aperfeiçoá-lo, com base no aprendido em aula.

Exemplifica-se aqui, com um trabalho em pares ou pequenos

Plano de Aula (Exemplo)

Disciplina: Físico-Química	**Ano:** 9º	**Turma:** X	**Ano letivo:** 2024/2025
Lição:	**Sumário:** Os ciclones (trabalho de pesquisa com uso de Inteligência artificial)		
Data:	**Tempo:** 50 min x 3		

Conteúdos	Descritores de desempenho	Desenvolvimento da aula	Recursos	Avaliação
Identificar os fatores de risco de ocorrência de catástrofes naturais, numa determinada região. Aplicar as Tecnologias de Informação para localizar, descrever e compreender os riscos e as catástrofes naturais. Relacionar as condições meteorológicas extremas com os riscos e a ocorrência de catástrofes naturais	Prestar atenção ao que ouve, de modo a tornar possível relatar o essencial de uma história ouvida. Usar da palavra de modo audível, com boa dicção.	**Aula 1:** Formam-se grupos e apresenta-se o que é a IA, vantagens e desvantagens e a importância da ética na sua utilização. Através de um brainstorming, definir os comandos pretendidos para o Chat GPT. Criar um ficheiro no Microsoft Word. **Aula 2:** Pesquisar no Youtube vídeos. Após escolherem um, podem usar o ficheiro Word (elaborado na primeira aula) com o vídeo escolhido e, no NotebookLM, agregá-los e comentar o resultado obtido. O resultado da utilização do NotebookLM pode ser usado para contruir uma apresentação em Powerpoint no GammaAPP. Aperfeiçoar o Powerpoint, alargá-lo ou sintetizá-lo e preparar a apresentação em grupo. **Aula 3:** Realizar a apresentação e defesa do trabalho.	Internet. Computador. Projetor.	Observação direta. Produção de texto. Auto e heteroavaliação. Grelhas de registo da avaliação da expressão oral.

grupo, durante 3 ou 4 aulas (ver plano de aula na página anterior), numa abordagem que mobilizará conhecimentos e competências de Cidadania, Físico-Química, Geografia, Tecnologias da Informação e Comunicação de 3.º ciclo, mas necessitando de computadores e acesso à internet (sem falhas constantes) para estudar tornados ou ciclones.

Numa primeira aula, formam-se grupos e apresenta-se o que é a IA, vantagens e desvantagens e a importância da ética na sua utilização de forma simplificada. Usando o ChatGPT e *chatbots* podem definir-se, através de um *brainstorming*, os comandos pretendidos e as fontes usadas, por exemplo: o que é um ciclone? onde é mais frequente? como se forma? que atitudes tomar caso ocorra? O programa fá-lo em 2 minutos. Os alunos podem fazer a revisão do texto obtido comparando-o com o manual (o programa usa sobretudo português do Brasil), e criar um ficheiro no Microsoft Word.

Na segunda aula, os jovens podem pesquisar no Youtube vídeos sobre ciclones. Após escolherem um, podem usar o ficheiro Word (elaborado na primeira aula) com o vídeo escolhido e, no NotebookLM agregá-los (2 minutos) e comentar o resultado obtido. O resultado da utilização do NotebookLM pode ser usado para construir uma apresentação em Powerpoint no GammaAPP (2 minutos). Os grupos poderão depois aperfeiçoar o Powerpoint, alargá-lo ou sintetizá-lo e preparar a apresentação em grupo. Pode nem se recorrer ao NotebookLM, usando o ficheiro criado pelo ChatGPT (depois de trabalhado) no GammaAPP.

Numa terceira aula, os grupos podem realizar a apresentação e defesa do trabalho. Após apresentarem oralmente, responderão a questões sobre o conteúdo científico, opções tomadas para construir a apresentação ou sobre a utilização escolar da IA. Alternativamente, poderão elaborar um texto de reflexão sobre os ciclones ou o uso da IA (vantagens, desvantagens e opinião sobre ela, por exemplo).

Conclusões

A IA deve ser utilizada com transparência, devendo existir consciência da parte dos utilizadores de que pode ser usada para boas ou más ações. No ensino básico e secundário, pode proporcionar experiências educativas valiosas e aprendizagens significativas. Devem-se respeitar questões éticas e garantir a equidade e a privacidade dos utilizadores. Isto é também uma razão para a sua utilização no meio escolar, na medida em que, sendo supervisionados, os alunos poderão adquirir boas práticas, numa ótica de cidadania responsável.

Referências

Livros:

[1] H. Kissinger; C. Mundie; E. Schmidt; Génesis, D. Quixote, Alfragide, 2024

[2] M. Brokenbrough; Futuro Tenso: Como Criámos a Inteligência Artificial – e como Ela vai Mudar Tudo, Relógio d'Água Editores, Lisboa, 2024

[3] Kai-Fu Lee; Superpotências da Inteligência Artificial: a China, Sillicon Valley e a Nova Ordem Mundial, Relógio d'Água Editores, Lisboa, 2019

[4] P. Domingos; A Revolução do Algoritmo Mestre, Manuscrito, Barcarena, 2017

[5] W. Holmes, J. Persson, I-A Chounta, B. Wasson, V. Dimitrova; Artificial Inteligence and Education; Estrasburgo, s/d.

Recursos na Internet:

[6] https://home.dartmouth.edu/about/artificial-intelligence-ai-coined-dartmouth (sobre a história, vantagens e desvantagens da IA);

[7] https://www.youtube.com/watch?v=t9gmyvf7JYo (perspetivas sobre o usos de IA em educação);

[8] https://www.youtube.com/watch?v=ZRf2BfDLlIA (continuação do vídeo anterior);

[9] https://www.youtube.com/watch?v=Imv9SG-zfkU (princípios para utilização da IA);

[10] https://www.youtube.com/watch?v=59bMh59JQDo (introdução à IA).

Programas referidos:

Possuem versões pagas, mas também gratuitas (com menores possibilidades) sendo necessário o registo:

https://www.artsteps.com/
https://chatgpt.com/
https://www.deepl.com/en/translator
https://gamma.work/pt
https://gemini.google.com/?hl=pt-PT
https://www.magicschool.ai/
https://notebooklm.google/
https://www.spatial.io/
https://tpack.org/
https://tutormundi.com/conteudos/



José Braga, Professor do Ensino Básico e Secundário, membro do Centro Interuniversitário de História das Ciências e da Tecnologia (CIUHCT).

A Fotografia como Ferramenta no Ensino da Física em Portugal no séc. XIX

Marília Peres

Escola Secundária José Saramago-Mafra e Centro de Química Estrutural, Institute of Molecular Sciences, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal

imperes@ciencias.ulisboa.pt

Resumo

O ensino da fotografia desempenhou um papel fundamental no seu desenvolvimento ao longo do século XIX, especialmente em escolas e instituições onde era usada para a realização de tarefas técnicas e de investigação. Em Portugal, algumas instituições científicas chegaram a estabelecer secções fotográficas de renome internacional.

Neste contexto, este estudo analisa aspetos do ensino da Física aplicados à Fotografia na Escola Politécnica de Lisboa, na Universidade de Coimbra, na Escola do Exército e na Escola Naval.

Introdução

No século XIX, devido ao grande desenvolvimento científico e tecnológico, operou-se uma revolução no que diz respeito à comunicação visual e, em particular, à circulação das imagens científicas e técnicas. Para esse facto contribuiu a invenção da Fotografia, que teve diversas contribuições pioneiras: Hércules Florence (1804 – 1879) no Brasil, Nicéphore Niépce (1765 -1833), Louis Daguerre (1787-1851) e Hippolyte Bayard (1801-1887) em França e Fox Talbot (1800 – 1877) na Inglaterra.

O progresso da Ciência depende, entre outros aspetos, do seu ensino e da disseminação da informação científica, que é expressa sob a forma de textos e imagens [1]. Com a invenção da fotografia, o ensino, a circulação e difusão da Ciência, quer entre as sociedades científicas, quer a nível da sua popularização, sofreu consideráveis modificações.

Neste contexto, analisaremos aspetos do ensino da Física, aplicados à Fotografia, e vice-versa, utilizando como estudo de caso a Escola Politécnica de Lisboa (EPL). Também faremos uma comparação com o ensino da fotografia na Universidade de Coimbra e em duas instituições militares do século XIX: a Escola do Exército e a Escola Naval.

A Escola Politécnica de Lisboa

A EPL surge como referência obrigatória na História da Educação e da Ciência em Portugal, pois foi durante mais de um século um dos poucos locais em Portugal onde era possível estudar ciências em geral e física e química em particular, a nível superior. Foi o "berço escola" de muitos dos nossos cientistas, estadistas, médicos e professores [2].

Depois do encerramento da Universidade de Évora, da Companhia de Jesus, em 1759, que resultou da expulsão dos jesuítas de Portugal, a Universidade de Coimbra passou a ter o exclusivo do ensino Superior. Foi neste contexto que a EPL foi instituída por Decreto de 11 de janeiro de 1837, tendo sido definida como uma instituição de ensino superior científica ministrando, não apenas matérias preparatórias para engenharia civil e militar e outros oficiais cuja preparação exigia uma certa qualificação técnica, mas igualmente um curso completo, o 5.º curso, constituído por todas as matérias professadas naquela Instituição, a qual fornecia uma sólida e eclética cultura científica. Apesar disso, nunca foi reconhecido o direito de oferecer aos seus estudantes graus académicos, bacharelato, licenciatura e doutoramento, até à criação em 1911, das Universidades de Lisboa e do Porto.

Inicialmente foram criadas 10 cadeiras, entre elas a 5.ª Cadeira – Física Experimental e Matemática. Pela análise do currículo de cada curso podemos verificar que esta era lecionada em todos, o que indica que todos os alunos da recebiam formação em Física, nomeadamente em Ótica.

O ensino da Física iniciou-se na 5.ª Cadeira, com o professor Guilherme Pegado. Mas foi com o lente Pina Vidal que começou nesta Escola o ensino prático da Física. O programa de estudos desenvolveu-se muito, de acordo com o programa da 5.ª cadeira (Física Experimental e Meteorológica), no ano letivo de 1886-87 [3].

Por carta de lei, de 21 de julho de 1898, passaram a existir duas cadeiras de Física, uma de "Física Experimental" e a outra de "Física Matemática". Eram essencialmente destinadas a alunos de Engenharia.

Pela análise dos conteúdos programáticos da 5.ª cadeira ao lon-

go dos anos, com foco na ótica e na luz, verifica-se que entre 1837 e 1887, os temas recorrentes incluíram o acromatismo, fenómenos cromáticos, persistência das imagens e instrumentos óticos (microscópios, câmaras escuras e claras, lanternas mágicas e estereoscópios). O estudo destes instrumentos permitia o estudo de alguns princípios da Física tais como a refração, a reflexão, a ampliação e propagação da luz, o efeito estenopeico, a estereoscopia e a inversão da imagem. A partir de 1872, são introduzidos estudos sobre fontes de luz (luz elétrica, Drummond e de magnésio) e projeção de imagens, com o uso de aparelhos fotográficos. Em 1886-87, há ênfase no estudo das radiações luminosas, princípios de fotoquímica e visão. Ou seja, verifica-se que o ensino da ótica sempre esteve presente no programa da 5.ª Cadeira, como seria de esperar.

Analisando os documentos de despesas realizadas nos livros e pastas das "Contas da Escola Polytechnica", disponíveis no Arquivo Histórico do Museu Nacional de História Natural e da Ciência (MUHNAC) é possível encontrar informação sobre o que se comprou para o Gabinete de Física. Destacam-se as despesas iniciais com as câmaras escuras e as lanternas mágicas. Nos anos de 1850 parece ter existido um interesse pelo processo fotográfico de daguerreotipia e a fotografia em papel, demonstrado pela compra de livros sobre fotografia, mas também na compra em março de 1853 de "Um pé de Daguerreótipo com charneira pª todos os movimentos, pª trabalhar no campo". Em julho do mesmo ano, terá sido feita a aquisição de "Duas vistas de daguerreótipo sobre vidro, pª o estereoscópio dióptrico".

Na década de 1860 as despesas indiciam a realização de algumas experiências em fotografia, com aquisição de uma câmara fotográfica, materiais e reagentes para fotografia. Em 1861 destaca-se a despesa assinada por Fradesso da Silveira de «Por ensaios fotográficos para o curso de Física» o que indicia que este assunto era abordado nas aulas de Física, também do ponto de vista de trabalho laboratorial. Em 1862 volta a existir uma despesa de "gratificação a um photographo e despacho de uma camara escura". De acordo com a investigação realizada a estereoscopia parece estar patente também nas compras realizadas nos anos de 1853, 1860 e 1861, o que está de acordo com o programa lecionado.

O primeiro manual de Física da EPL registado é de 1849, intitulado "Esboço de Physica Geral e Suas Principais Aplicações". Entretanto, já em 1837, o professor Guilherme Pegado havia publicado as suas "Lições de Physica Experimental e Matemática" [4]. O livro de 1849 não aborda ótica, provavelmente porque no ano anterior já existiam as "Lições de Óptica" de Fradesso da Silveira.

Em 1861, quando Fradesso da Silveira assume a 5.ª cadeira, são publicados os "Apontamentos para um Curso de Physica na Escola Polytechnica, Extraídos das Lições de Joaquim Henriques Fradesso da Silveira" [5]. O manual dedica um capítulo à ótica, descrevendo instrumentos como porta-luz, helióstato, câmara obscura, megascópio e microscópio solar, além dos princípios da lanterna mágica e da fantasmagoria (figura 1). Alguns desses instrumentos foram adquiridos antes ou durante sua regência.

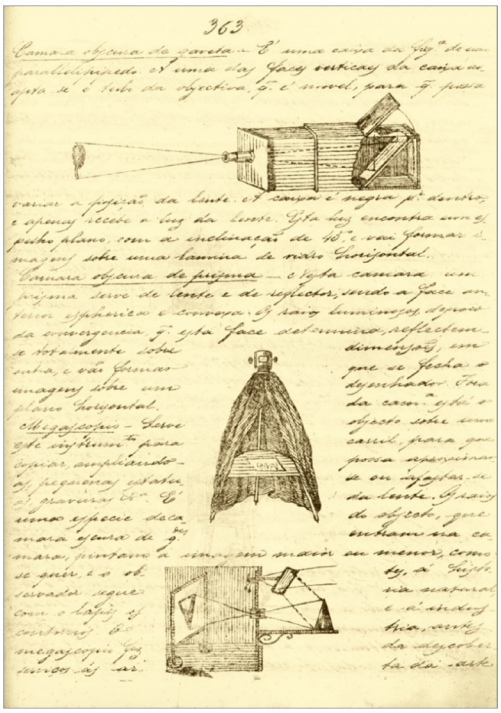


Figura 1 - Página do manual de Fradesso de Silveira sobre instrumentos de ótica [5] Nesta página Silveira ilustra o funcionamento da câmara obscura de gaveta, de seguida apresenta o funcionamento de uma câmara obscura que funciona com um prisma no seu topo sendo a imagem projetada para o interior de uma tenda. Por último, ilustra o funcionamento de um megascópio, mostrando como se podia obter ampliações de um objeto, por projeção

Ainda na regência de Fradesso da Silveira, e posteriormente, na de Pina Vidal, publicaram-se vários volumes do "Curso de Physica da Escola Polytechnica, da autoria de Pina Vidal, sendo no final do século redigidos com a colaboração do lente Carlos Moraes de Almeida.

Foi igualmente publicado por Pina Vidal em 1874 um extenso livro sobre ótica, "Tratado elementar de óptica" [6]. Aqui, Pina Vidal refere os vários tipos de luzes artificiais que poderiam ser usados em fotografia, como a lâmpada de magnésio, os regu-



Figura 2- Regulador fotoelétrico de Duboscq com lanterna de projeção, MUHNAC-UL002004 (fotografia de F. Veiga, cortesia de MUHNAC)

ladores fotoelétricos de Duboscq e de Foucault (figura 2). Estes reguladores de luz elétrica de arco voltaico possuíam sistemas mecânicos controlados por eletroíman, que permitiam manter uma distância ideal entre as pontas dos elétrodos de modo a não interromper a descarga elétrica. As lanternas assim equipadas permitiam projetar imagens para o ensino, bem como ter acessórios para demostrar vários conceitos de ótica.

Dos aparelhos de reflexão, Pina Vidal descreve o porta-luz (figura 3) e o helióstato (figura 4) que podiam ser usados para dirigir a luz solar para experiências de ótica, em espectroscopia ou fotografia. No capítulo sobre os instrumentos de projeção explica o funcionamento das câmaras escuras e descreve o funcionamento das máquinas fotográficas, bem como o uso do estereoscópio de Wheatstone e do de Brewster.



Figura 3 – Porta-luz, MUHNAC-UL000081 (fotografia de M. Peres, cortesia do MUHNAC)

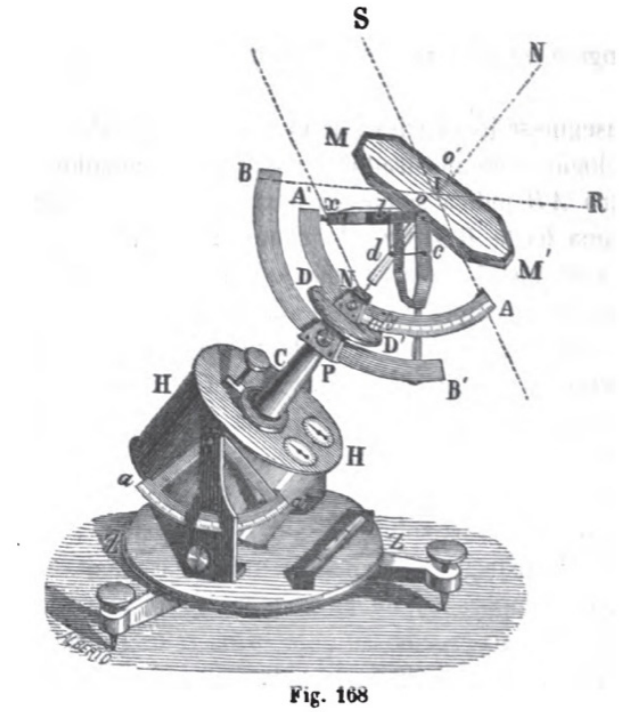


Figura 4– Helióstato de Silbermann [6]. O Helióstato permite projetar os raios de Sol num ponto fixo, não obstante o movimento da Terra. Com o auxílio de um mecanismo de relojoaria faz-se movimentar o espelho, que reflete os raios solares [7]

Em 1895 Pina Vidal publica de novo o "Tratado Elementar de Óptica" em dois volumes diferentes. O volume I dedicado à Ótica Geométrica e o volume II à Ótica Física [8]. Os instrumentos que apresenta relacionados com a fotografia são essencialmente os mesmos e com as mesmas descrições que no tratado de 1874. Faz breves referências à formação da imagem invisível que se forma num suporte fotográfico (imagem latente) e à função dos reveladores para a tornar visível.

No volume II apresenta um apêndice ao capítulo V do volume I, a que dá o nome "As Novas Irradiações". Nele, menciona a produção dos raios X, e o facto de estes raios atravessarem corpos que são opacos à luz. Escreve Vidal:
"Os raios X reduzem, como a luz e as irradiações ultra-roxas, os compostos instáveis de prata. Esta importante propriedade permite obter imagens radiographicas das sombras dos corpos opacos àqueles raios." [8]

Quatro fotogravuras ilustram este capítulo; duas radiografias obtidas pelos capitães Monteiro e Cerveira no laboratório da Escola do Exército e duas obtidas pelo fotógrafo Bobone. É de referir que estas radiografias tentam mostrar a diferente opacidade de vários materiais à radiação X. Destaca-se a estampa II onde são apresentadas radiografias de vários materiais, como por exemplo do vidro de óculos, e um diamante verdadeiro e uma imitação, mostrando neste caso as diferenças entre os dois espécimenes (figura 5). Algumas propriedades físicas dos raios X e as disposições experimentais necessárias para a sua obtenção são igualmente abordadas.

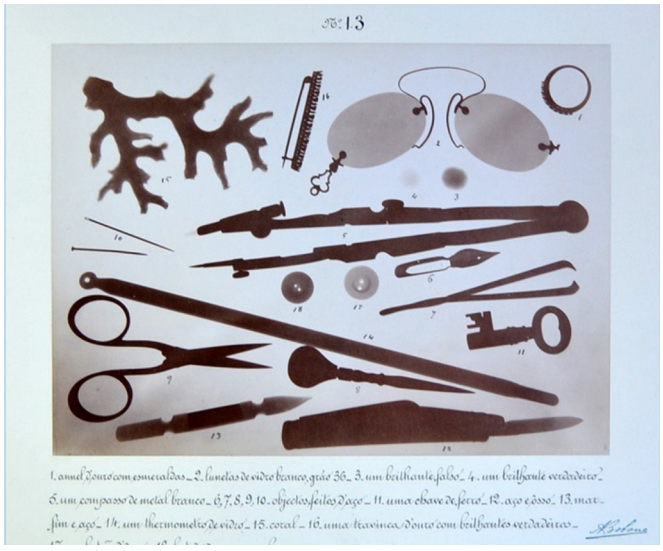


Figura 5 – Radiografia de vários objetos (A. Bobone em 1895) (fotografia de M. Peres, Biblioteca da Academia de Ciências de Lisboa)

Estava incluído no programa da 5.ª cadeira, o ensino da Meteorologia. Podemos encontrar no manual de Pina Vidal de 1869, "Curso de Meteorologia" [9], a descrição de instrumentos de registo fotográficos, e, nomeadamente do baropsicrógrafo, o que mostra que o ensino estava em linha com a investigação feita [10].

No espólio do MUHNAC podemos encontrar uma vasta coleção de instrumentos relacionados com a fotografia que devem ter feito parte das aulas de Física ou de Química da EPL. São

exemplos: visores estereoscópios, máquinas fotográficas (figura 6), um tanque de revelação (figura 7).

É também dos finais do séc. XIX ou início do século XX a mesa de fotomicrografia (figuras 8 e 9). Esta poderia ser usada apenas como banco de ótica ou para a realização de fotomicrografias.



Figura 6 - Câmara fotográfica N.º 3A Folding Pocket Kodak Model B-2, MUHNAC-UL000977, este modelo começou a ser produzido em 1903 pela Kodak (fotog.de M. Peres, cortesia de MUHNAC)



Figura 7 – Tanque de revelação Kodak, MUHNAC-UL003364, este tipo de tanque foi desenvolvido pela Kodak no início do século XX, pois permitia que os fotógrafos revelassem as fotografias sem câmara escura (fotog.de M. Peres, cortesia de MUHNAC)

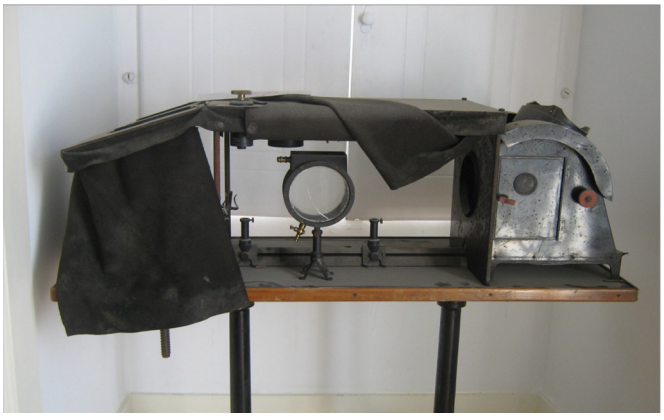


Figura 8 - Mesa com banco de ótica e com caixa para a lâmpada de arco (ca.1900), MUHNAC-UL004481 (fotografia de M. Peres, cortesia MUHNAC.



Figura 9 - Montagem de fotomicrografia, [s. d.] Fotografia da Coleção do Instituto Bacteriológico Câmara Pestana MUHNAC, UL11035

A introdução da fotografia na Universidade de Coimbra

Na Universidade de Coimbra (UC) a fotografia terá sido introduzida na década de 1840 pelo lente de Física Ferreira Pimentel, que requisitou verbas para diversos aparelhos incluindo um daguerreótipo. Estes aparelhos chegaram a Coimbra em 1842 [4]. Na base de dados do Museu de Física da Universidade de Coimbra (MFUC) encontram-se registados três instrumentos desta encomenda recebida do construtor "L´Ingr. Chevallier": uma câmara escura, uma caixa reveladora (figura 10) e um porta-chapas.

Os primeiros daguerreótipos feitos com este aparelho são vistas de Coimbra (figura 11) [11].



Figura 10 - Câmara de revelação, FIS1864 (fotografia de Nuno Fevereiro, cortesia de MFUC)



Figura 11 – Daguerreótipo mostrando a Via Latina e porta férrea da Universidade FIS.2647 (cortesia do MFUC)

Existiram outras despesas para o Gabinete de Física da UC, relacionadas com a fotografia ao longo do séc. XIX [4]. Destaca-se a aquisição a Maison Wallet, por Santos Viegas, de uma máquina fotográfica e de um microscópio fotográfico, e todo o tipo de reagentes para fotografia.

É também possível encontrar no MFUC parte do material necessário para a realização da fotografia interferencial das cores, pelo método de Lippmann. Refira-se, nomeadamente, um chassis de mercúrio de máquina fotográfica (figura 12), uma peça para transportar o mercúrio (figura 13) e um iconoscópio dióptrico (aparelho utilizado para exibir imagens projetadas ou criar efeitos de perspetiva e profundidade) tudo da Carl Zeiss, Jena, e ainda uma fotografia obtida por este processo. Neste processo, também chamado de fotografia interferencial das cores e desenvolvido por Lippmann em 1891 [12], a imagem de um objeto é projetada sobre uma emulsão fotográfica, envolvida por uma superfície refletora, originalmente de mercúrio. Na emulsão usava iodeto e /ou brometo de prata em ligantes como a albumina, o colódio ou a gelatina e utilizava como fixador o tiossulfato de sódio.

A explicação do fenómeno consiste na interferência da radiação incidente com a radiação refletida pelo mercúrio. A figura da interferência fica registada na emulsão fotográfica. Como cada cor possui um comprimento de onda diferente, as lâminas de prata formadas refletiam construtivamente a luz da mesma cor que as originou. Este método era de uma grande exigência técnica, sendo de difícil realização, pois além da complexidade exigia sistemas óticos complexos para visualizar a imagem e não permitia



Figura 12 - Chassis para fotografar pelo método interferencial, Carl Zeiss, FIS1884 (fotog. de G. Pereira, cortesia de MFUC)



Figura 13– Peça para transportar o mercúrio, Carl Zeiss, FIS1884 (fotografia de G. Pereira cortesia de MFUC)

obter cópias a partir dos negativos [13].
Pela investigação efetuada é evidente que as duas instituições de ensino estavam a par do que se passava na Europa relativamente à fotografia, tendo introduzido, desde a sua invenção em 1839, esta técnica nas suas práticas letivas, tanto na química como na física, embora em Coimbra pareça ter existido um investimento inicial maior no que diz respeito à daguerreotipia. O espólio instrumental e a documentação existente nos museus referidos comprovam esta afirmação.

A fotografia foi também ensinada em escolas técnicas de cariz militar, como é o caso da Escola do Exército e da Escola Naval.

A Escola do Exército
Em 1837, a Academia de Fortificação, Artilharia e Desenho passou a ser chamada Escola do Exército [14]. Após uma reorganização, em 1863, no curso anual existia a 5.ª cadeira onde era lecionada fotografia, química aplicada e pirotecnia, com aulas práticas no laboratório de Química e Fotografia [10].

José António Bentes, professor desta escola, publicou o "Manual de Photographia" em 1864 e, em 1866, o "Tratado Theorico e Pratico de Photographia", que abordava aplicações militares da fotografia, como topografia e microfotografia de mensagens codificadas. O tratado também descreve processos fotográficos como o colódio, albumina, daguerreotipia e fotomecânicos como a fotolitografia, além de tratar da fotografia científica e astronómica.

Em 1884, o curso foi atualizado para "Fotografia e suas Aplicações aos Trabalhos Militares". Em 1893, Oliveira Simões publicou os "Apontamentos para um Curso de Photographia", destacando a importância da fotografia na cartografia militar e introduzindo o uso da câmara topofotográfica (figura 14) [15]. O autor também introduz um capítulo que designa de processos fotomecânicos para a cartografia. Na sua última secção descreve algumas das aplicações da fotografia: na medicina, na astronomia, na antropologia criminal, na arquitetura, na física nomeadamente na meteorologia, na geologia e na área militar. Refere ainda a importância da fotografia aérea, que pode ser obtida a grandes distâncias (mais de 15 km) e a microfotografia para transmitir documentos oficiais com a ajuda dos pombos-correios. A fotografia também podia ser usada no estudo da balística. Uma outra área com interesse para o exército era a fotogrametria. Aqui, os processos topográficos ordinários passavam ser substituídos pelos fotográficos.

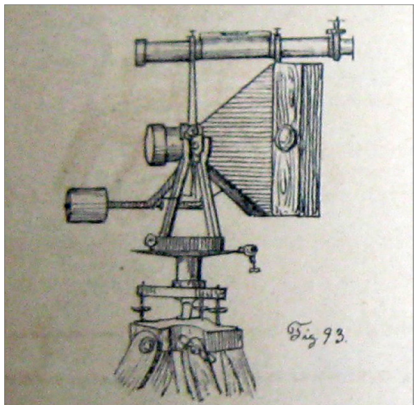


Figura 14 - Câmara topofotográfica [15].

A Escola Naval

A Escola Naval, criada em 1845, foi reestruturada em 1887, juntamente com suas escolas anexas, como a de Pilotagem e a de Oficiais de Mestrança do Arsenal da Marinha [14]. O ensino prático incluía "Desenho e Photographia". A escola contava com um fotógrafo responsável pela preparação dos materiais fotográficos e por auxiliar o professor da cadeira de Fotografia. Em 1900, João Braz de Oliveira era o professor de "Desenho e Photographia" [10].

Francisco Fonseca Benevides (1836–1911), professor de Física desta Escola [16], publicou "Principios de Optica e suas Principaes Applicações aos Instrumentos, aos Pharoes, à Photographia aos Efeitos Theatraes, etc" em 1868 [17], adotado na escola, e que descrevia instrumentos como a câmara escura, câmara lúcida, megascópio e aparelhos de projeção, como a lanterna mágica e o poliorama (tipo de entretenimento visual que utilizava imagens e mecanismos óticos para criar efeitos de transformação e ilusão de movimento), utilizado para sobrepor imagens dissolventes, que se iam transformando uma nas outras (figura 15).

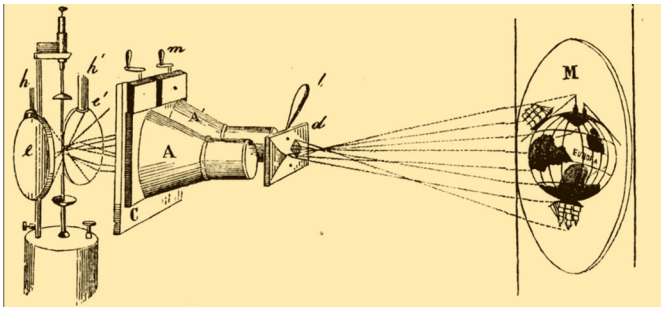


Figura 15 - Esquema de poliorama com quadro mecânico para demonstrar a esfericidade da Terra [17]

No capítulo VII denominado de "Daguerreotypo – Photographia", o autor refere as propriedades fotossensíveis dos halogenetos de prata, descreve o processo de obtenção do daguerreótipo, o processo de fotografia em colódio, em colódio seco e em albumina. Termina descrevendo sumariamente as aplicações da fotografia, nomeadamente na fotomicrografia, na astronomia, na meteorologia e no geomagnetismo, com os aparelhos de autorregisto.

Foi em 1871, ano em que Fonseca Benevides era professor de Física no Instituto Industrial e Comercial de Lisboa e António Augusto de Aguiar era o lente de Química, que o ensino da fotografia inicia um período mais consistente e estruturado que se vai estender a outros estabelecimentos de ensino [16].

Considerações finais

A divulgação e ensino da fotografia em Portugal aparecem logo no início da sua invenção, mas apenas nos anos 1860 ganha uma dimensão organizacional, sendo introduzido o seu ensino nas cadeiras de Física na Escola Politécnica de Lisboa e nas Escolas Naval e do Exército.

As instituições de ensino portuguesas estudadas acompanharam de perto o que se fazia na Europa, relativamente ao uso científico da fotografia, integrando essa técnica nas suas práticas didáticas desde sua invenção. O ensino não se restringia à ótica, mas abrangia também as suas aplicações científicas, especialmente na Física.

No entanto, os manuais de fotografia dos professores da EPL eram um pouco inferiores aos de Física publicados em França e em Inglaterra. Isso deve-se, possivelmente, ao fato de muitos alunos da EPL prosseguirem seus estudos nas Escolas do Exército e da Marinha, onde as aulas de fotografia, teóricas e práticas, lhes permitiam explorar mais amplamente as aplicações científicas da técnica fotográfica.

Na década de 1860, houve um significativo investimento na EPL para adquirir equipamentos fotográficos, usados também no ensino de Física. Esse aumento parece estar relacionado à criação do Observatório Meteorológico Infante D. Luís, onde se conduziam investigações com instrumentos fotográficos. O mesmo ocorreu no Observatório Meteorológico e Magnético da Universidade de Coimbra.

A fotografia desempenhou um papel crucial no ensino e divulgação da Física, sendo amplamente utilizada em livros, manuais pedagógicos e projeções fotográficas em conferências.

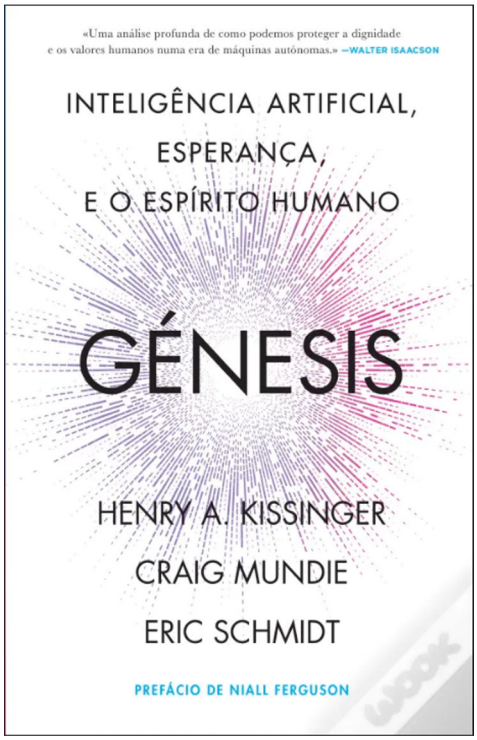
Referências

[1] E. Jardim, I. M. Peres, F. Costa, "Imagens do Século XIX: Fotografia Científica", in O. Pombo, e S. Di Marco (org.), "As imagens com que a Ciência se faz", Fim de Século – Edições, Lisboa, pp. 223- 244, (2010)
[2] F. Bragança Gil; "O Liberalismo e a Institucionalização do Ensino Superior Científico de Lisboa", in Atas do 1.º Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica (Universidades de Évora e de Aveiro), Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, Évora (2001)
[3] H. A. Ferreira, "A 5.ª Cadeira e os seus Professores (Física Experimental e Matemática)", Faculdade de Ciências de Lisboa, Lisboa (1937)
[4] E. Gomes, "Desenvolvimento do ensino da Física Experimental em Portugal 1780-1870", Doutoramento em Física, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro (2007)
[5] F. Silveira, "Apontamentos para um Curso de Physica extrahidos das Licções do Ex.mo Sr. Fradesso da Silveira na Escola Polytechnica", Escola Politécnica de Lisboa, Lisboa (1861)
[6] A. P. Vidal, "Tratado Elementar de Óptica", Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa (1874)
[7] I. M. Peres, "O Ensino da Análise Química Espectral: Um Compromisso entre Químicos, Fabricantes de Instrumentos Científicos e Professores (Um estudo de caso na Escola Politécnica e na Faculdade de Ciências de Lisboa, de 1860 a 1960)", Dissertação de Mestrado em Química para o Ensino, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa (2006)
[8] A. P. Vidal, "Tratado Elementar de Óptica", Tomo I e II, Typographia da Academia Real das Sciencias, Lisboa (1895)
[9] A. P. Vidal, "Curso de Meteorologia", Typographia da Academia, Lisboa (1869)
[10] I. M. Peres, "Fotografia científica em Portugal, das origens ao séc. XX: investigação e ensino em química e instrumentação". Tese de Doutoramento em Química, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Disponível em: http://hdl.handle.net/10451/8692 (2013)
[11] A. Ramires, E. Antunes, E. Ramos, & M. H. Caldeira, "Passado ao Espelho: Máquinas e Imagens das vésperas e primórdios da Photographia", Museu de Física da Universidade de Coimbra, Coimbra (2006)
[12] G. Lippmann, "La photographie des couleurs". Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, 112, pp. 274-275, (1891)
[13] L. Bernardo, "Histórias da Luz e das Cores", Vol. II. Editora da Universidade do Porto, Porto (2007)
[14] J. S. Ribeiro, "Historia dos Estabelecimentos Scientificos Litterarios e Artisticos de Portugal nos sucessivos Reinados da Monarchia", Academia Real das Sciências, Lisboa (1871-1914)
[15] O. Simões, "Apontamentos para um curso de Photographia", Sociedade Portuguesa da Cruz Vermelha, Lisboa (1893)
[16] A. Sena, "História da Imagem Fotográfica em Portugal: 1839 – 1997", Porto Editora, Porto (1998)
[17] F. Benevides, "Principios de Optica e suas Principaes Applicações aos Instrumentos, aos Pharoes, à Photographia aos Efeitos Theatraes, etc.", Imprensa Nacional, Lisboa (1868)



Marília Peres é professora de Física e de Química do ensino secundário na Escola Secundária José Saramago-Mafra. Doutorada em Química pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. É colaboradora do Centro de Química Estrutural-Ciências da Universidade de Lisboa e da Divisão de Educação da SPF. Atualmente faz investigação em História da Fotografia Científica, Química Fotográfica do século XIX e História da Química e da Física.

Génesis - Inteligência Artificial, Esperança e o Espírito Humano



«Génesis»
Henry Kissinger, Eric Schmidt e Craig Mundie; Edições D. Quixote, 2024, 255 p.; ISBN 978-972-20-8379-9.

José Braga

Quando o termo «inteligência artificial» (IA) foi criado por John McCarthy (1927-2011), em 1955, o cientista da computação definiu-a como «a ciência e a engenharia de fazer máquinas inteligentes». Estava a nascer algo cujas implicações, passados 70 anos, ainda não são completamente compreendidas, mas que se torna importante estudar sobretudo desde que a «OpenAI» lançou o «ChatGPT» em 2022, criando uma «IA de massas». Este livro vem contribuir para esse entendimento, levantar questões e fomentar a discussão, sendo traduzido para português, de forma competente, no mesmo ano em que foi editado nos E.U.A.

Os autores refletiram ou trabalharam na área. Henry Kissinger (1924- 2024) foi Secretário de Estado dos E.U.A. e laureado com Prémio Nobel da Paz em 1973. Figura polémica, este foi o seu último livro, escrito já ao chegar ao século de vida. Eric Schmidt foi presidente e CEO da Google, e Craig Mundie foi diretor de pesquisa e estratégia da Microsoft. Os autores apresentam o resultado de um diálogo entre gerações diferentes de pensadores. A obra continua o livro de 2021, «A Era da Inteligência Artificial», editado pela mesma editora.

«Génesis» possui um «Prefácio» do historiador Niall Ferguson, biógrafo de Kissinger, professor da universidade de Oxford, lembrando que «Os avanços tecnológicos podem ter tanto consequências benéficas como maléficas, dependendo da forma como decidimos coletivamente explorá-los» (p. xxii) e que se a primeira bomba nuclear surgiu 5 anos depois da descoberta da fissão nuclear (1938), só em 1951 esta foi usada para a produção de energia. Assim, uma evolução não é linear nem previsível e o maior perigo colocado pela IA é declararmos demasiado cedo, ou definitivamente, que a compreendemos totalmente. Deve-se, pois, ter sempre uma atitude crítica e cautelosa. As tecnologias possuem impactos que os seus inventores não previram, e esse padrão irá manter-se, pelo que os cientistas devem encontrar formas de incluir salvaguardas em todos os sistemas de IA. Isto «…vai exigir a resolução não de um, mas de dois "problemas de alinhamento": o alinhamento técnico dos valores e intenções humanos com as ações da IA, e o alinhamento diplomático dos humanos uns com os outros.» (p. 4), como se lembra na «Introdução».

Neste volume, abarca-se o impacto da IA em oito áreas diferentes da atividade e do pensamento humanos, procurando-se uma estratégia que permita equilibrar benefícios e riscos. A tese dos autores é de que a IA deve complementar a inteligência humana e deve submeter-se a ela.

Na «Parte I- No Começo», sublinha-se como a descoberta humana se pode livrar do perigo físico: existem restrições biológicas e limitações humanas para explorar o espaço, as profundezas oceânicas ou o interior do planeta e do ser humano. A IA também não se intimida pela extensão da realidade ou profundidade dos problemas. Para se fazer exploração é necessária inteligência, recursos, ambiente e colaboradores certos. A competição e colaboração também possuem um papel, tal como a capacidade de integrar conhecimentos numa ponte entre disciplinas. A IA permite tornar a inteligência coletiva facilmente acessível. Será capaz de aprender e talvez mesmo aperfeiçoar-se a si mesma. Pode fazer avançar o ritmo das descobertas científicas.
Mostra-se como as tecnologias melhoraram as funções corporais humanas: a velocidade distingue a IA da forma de aprendizagem e das capacidades mentais humanas que podem estar a aproximar-se de um limite biológico. A mente humana é confrontada com o facto de já não ser o único, ou o melhor, sistema de inteligência, passando a surgir informação sem explicação ou justificação, fontes ou outros meios de prova, sendo opaca mesmo para os seus produtores, o que é um grave problema. Levantam-se questões para a Filosofia da Ciência, na medida em que surge outra entidade capaz de ler a realidade, como já aconteceu com a demonstração do teorema das quatro cores, em 1976. Além disso, a IA inspira-se no cérebro humano. Consegue ingerir mais informação e responder a mais pedidos simultâneos, resolvendo problemas mais complexos (precisão) e de maior dimensão (escala) do que os solucionáveis pelo intelecto. A IA (ou as IA's) pode começar a associar a experiência à compreensão como fazem os humanos.

A «Parte II- Os Quatro Ramos» traz reflexões sobre a aplicação da IA na política e diplomacia, segurança e defesa, Economia e Ciência. A IA pode ser aplicada à decisão política, abrindo possibilidades de diversificar os modos de governação e inovar politicamente, estas vantagens devem ser incorporadas nas instituições lentamente de modo que a IA seja aceite como complemento à decisão humana. Imune ao medo e preferências pessoais, a IA pode dar objetividade à tomada de decisões estratégicas, mas estas devem preservar a subjetividade humana, importante para exercer policiamento ou praticar a defesa.

Sabotagem, sequestro de sistemas de comunicação ou criação de informação falsa tornam-se mais fáceis e de difusão mais rápida, sendo necessárias medidas prévias de prevenção e de educação, daí a importância da familiarização dos jovens com este fenómeno nas escolas. A guerra poderá evoluir criando apenas baixas mecânicas, sendo a força psíquica do Homem decisiva (lembre-se o uso de «drones» na guerra russo/ucraniana). Mas devemos usar a IA para fomentar a prosperidade, eliminar a pobreza e a desigualdade. Terá impactos significativos no mundo do trabalho, aumentando a produtividade. Pode ser usada para criar substitutos sustentáveis para matérias-primas não renováveis e gerar uma nova base para a riqueza e bem-estar humanos: «A IA poderia ser direcionada para fazer o que já não temos de fazer, precisamente para podermos fazer o que queremos fazer» (p. 164). Devemos concentrar-nos na distribuição dos seus benefícios: entre as páginas 162 e 181, os autores discorrem sobre os efeitos da IA em educação, Medicina e Ciência. São páginas que devem ser lidas e discutidas por professores, investigadores e alunos.

Na «Parte III- A Árvore da Vida» traçam-se cenários de engenharia biológica para a evolução do Ser Humano, sendo a IA ameaça ou parceira. Deve-se alinhar a IA com os valores humanos, legislando o seu uso, prevendo sanções para quem a aplicar de forma ilegal, incorreta, imoral. Chegaremos ao ponto em que será necessário controlar a própria IA. Como a puniremos, se for necessário? Irá a própria IA competir com o ser humano? Os sistemas de controlo devem ser capazes de lidar com utilizações em tempo real e aprender. Será necessária uma IA supervisora? Quem a supervisionará?

O alinhamento entre a IA e o Homem pode ser feito de duas formas: sistemas baseados em instruções pré-programadas que funcionam como regras, ou fomentar a «aprendizagem por reforço», aprendendo a IA a partir da interação com os humanos, adaptando-se a circunstâncias específicas. Não há substituto da experiência, da participação ou da interação, sendo por isso as relações humanas insubstituíveis, mais ainda por permitirem incutir comportamentos éticos.

Os autores apresentam como «Conclusão» a importância de diferentes equilíbrios dinâmicos entre controlo e utilidade, da dignidade humana e o surgimento de uma nova parceira para o Homem. «(…) é necessário duvidarmos de nós mesmos para procurar conhecimento, mas confiarmos em nós mesmos para agir. (…) na era da IA, isto é ainda mais urgente.» (p. 226). «Notas», com referências bibliográficas para quem quiser aprofundar algum tema e um «Índice Remissivo» encerram a obra.

Este trabalho traça cenários astutos, embora, na perspetiva de 2025, excêntricos, caso da Inteligência Artificial Geral (p. 76-78). A IA também perturba a confiança no método científico. São questões para as quais a História e Filosofia da Ciência podem contribuir fornecendo perspetivas, pois existem precedentes e paralelos históricos estudados que podem servir para um melhor entendimento de cenários futuros, e, sobretudo, para traçar cenários de Prospetiva: a questão-chave que anima «Génesis», é a do equilíbrio entre controlar ou ser controlado pela IA.

Outro aspeto central de «Génesis» está na recusa dos autores em adotar uma postura unidimensional. Em vez de crença na salvação tecnológica ou medo da dominação digital, defendem uma abordagem equilibrada. Pedem regulamentação, ética e cooperação internacional, reconhecendo a IA não apenas como uma questão tecnológica, mas algo complexo. «Gênesis» leva-nos a considerar a IA não como uma abstração, mas como algo que já está presente na nossa vida. É um livro com um vasto público-alvo: estudantes, professores e qualquer pessoa interessada em algo cada vez mais importante na vida quotidiana.



José Braga, Professor do Ensino Básico e Secundário, membro do Centro Interuniversitário de História das Ciências e da Tecnologia (CIUHCT).

Quantos animais e plantas vê
ao espreitar pela sua janela?
Pela nossa, vemos 252 espécies
de fauna e mais de 900 espécies
e subespécies de flora.

Visite-nos em
biodiversidade.com.pt

BIODIVERSIDADE

by The Navigator Company



Still a bit short of the Qubit – A Promessa da Computação Quântica

Carlos Herdeiro
Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro
herdeiro@ua.pt

Corria o ano de 1981 quando Richard Feynman, sempre irreverente e provocador, lançou um desafio: simular a física quântica com computadores clássicos é ineficiente. Por que não usar as próprias regras da mecânica quântica para construir computadores? "Nature isn't classical, damn it," disse ele. "And if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical." [1]. Esta foi a semente de uma ideia que demoraria décadas a germinar.

Mas eventualmente germinou. Em laboratórios do século XXI, partículas "dançam". Estão emaranhados, ocupando estados indefinidos, desafiando a lógica binária que governou o mundo digital desde os primórdios da era da informação. A computação quântica, antes um conceito de ficção científica, é agora uma corrida tecnológica, filosófica e até geopolítica. Como chegámos aqui?

Ao contrário do bit clássico, que pode ser 0 ou 1, o bit quântico ou qubit vive em superposição — pode ser 0 e 1 ao mesmo tempo. Além disso, pode estar entrelaçado com outros qubits, uma ligação quase mística onde o estado de um influencia o outro, mesmo a grandes distâncias e sem parecer colocar em causa a causalidade como a física moderna a concebe. A computação quântica promete aproveitar o paralelismo massivo na computação examinando muitos estados quânticos emaranhados simultaneamente, em vez de estados clássicos individuais sequencialmente. Esta ideia abre portas para algoritmos mais eficientes, como o de Shor [2], que promete quebrar em segundos os sistemas de criptografia que hoje protegem bancos e governos.

Empresas como IBM, Google, e startups como Rigetti e IonQ lideram a corrida para construir máquinas de qubits cada vez mais estáveis. Em 2019, a Google anunciou ter alcançado a chamada "supremacia quântica", resolvendo em 200 segundos um problema que levaria 10 mil anos num supercomputador clássico [3] — embora a relevância prática do feito tenha sido contestada.

Há avanços promissores mas a maioria dos computadores quânticos atuais ainda sofre de ruído, erro e instabilidade. A promessa é real, como se percebeu a caminhar nos corredores do March Meeting 2025 da American Physical Society (APS) - ver figura,



Mostra de computadores quânticos no March Meeting da APS 2025. Cortesia de J. F. F. Mendes.

mas ainda estamos a atravessar a adolescência da tecnologia.

As aplicações potenciais são fascinantes: medicamentos simulados a nível molecular, materiais exóticos, previsão precisa de reações químicas, ou soluções para problemas de logística e finanças atualmente insolúveis. No entanto, com grande poder vem grande responsabilidade — e risco. A computação quântica poderá tornar obsoletos os sistemas de segurança atuais, levando à necessidade urgente de criptografia pós-quântica [4]. Além disso, é preciso refletir: que tipo de sociedade estamos a construir com essa capacidade? Quem controlará essas máquinas? Quais os impactos éticos?

A computação quântica vive, por enquanto, num estado estranho — como o gato de Schrödinger: viva e morta, concreta e teórica, limitada e poderosa. Meio século antes da proposta de Feynman, Aldous Huxley escrevia o Admirável Mundo Novo. Se a inteligência artificial torna tanto da nossa sociedade obsoleto e básico, adicionada à computação quântica o Futuro parace um emaranhado de realidades distópicas, infinitamente mais admirável, e preocupante, que a visão de Huxley.

Referências
[1] Feynman, R. P. (1982). *Simulating Physics with Computers*. International Journal of Theoretical Physics, 21(6), 467–488.
[2] Shor, P. W. (1994). *Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring*. Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer
Science.
[3] Arute, F. et al. (2019). *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*. Nature 574, 505–510.
[4] Mosca, M. (2018). *Cybersecurity in an era with quantum computers: Will we be ready?* IEEE Security & Privacy, 16(5), 38–41.

35
vamos experimentar
VOL. 48 - N.1

Será um osso de mamute?

Constança Providência[1], Rita Wolters[2]

[1] CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

[2] Ilustradora

Material

- Duas cartolinas de cor diferente
- Cola
- Tesoura
- Saco de pano ou de papel
- Papel e lápis

Imagina que encontras um osso muito grande. Pensarás: será um osso de mamute ou de elefante? Se for um osso de mamute, será certamente uma descoberta muito interessante, visto os mamutes terem desaparecido da Europa há cerca de 12 500 anos. Mas como poderás saber? Há especialistas que conseguem descobrir. Usam uma técnica que permite determinar a idade do osso, ou antes, determinar há quantos anos morreu o animal a quem pertencia o osso.

Os mamutes são uma espécie relacionada com os elefantes que desapareceu da Europa há cerca de 12 500 anos. A sua extinção completa terá ocorrido há cerca de 4000 anos, sendo o seu último habitat o norte da Sibéria. Conhecemos estes animais pelos desenhos de mamutes que os nossos antepassados foram deixando em cavernas, como o da figura 1, encontrado na Gruta de Rouffignac, em França. Na figura 2, vês o desenho de um mamute da estepe.



Figura 1 - Desenhos de mamute na Gruta de Rouffignac em França.

Será que o osso que encontraste é um osso de mamute? Vou-te explicar como podemos descobrir a resposta.

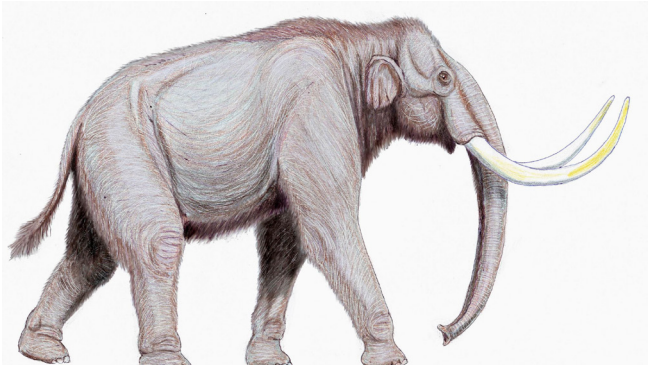


Figura 2 - Mamute da estepe
Créditos: Dmitry Bogdanov

Decaimento nuclear

Deves já ter ouvido dizer que a matéria é formada por átomos. Um átomo tem no seu centro o núcleo atómico, rodeado por uma nuvem de eletrões. O núcleo tem praticamente a massa do átomo, mas é cerca de 100 000 vezes mais pequeno que o tamanho do átomo. Sim, os eletrões movem-se no volume que determina o tamanho do átomo, mas têm uma massa tão pequena que quase não contribuem para a sua massa total. O núcleo é formado por protões e neutrões, ambas as partículas com massas semelhantes e 2000 vezes superiores à massa do eletrão. A diferença entre os protões e os neutrões é que os primeiros têm carga elétrica positiva, ao passo que os neutrões, como o nome indica, não têm carga elétrica. Os átomos são cerca de 10 milhões de vezes mais pequenos que 1 mm. Pertencem ao mundo quântico!

Todos os tipos de matéria viva contêm átomos de carbono. Na figura 3 tens a representação de três tipos de átomos de carbono e um átomo de nitrogénio.

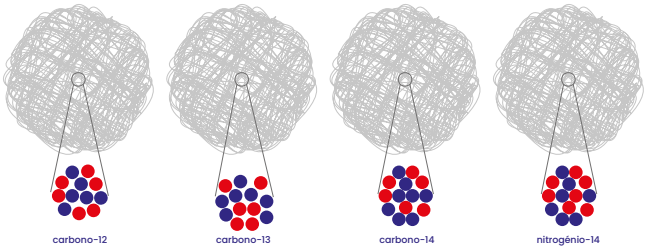


Figura 3 - Átomos de carbono-12, carbono-13, carbono-14, nitrogénio-14

O núcleo de carbono aparece na natureza com três composições diferentes. Todas elas contêm seis protões e, além disso, o carbono-12 tem mais seis neutrões, o carbono-13 tem mais sete neutrões e o carbono-14 tem mais oito neutrões. Representa no teu caderno os núcleos dos três átomos: representa os protões como círculos vermelhos e os neutrões com círculos azuis.

Para cada 1 000 000 000 000 átomos de carbono-12, há 100 000 000 000 átomos de carbono-13 e 1 de carbono-14. Apesar de serem muito menos do que os átomos de carbono-12 e carbono-13 ainda são muitos: 12g de carbono têm 100 000 000 000 átomos de carbono-14.

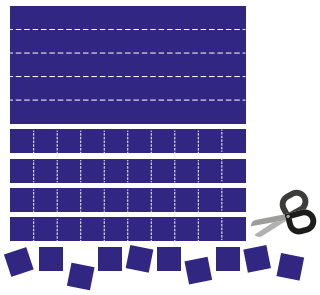


Figura 4 - Preparar os quadrados-núcleos.

Acontece que nem todos os núcleos são estáveis, e alguns transformam-se noutros núcleos. O carbono-12 e o carbono-13 são núcleos estáveis mas o carbono-14 é instável e transforma-se em nitrogénio-14 com 7 protões e 7 neutrões. O carbono-14 tem um período de decaimento muito longo: cerca de 5700 anos. O que quer dizer isto? Significa que se tiveres 1000 núcleos de carbono-14 hoje, daqui a 5700 anos ainda terás um número cerca de 500 e os outros 500 transformaram-se em nitrogénio-14, e passados mais 5700 anos terás cerca de 250 de carbono-14. Passados mais 5700 anos ainda terás cerca de 125 núcleos de Carbono-14. Assim, se conseguirmos medir o número de núcleos de carbono-14 no osso podemos determinar a sua idade! Boa ideia, não?

Repara que está escrito "cerca de 500 núcleos de carbono-14 transformam-se em nitrogénio". Na verdade poderão ser mais alguns ou menos alguns: 500 é apenas um valor médio. Quando falamos de partículas pequenas como os átomos só podemos falar de probabilidades: há uma grande probabilidade de termos 500 átomos, mas também podemos ter 530 ou 482 ou outro número próximo do 500.

Para compreenderes como decorre o decaimento nuclear, poderás fazer a seguinte experiência: cola duas cartolinas de duas cores diferentes, por exemplo, uma vermelha e outra azul. Com uma régua e um lápis, marca linhas sobre um dos lados da cartolina de modo a formares pelo menos 120 quadrados de 1 cm x 1 cm (consulta a figura 4). Corta os quadrados e coloca-os dentro de um saco de pano ou papel. Agita bem o saco e despeja o seu conteúdo em cima da mesa. Vamos considerar que o vermelho representa a cor do carbono-14 e o azul a cor do núcleo em que este se transformou, o nitrogénio-14. Coloca os quadrados azuis de parte, conta os quadrados vermelhos que restam e volta a colocá-los no saco depois de anotares o número no teu caderno. Volta a abanar o saco e a despejá-lo em cima da mesa. Retira os quadrados azuis para o lado, conta os quadrados vermelhos que restam e anota o número no caderno. Coloca novamente os restantes quadrados vermelhos no saco e repete o processo mais duas-três vezes até não haver carbono-14, anotando o número de núcleos vermelhos obtido em cada repetição. Faz um gráfico que mostre quantos núcleos de carbono-14 tens em cada vez. Podes repetir a experiência várias vezes tendo o cuidado de anotar sempre quantos núcleos de carbono-14 (vermelhos) ainda restam e fazer um gráfico. Na figura 5 vês o resultado de duas repetições completas, começando com 120 quadrados de papel no saco. Repara que as colunas não são bem iguais, mas é assim mesmo que funciona o mundo quântico: há uma probabilidade de ocorrer o decaimento mas pode não ocorrer.

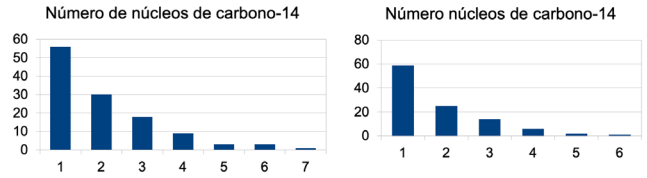


Figura 5 - As colunas indicam o número de núcleos de carbono-14 em cada despejo do saco. Os dois gráficos correspondem a duas experiências independentes.

O tempo correspondente a cada vez que retiras os átomos do saco é 5700 anos. Como podemos usar o que acabámos de fazer para determinar a idade do osso? Ao pesar o osso, os cientistas sabem quantos núcleos de carbono-14 este deve conter se o animal ao qual pertence o osso que encontraste morreu há pouco tempo. Usando técnicas especiais, os especialistas vão contar o número de núcleos de carbono-14 que o osso tem. Se tiver apenas metade do número esperado, já sabem que o osso é de um animal que morreu há cerca de 5700 anos. É fácil, não é? E se tiver apenas um quarto dos núcleos que deveria ter, há quanto tempo terá morrido o animal?

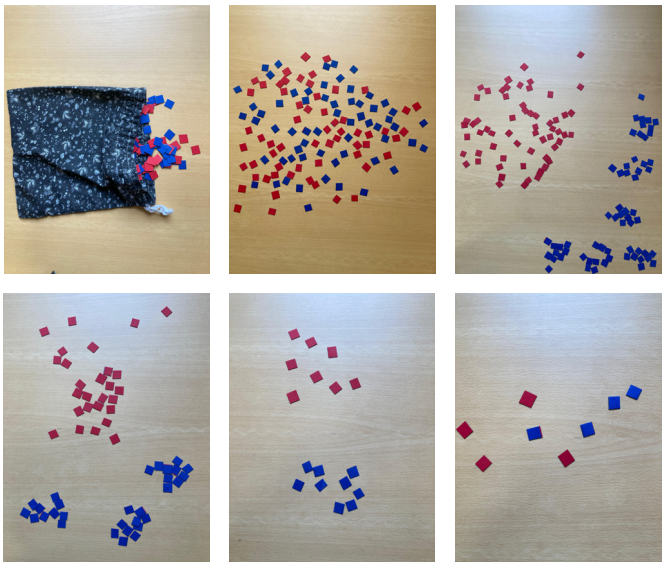


Figura 6 - Sequência de fotogradias que ilustram as diferentes fases da experiência.

Ora, os mamutes desapareceram da Europa há cerca de 12 500 anos, por isso, se for um osso de mamute, os cientistas não deverão detetar mais doque um quarto dos núcleos de carbono-14 que deveriam existir!

Bibliografia

Mamute, https://pt.wikipedia.org/wiki/Mamute
Radioactive-decay model, https://www.exploratorium.edu/snacks/radioactive-decay-model

Agradecimentos

Agradecemos a leitura e os comentários sempre tão importantes da Lucília Brito.

Olimpíadas de Física 2025



Imagem do cartaz: Computador quântico em Espoo, na Finlândia. 2025 é o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas.

PROVAS

Regionais: 29/03/2025

Nacionais: 31/05/2025

Internacionais: 7/2026, Colômbia

Ibero-americanas: 9/2026

Escalão A: alunos até ao 9.º ano

Escalão B: alunos até ao 11.º ano

http://olimpiadas.spf.pt

sp física SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA

REPÚBLICA PORTUGUESA

EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E INOVAÇÃO

direção-geral da educação

INTERNATIONAL YEAR OF Quantum Science and Technology

CIÊNCIA VIVA

notícias

In Memoriam de Adília Lopes (20/04/1960 – 30/12/2024)



Grande parte da turma que partilhou vários anos do curso de Física com Adília Lopes, numa visita ao Reator Nuclear no LFEN, no seu 1.º ano em 1978/79.
Adília Lopes, terceira aluna a contar da esquerda, na 2ª fila, na turma do 1.º ano de Física em 1978/79.
Ao seu lado no quarto lugar para a direita encontramos o professor António Melo e no sexto a autora.

Conheci a Maria José Oliveira (Adília Lopes) em 1978 no primeiro dia de aulas da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, em que ambas iniciámos o nosso percurso na Licenciatura em Física. Recordo-me que chovia imenso e que a porta do edifício na Av. 24 de Julho estava fechada, porque só abria próximo das 08:00 [1]. Felizmente o exterior era coberto! Chegámos demasiado cedo (afinal éramos caloiras), mas não houve grande conversa.

Durante o tempo que passou na Faculdade de Ciências, a Maria José revelou-se uma rapariga sossegada e introvertida, nunca a vi entusiasmada ou divertida, passava despercebida se não a interpelássemos. No entanto, gostava muito de conversar. Durante o curso foi-lhe diagnosticada uma psicose esquizoafetiva, doença que sempre assumiu, e que a fez interromper os estudos de Física. Foi então que chegou à conclusão de que Física não era o seu primeiro amor, e em 1983 trocou Ciências por Letras. Ingressou na Faculdade de Letras na Licenciatura em Literatura e Linguística Portuguesa e Francesa que concluiu já conhecida pelo seu pseudónimo Adília Lopes. Recordo que em 1985 me convidou para sua casa e me ofereceu, feliz, uma cópia do seu primeiro livro de poemas "Um jogo bastante perigoso". Gostava do sossego e da sua privacidade. Não era alguém que pretendesse ter protagonismo ou ser célebre, mas gostava de colocar no papel as suas reflexões e as sua emoções. Encontrou na escrita a sua razão de ser.

Sobre o tempo que passou na faculdade referiu mais tarde no texto **ESCOLA POLITÉCNICA** 23/8/14, In Manhã, Adília Lopes, 2015 Ed. Assírio & Alvim, pág. 57

"Lembro-me das palmeiras muito altas muito velhas da entrada da Escola Politécnica. Estão ali por engano, contou-me a minha mãe. Queriam plantar palmeiras pequenas. Mas houve um engano nas sementes, nos rebentos, não sei como se plantam palmeiras, e nasceram aquelas palmeiras enormes. Parece o Norte de África, onde nunca estive. De 1978 a 1982 fui aluna do curso de Física. Gostei de estudar Física. Tive bons colegas e bons professores. Mas esse tempo foi o deserto para mim. Havia no país um ambiente de guerra civil. Tinha havido o incêndio na Escola Politécnica. Ter 20 anos não foi bom para mim. É melhor ter 50 do que 20. É assim para muita gente mas as pessoas não dizem estas coisa."

E na sua obra existem várias referências à Física, por exemplo na mesma obra, no texto **VAZIO** 10/8/14 In Manhã, Adília Lopes, 2015 Ed. Assírio & Alvim, pág. 67

"Uma vez, num texto, falei em esgrimir no vazio. É uma questão de física. Não sei o que é manejar um florete sem resistência do ar. Não é fácil imaginar o vazio. Talvez esgrimir no vazio seja um disparate."

Foram várias as obras que publicou, sempre provocando as mais variadas reações dos seus leitores, e fomentando diferentes análises da sua obra. Não é possível conhecer Adília Lopes sem a ler. Sugiro que "experimentem" alguns dos seus poemas ou textos.

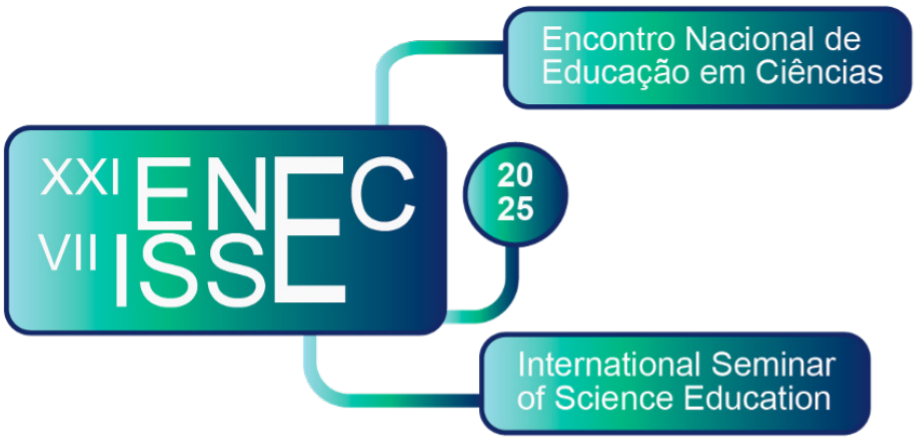
Morreu cedo, mas deixou uma marca na literatura portuguesa que o tempo não apagará e, embora não tenha seguido pessoalmente o seu percurso, retirei de outras biografias ("abençoada" internet que não estava disponível quando ambas fizemos o curso) a lista dos seus muitos livros e alguns escritos que lhe devemos. [2]

- Um Jogo Bastante Perigoso (Ed. autora, 1985)
- O Poeta de Pondichéry (Frenesi 1986)
- A Pão e Água de Colónia (Frenesi, 1987)
- O Marquês de Chamilly (Kabale und Liebe) (Hiena, 1987)
- O Decote da Dama de Espadas (INCM, 1988)
- Os 5 Livros de Versos Salvaram o Tio (Ed. autora, 1991)
- Maria Cristina Martins (Black Son Editores, 1992)
- O Peixe na Água (& etc, 1993)
- A Continuação do Fim do Mundo (& etc, 1995)
- A Bela Acordada (Black Sun Editores, 1997)
- Clube da Poetisa Morta (Black Sun Editores, 1997)
- O Poeta de Pondichéry seguido de Maria Cristina Martins (Angelus Novus, 1998)
- Florbela Espanca espanca (Black Sun Editores, 1999)
- Sete rios entre campos (& etc, 1999, com ilustrações de Paula Rego)
- Irmã Barata, Irmã Batata (Angelus Novus, 2000)
- Obra (Mariposa Azul, 2000)
- Quem Quer Casar Com a Poetisa? (Quasi, 2001)
- Rimas de Berço (Nursery Rhymes); (Relógio D'Água, 2001 - Tradução de Adília Lopes e Gravuras de Paula Rego)
- Crónicas da Vaca Fria, publicadas no Jornal PÚBLICO, 2001 (http://arlindo-correia.com/200301.html)
- Cartas do meu Moinho, publicadas no Jornal PÚBLICO, 2002 (http://arlindo-correia.com/180902.html)
- A Mulher-a-Dias (&, etc, 2002)
- César a César (& etc, 2003)
- Poemas Novos (& etc, 2004)
- Caras Baratas (Relógio D'Água, 2004)
- Le Vrai La Nuit - A Árvore Cortada (& etc, 2006)
- Caderno (& etc, 2007)
- Dobra (Assírio & Alvim, 2009, 1ª edição)
- Apanhar ar (Assírio & Alvim, 2010; com desenhos da autora)
- Café e Caracol (Livro de artista, Casa Fernando Pessoa, 2011)
- Andar a Pé (Averno, 2013)
- Dobra - Poesia Reunida - 1983-2014 (Assírio & Alvim, 2014)
- Manhã (Assírio & Alvim, 2015)
- O Poeta de Pondichéry (Assírio & Alvim, 2015, com desenhos de Pedro Proença)
- Capilé (Averno, 2015, com desenhos de Bárbara Assis Pacheco)
- Comprimidos (Telhados de Vidro n°20, Setembro 2015)
- Bandolim (Assírio & Alvim, 2016)
- Z/S (Averno, 2016)
- Estar em Casa (Assírio & Alvim, 2018)
- Dias e Dias (Assírio & Alvim, 2020)
- Dobra - Poesia Reunida - 1983-2021 (Assirio & Alvim, 2021)
- Pardais (Assírio & Alvim, 2022)
- Choupos (Assírio & Alvim, 2023)
- Dobra - Poesia Reunida - 1983-2023 (Assirio & Alvim, 2024)

Maria Margarida Cruz
mmcruz@ciencias.ulisboa.pt

Referências
[1] Este foi o ano letivo que sucedeu ao incêndio da Escola Politécnica, tendo que se alojar a Faculdade num edifício alternativo.
[2] https://pt.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%ADlia_Lopes (consultada em 5 janeiro 2025)

XXI Encontro Nacional de Educação em Ciências (ENEC) VII International Seminar of Science Education (ISSE)



O XXI Encontro Nacional de Educação em Ciências (ENEC) /VII International Seminar of Science Education (ISSE), irá realizar-se na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Santarém nos dias 11, 12 e 13 de setembro de 2025. Esta edição do ENEC é uma organização conjunta da Escola Superior de Educação de Santarém e da Associação Portuguesa de Educação em Ciências (APEduC) e tem como tema a "Educação em Ciências em Tempos de Mudança: Desafios da Era Digital".

Pretende-se que este evento seja um espaço de reflexão e diálogo, acrescentando conhecimento sobre o papel da Educação em Ciências diante das transformações tecnológicas e sociais atuais. O programa abrange temas diversificados sobre os desafios da crescente digitalização no ensino das Ciências, nomeadamente a integração das tecnologias emergentes e a inovação pedagógica, bem como as novas exigências da formação de professores. Para mais informações, consultar https://enec2025.ipsantarem.pt/.

Núcleo de Ciência e Tecnologias Quânticas e atividades no âmbito do Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas

Núcleo CiTeQ

ciência e tecnologias quânticas

O núcleo de Ciências e Tecnologias Quânticas (CiTeQ) integrado na Divisão da Matéria Condensada da Sociedade Portuguesa de Física (SPF), foi fundado tendo como primeira missão a celebração do Ano Internacional das Ciências e Tecnologias Quânticas 2025 (IYQ2025). Após o IYQ2025, este núcleo da SPF tem como objetivo continuar a desenvolver atividades nesta área, quer educacionais quer de promoção da investigação, através da realização de encontros científicos nacionais.

No âmbito da celebração do IYQ2025 foi constituída uma comissão nacional, coordenada por Paulo Freitas, do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico (IST), com o objetivo de divulgar e promover atividades em Ciência e Tecnologias Quânticas em todo o país. Essa comissão reúne pessoas de diferentes áreas, em consonância com o caráter interdisciplinar do tema.

A Sociedade Portuguesa de Inteligência Artificial (APPIA), que está empenhada em promover e divulgar a investigação em Inteligência Artificial e Computação Quântica, associou-se à iniciativa da Sociedade Portuguesa de Física e está representada na Comissão Nacional para a celebração do IYQ2025.

Para mais informações sobre o Núcleo consultar: https://fisica-materia-condensada.spf.pt/CTQ

Para informações sobre as atividades do Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas, consultar: https://www.quantum2025.pt/

Vencedores da Olimpíada Regional de Física 2025

Decorreu no passado sábado, 29 de março, a etapa regional das Olimpíadas de Física. Os resultados são os seguintes.

Escalão A

Vencedores do Escalão A - Norte Litoral		
Afonso Freitas Fernandes	Escola Básica dos 2.°e 3.° Ciclos Abel Salazar - Ronfe	
Pedro Peixoto de Sousa		
Francisco Daniel Guimarães Assunção		
Ana Filipa Tavares Fernandes Pereira	Escola Básica e Secundária Dr. Ferreira da Silva, Cucujães, Oliveira de Azeméis	
Pedro Santos Silva		
Miguel Duarte Tavares		
Lidia Iskruk	Escola Básica e Secundária Dr. Manuel Gomes Almeida, Espinho	
Vicente Maria Miranda Valente e Almeida		
Clara Barreira Gomes		

Vencedores do Escalão A - Região Açores		
Tomás Cristino Pereira	Escola Secundária Domingos Rebelo	
Margarida Botelho França Gouveia		
Gabriel Alberto do Couto Gonçalves		
Caetana de Oliveira Aguiar Soares	Escola Secundária Vitorino Nemésio	
Matilde Menezes da Rocha		
Laura Lemos dos Santos		
Inês Candeias de Oliveira	Escola Básica e Secundária Tomás de Borba	
Camila Avila Melo		
Clara Barreira Gomes		

Vencedores do Escalão A - Centro Litoral		
Leonor Inês Branco de Castro	Escola Básica e Secundária Quinta das Flores, Coimbra	
Francisco Diogo Serra Santos		
Beatriz Domingues Santiago		
Pedro Braga Ventura Seco	Escola Secundária Adolfo Portela, Águeda	
Simão Gomes de Almeida		
Ana Beatriz de Almeida Sousa		
Catarina Correia Gil	Escola Básica dos 2.° e 3.° Ciclos Grão Vasco	
Margarida Castro Silva Assunção		
Vitória Isabel Ferreira de Moura Sousa e Brito		

Vencedores do Escalão A - Região Lisboa		
Henrique Matos Rosa da Cunha Coimbra	Colégio Salesiano Oficinas de S. José, Lisboa	
Vicente Proença Agostinho Rodrigues Antunes		
Filipe Ribeiro da Silva		
Gabriel Krempel de Sousa Varela	Escola Básica dos 2.° e 3.° Ciclos D. João II - Caldas da Rainha	
Tomás dos Santos Parreira		
Afonso Pereira de Sequeira		
Leonor Chambino Ferrão Rodrigues e Vasconcelos	Escola Secundária du Bocage, Setúbal	
Miguel Neto Valente		
Stefania Cosmina Chitic		

Escalão B

Vencedores do Escalão B - Norte Litoral		
David Margarido Montenegro	Escola Secundária João Gonçalves Zarco, Matosinhos	
José Miguel Cavadas da Silva	Colégio Efanor, Matosinhos	
Luís Soares de Albergaria Morais	Escola Secundária da Maia, Maia	
Daniel Filipe Barbosa Fonseca	Escola Secundária de Valongo, Valongo	
Guilherme Rodrigues Soares de Pinho	Escola Básica e Secundária de Santa Maria da Feira, Santa Maria da Feira	
João Guilherme Alves Dinelli	Escola Secundária Almeida Garrett, Vila Nova de Gaia	
Luís Miguel Oliveira Tadeu Silva	Colégio "Casa Mãe", Paredes	
Rui Francisco Ventura Araújo	Colégio Efanor, Matosinhos	
Samuel Mouta Soares	Escola Secundária João Gonçalves Zarco, Matosinhos	
Tiago Samuel Moreira Duarte	Escola Secundária de Penafiel, Penafiel	

Vencedores do Escalão B - Centro Litoral		
Manuel Maia Rodrigues	Escola Básica 2.º, 3.º Ciclos c/ Ens. Sec. de José Falcão, Miranda do Corvo	1
Mafalda Filipa Duarte Pombo	Escola Secundária Alves Martins, Viseu	2
Salvador Rodrigues Lourenço	Escola Secundária Emídio Navarro, Viseu	3
Afonso Teixeira Barbosa	Escola Secundária Quinta das Palmeiras, Covilhã	
Andrei Alekseevich Fatkulin	Escola Secundária Infanta D. Maria, Coimbra	
Guilherme Manuel Calado de Oliveira	Escola Secundária José Estevão, Aveiro	
Guilherme Pereira Branco	Colégio da Rainha St2 Isabel, Coimbra	
João Bernardo Duarte Martins	Escola Secundária Quinta das Palmeiras, Covilhã	
Leonardo Correia Pereira de Aguiar Aires	Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, Aveiro	
Martim Costa Carvalho	Escola Secundária Alves Martins, Viseu	

Vencedores do Escalão B - Região Açores		
Isabel Vilela de Carvalho Benevides Sousa	Escola Secundária Domingos Rebelo	1
Vasco Ferreira de Meneses	Escola Secundária Vitorino Nemésio	2
Rodrigo D'Almeida Lima Canêdo dos Santos	Escola Secundária Domingos Rebelo	3

Vencedores do Escalão B - Região Lisboa		
Nicholas Martinez Cuevas Biondi Carvalho	Escola Secundária Pedro Nunes, Lisboa	1
Filipa Marques Costa	Escola Secundária Henriques Nogueira, Torres Vedras	2
Mirela Eremia	Escola Básica e Secundária da Bemposta, Algarve	3
Carolina Inglês Luís	Externato de Penafirme; Torres Vedras	
Filipa Rocha Galveias	Escola Secundária Sebastião e Silva, Oeiras	
Ignat Pavlovich Riazanov	Escola Secundária Emídio Navarro, Almada	
José Miguel Mendonça	Colégio de São João de Brito, Lisboa	
Levi Miranda da Costa Gomes	Escola Secundária Sebastião e Silva, Oeiras	
Nimai Govinda Periard Sena Russo Alves	Escola Secundária Sebastião e Silva, Oeiras	
Tomás Miguel Duarte Correia	Colégio Pedro Arrupe, Lisboa	

Vencedores do Escalão B - Região Madeira		
Diogo Luís Gama Ferreira de Mendonça	Escola Básica e Secundária Bispo D. M. F. Cabral	1
Maria Leonor de Abreu Ourelas Câmara	Escola Secundária Francisco Franco	2
Tomás Manuel Figueira Nunes	Escola da APEL	3

Parabéns aos premiados.

Estágios de Verão no LIP, 2025



O LIP Internship Program é um programa de verão do LIP destinado a estudantes de Física, Engenharia e Ciências, em que os estagiários trabalham num projeto entre duas semanas e dois meses.

As candidaturas para a edição de 2025 estão disponíveis em https://www.lip.pt/training/internship-program/index.php?option=5&lang=PT.

Cada candidatura deve indicar cinco projetos por ordem de preferência. Os projetos da edição deste ano podem ser encontrados em: https://www.lip.pt/training/internship-program/index.php?option=3.

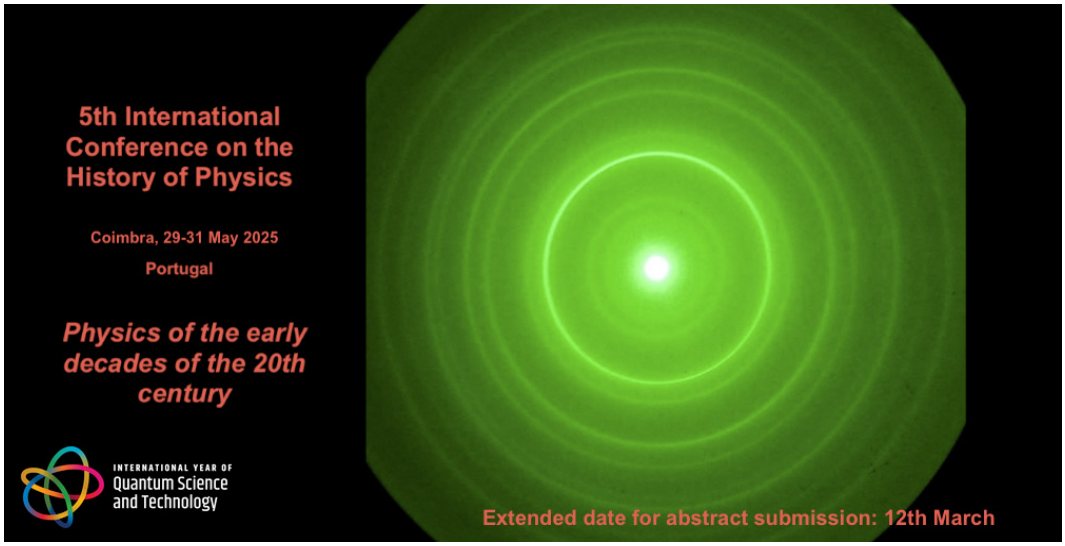
O programa de verão inclui palestras de introdução à Física de Partículas e Astropartículas, detetores e métodos experimentais, e sessões tutoriais sobre o uso de ferramentas de computação para análise de dados. Em 2025, como habitual, os estágios começam em Junho e acabam em Setembro. O programa detalhado aparecerá em breve.

O programa de verão termina com um workshop em que cada participante apresenta o seu trabalho. No fim do estágio, cada estudante tem ainda a possibilidade de escrever um artigo final sobre o seu trabalho. Os artigos dos anos anteriores podem ser encontrados no sítio: https://www.lip.pt/?section=training&page=student-publications.

Os tópicos, materiais e apresentação das edições anteriores estão disponíveis em: https://www.lip.pt/training/internship-program/index.php?option=150.

O LIP acolhe também estágios fora do período de verão. Os projetos submetidos nos anos anteriores podem servir de exemplo para possíveis tópicos e fornecer contactos iniciais nos vários grupos de investigação do LIP. Essa informação pode ser encontrada em https://www.lip.pt/training/internship-program/past_events/2023/index.php?option=3.

5.ª Conferência Internacional sobre a História da Física, Coimbra 5-7 junho



A 5.ª Conferência Internacional sobre a História da Física irá decorrer no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, de 29 a 31 de maio de 2025. Esta é a quinta edição da série, sucedendo às quatro anteriores realizadas no Trinity College, Cambridge, Reino Unido, em 2014; em Pöllau, Áustria, em 2016; em San Sebastián, Espanha, em 2018; e no Trinity College, Dublin, Irlanda, em 2022.

O objetivo destas conferências é reunir físicos interessados na história da Física e historiadores profissionais, com o objetivo de juntar as suas diferentes perceções e metodologias, no sentido de beneficiarem da interação e do diálogo.

A participação e o envolvimento de estudantes serão incentivados com a expectativa de que o estudo da história Física pode inspirar as gerações futuras, informando-as sobre as vidas e o trabalho de cientistas do passado, além de facilitar uma melhor compreensão de tópicos que apresentam problemas conceptuais na atualidade.

O tema principal da 5.ª Conferência Internacional sobre a História da Física (5ICHoP-2025) é "A Física nas primeiras décadas do século XX", em linha com a declaração da Assembleia Geral das Nações Unidas de que 2025 será o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas (IYQ). Este evento celebra o centenário da formulação matricial da mecânica quântica desenvolvida por Werner Heisenberg, Max Born e Pascual Jordan, bem como da formulação da mecânica ondulatória por Erwin Schrödinger.

O programa da conferência incluirá sessões científicas, palestras plenárias, e a entrega do Prémio Schuster de História da Física. Entre os temas a discutir encontram-se os tópicos:

- A história de instituições, academias e sociedades científicas
- Os caminhos para a física aplicada e sua relação com a tecnologia
- Releituras de artigos clássicos ou negligenciados
- Tradições pedagógicas e de pesquisa em Física
- Perspetivas históricas de género na Física
- Novas abordagens historiográficas na História da Física
- Humanidades digitais e a História da Física

Para mais informações, aceder a https://5ichop.sci-meet.net/

Ajude a Sociedade Portuguesa de Física. Faça-se Sócio !
Formulário de Inscrição (preencher e enviar para morada da Sociedade Portuguesa de Física, abaixo)
Formulário de inscrição também em https://www.spf.pt/adesao

Nome Completo: _____

Data de Nascimento: ___/___/_____

Morada: _____

Cód. Postal: _____-____ Localidade: _____

N. Contribuinte: _____ País: _____

Telefone: _____ E-mail: _____

Habilitações Literárias: _____ Ano de obtenção grau. _____

Instituição Ensino: _____

Profissão: _____ Cargo: _____ Categoria: _____

Empresa/Instituição: _____

Morada: _____ Cód. Postal: _____-____ _____

Correspondência: □ Casa □ Trabalho; Delegação: □ Norte □ Centro □ Sul e Ilhas

Divisões/Secções/Grupos

SPF	EPS
□ Educação □ Física Atómica e Molecular □ Física da Matéria Condensada □ Física de Plasmas □ Física Médica □ Física Nuclear □ Meteorologia, Geofísica e Oceanografia □ Ótica e Lasers □ Física de Partículas □ História da Física □ Física Aplicada à Engenharia □ Física em Empresa	□ Grupo - Physics Education □ Grupo - History of Physcs □ Grupo - Experimental Physics Control Systems □ Grupo - Computational Physics □ Grupo - Accelerators □ Grupo - Physics for development □ Astrophysics - Solar Physics □ Atomic and Molecular Physics - Atomic Spectroscopy (EGAS) □ Atomic and Molecular Physics - Chemical Physics □ Atomic and Molecular Physics - Electronic and Atomic Colisions □ Atomic and Molecular Physics - Molecular Physics □ Condensed Matter - Surfaces and Interfaces □ Condensed Matter - Liquids □ Condensed Matter - Low Temperature Physics □ Condensed Matter - Macromolecular Physics □ Condensed Matter - Magnetism □ Condensed Matter - Semiconductors and Insolators □ Condensed Matter - Metals □ High Energy and Particle Physics □ Nuclear Physics □ Plasma Physics □ Quantum Electronics and Optics

Valor anual da quota

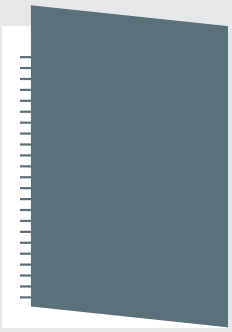
Sócio Efetivo	40,00 EUR
Sócio Efetivo - web (acesso online à Gazeta de Física)	30,00 EUR
Sócio Estudante	20,00 EUR
Sócio Estudante - web (acesso online à Gazeta de Física)	10,00 EUR
Sócio Cônjuge - web (acesso online à Gazeta de Física)	10,00 EUR
Sócio Coletivo Escola (Escolas Básicas e Secundárias)	40,00 EUR
Sócio Coletivo Empresa, Departamentos e Centros de Investigação	200,00 EUR

Modos de Pagamento das quotas
IBAN: PT50 0033 0000 0008 5208 9720 5 (Millennium Bcp)
Cheque/vale postal
Sociedade Portuguesa de Física
Av. da República, 45, 3ESQ - 1050-187 LISBOA
+351 217993665 / 964531520

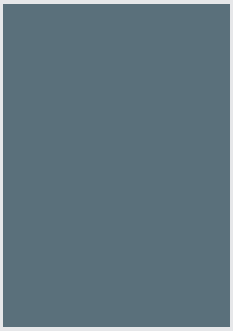
TABELA PUBLICIDADE GAZETA DE FÍSICA



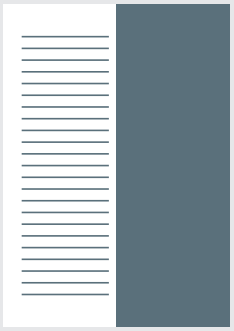
1 - Verso Capa

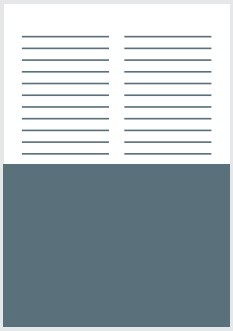


2 - Contracapa

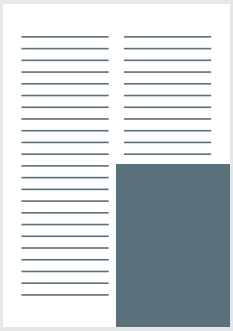


3 - Página



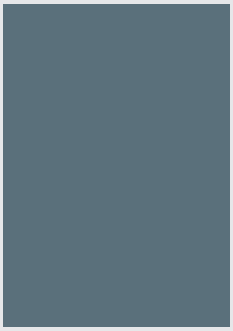


4 - 1/2 Página



5 - 1/4 Página





6 - Destacável/folha



7 - Rodapé

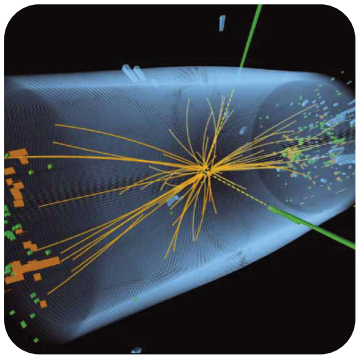
Tabela (acresce IVA)

1 - 1 500,00 €
2 - 2 000,00 €
3 - 800,00 €
4 - 600,00 €
5 - 400,00 €
6 - 1 500,00 €
7 - 100,00 €

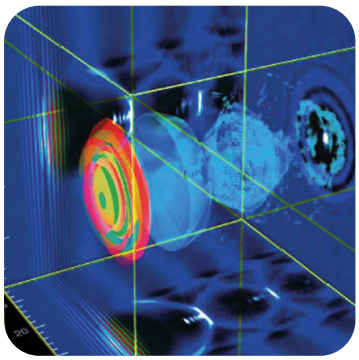
Descontos
Sócios coletivos - 20 %
Quantidade
2 x 20 % | 3 x 30 % | 4 x 40 %
Tiragem: 3000 exemplares
Consulta online 15000 (C/CPLP)
Facebook ~40000 (C/CPLP)

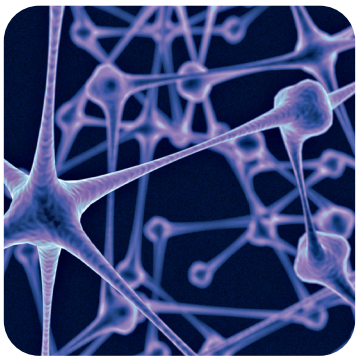
GAZETA DA física

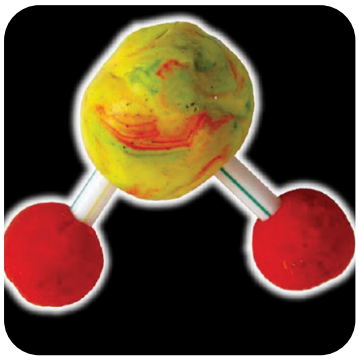
Para os físicos e amigos da física.
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT





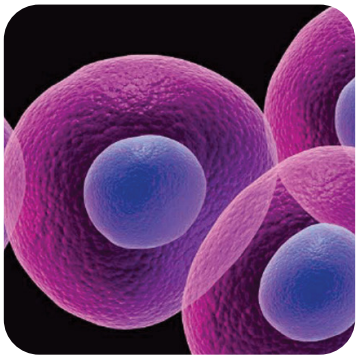












CONTACTOS:

Sociedade Portuguesa de Física
Av. Prof. Gama Pinto, nº 2 | 1649-003 Lisboa
Telef.: 217 993 665 | spf@spf.pt

EXpT

SISTEMAS DE ENSINO E PESQUISA PARA LABORATORIO

www.expt.pt
info@expt.pt
+351 927 631 786

EXpT exclusive distributor of PHYWE in Portugal presents some of the Nobel Prize experiments

X - ray





Specific charge





XR 4.0 expert unit, 35 kV

Item no.: 09057-99

The PHYWE X-ray unit offers you a precise and safe demonstration of the penetration of matter by X-rays, a ground-breaking concept that Röntgen discovered in 1895 and for which he was awarded the Nobel Prize in 1901.

Learning objectives:

- Structural analysis
- Characteristic radiation
- Bragg reflection
- Radiology
- Dosimetry
- Computed tomography



Specific charge of the electron - e/m

Item no.: P2510200

With the PHYWE e/m experimental setup, you can experimentally determine the specific electron charge based on Thomson's discovery in 1897, which brought him the Nobel Prize in 1906.

Learning objectives:

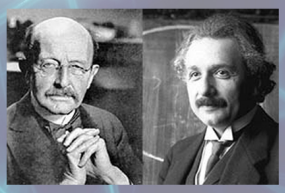
- Cathode rays
- Lorentz force
- Electron in crossed fields
- Electron mass
- Electron charge

Michelson interferometer





Planck's quantum of action





Michelson interferometer - High Resolution

P2220911

The Michelson interferometer, an innovation from the 1880s, enables high-precision measurements of the smallest changes in path length.

Applications include, for example, the Michelson-Morley experiment and gravitational wave detection.

Michelson was honoured with the Nobel Prize for this in 1907.

Learning objectives:

- Interference
- Wavelength
- Diffraction index
- Speed of light
- Phase
- Virtual light source

Planck's "quantum of action" and photoelectric effect

Item no.: P2510402

The PHYWE experimental set-up for Planck's radiation formula enables the demonstration of Planck's quantum theory, which was introduced in 1900 and for which he was awarded the Nobel Prize in 1918.

Albert Einstein received the Nobel Prize in 1921 for his explanation of the photoelectric effect, which is closely linked to Planck's quantum hypothesis.

Learning objectives:

- External photoelectric effect
- Work function
- Absorption
- Photon energy
- Anode / Cathode