

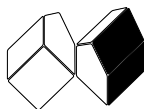
V13/02

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR
CASA DAS CIÊNCIAS

JUNHO 2025



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. *Ciência Elem.*, V13(02)

Publicação trimestral
da Casa das Ciências

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMAGEM NA CAPA

Equilíbrio nas ondas.

ChatGPT

© Todo o material publicado nesta revista pode ser reutilizado para fins não comerciais, desde que a fonte seja citada.



PROPRIETÁRIO

Casa das Ciências/ICETA

Faculdade de Ciências,

Universidade do Porto

Rua do Campo Alegre, 687

4169-007 Porto

rce@casadasciencias.org

CORPO EDITORIAL DA REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR

EDITOR

João Nuno Tavares (UNIVERSIDADE DO PORTO)

CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)

Rute Coimbra (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

Sónia Gouveia (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

João Lopes Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

PRODUÇÃO e SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

Raul Seabra

NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

A Revista de Ciência Elementar dirige-se a um público alargado de professores do ensino básico e secundário, aos estudantes de todos os níveis de ensino e a todos aqueles que se interessam pela Ciência. Discutirá conceitos numa linguagem elementar, mas sempre com um rigor superior.

INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

Convidam-se todos os professores e investigadores a apresentarem os conceitos básicos do seu labor diário numa linguagem que a generalidade da população possa ler e compreender.

Para mais informação sobre o processo de submissão de artigos, consulte a página da revista em rce.casadasciencias.org



**CASA DAS
CIÊNCIAS**

FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO

JUNHO 2025

V13/02

Índice

02 AGENDA

03 NOTÍCIAS

EDITORIAL

05 **Conhecimento Científico e Humanismo.**

João Nuno Tavares

ARTIGOS

07 **Movimento Browniano e difusão.**

Eduardo Lage

15 **Quando o trabalho não é a variação de energia cinética.**

J. M. B. Lopes dos Santos

20 **Física dos ultrassons.**

José Manuel Marques Martins de Almeida

26 **Salvaguarda da biodiversidade.**

Maria Alexandra Abreu Lima *et al.*

31 **Pantanal Brasileiro.**

Ernandes Sobreira Oliveira Junior *et al.*

PROJETO DE SUCESSO

34 **Criaturas do micromundo a observar e explorar através do espólio de um Museu da Ciência.**

Ana Bela Saraiva

AOS OLHOS DA CIÊNCIA

40 **Paisagens argentinas – I.**

Luís Vítor Duarte

BIOGRAFIA

48 **Roger Penrose.**

João Nuno Tavares

Temporada 2025

Música na Universidade de Lisboa

Este ciclo de concertos teve início em abril e prolonga-se até setembro. A entrada é livre, mas limitada à lotação de cada espaço. Este projeto conta com uma programação cultural própria e tem como propósito promover a vivência cultural e a sua aproximação à comunidade ULisboa e à sociedade em geral.

O próximo concerto é a 19 julho, pelas 18h o Concerto Comemorativo do 20.º Aniversário do Coro Infanto-Juvenil da Universidade de Lisboa, na Aula Magna.

A agenda de concertos da Música na Universidade pode ser consultada [online](#), sujeita a atualizações.

UNIVERSIDADE DE LISBOA

01/10
a 31/12 (2025)

Ciclo de palestras “Tecnologias Quânticas”

No âmbito do Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas 2025, iniciou-se a 14 de outubro de 2024 um ciclo de Palestras “Tecnologias Quânticas” no centro de Divulgação Rómulo.

Todos os meses, sempre à segunda-feira, há uma palestra convidada de um investigador português na área de Ciência e Tecnologias Quânticas. Toda a informação sobre a palestra do mês (e sobre as já realizadas) pode ser consultada no [site](#).

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Quartas-feiras

Seminário Filosofia e História das Ciências

O ciclo de Seminários “[Filosofia e História das Ciências](#)” promovido pela Casa das Ciências, em parceria com a FCUP e a FLUP regressará em setembro.

Este seminário decorre quinzenalmente com participação livre e aberto a todos os interessados tem como objetivo de discutir temas de Ciência e Filosofia das Ciências.

Para participar via *online* a inscrição é obrigatória.

CASA DAS CIÊNCIAS

22/11
e 23/11 (2025)

Conferência 100 anos da Mecânica Quântica

Em 2025, celebra-se o centenário da Mecânica Quântica, uma teoria que revolucionou a física, sobretudo a nossa compreensão do mundo subatômico, e a principal responsável pelos enormes avanços tecnológicos de que hoje a maioria de nós desfrutamos. A ONU declarou 2025 como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas, reconhecendo o impacto da mecânica quântica na ciência, tecnologia, filosofia e artes.

A Casa das Ciências, em parceria com a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, associam-se à comemoração deste centenário, promovendo esta conferência que terá lugar em 22 e 23 de outubro de 2025, nas instalações da FCUP. O [programa](#) já está delineado e pode ser consultado na página dedicada ao evento.



22-23
OUTUBRO 2025

FCUP



Discurso de Geoffrey Hinton no banquete do Prémio Nobel, 10 de dezembro de 2024

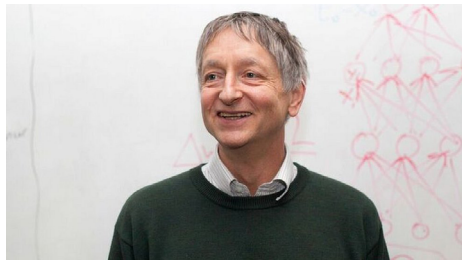


FIGURA 1. Geoffrey Hinton. Imagem de BBC News.

Este ano, os comités do Nobel da Física e da Química reconheceram o progresso drástico que está a ser feito numa nova forma de Inteligência Artificial que utiliza redes neuronais artificiais para aprender a resolver problemas computacionais complexos. Esta nova forma de IA destaca-se na modelação da intuição humana em vez do raciocínio humano e permitir-nos-á criar assistentes altamente inteligentes e experientes que aumentarão a produtividade em quase todos os setores. Se os benefícios do aumento da produtividade puderem ser partilhados de forma igual, será um avanço maravilhoso para toda a humanidade. Infelizmente, o rápido progresso da IA traz muitos riscos a curto prazo. Ela já criou câmaras de eco divisivas ao oferecer às pessoas conteúdos que as deixam indignadas. Já está a ser utilizada por governos autoritários para vigilância em massa e por ciber criminosos para ataques de “phishing”. Num futuro próximo, a IA poderá ser utilizada para criar novos vírus terríveis e armas letais horrendas que decidem por si próprias quem matar ou mutilar. Todos estes riscos a curto

prazo exigem uma atenção urgente e enérgica por parte dos governos e das organizações internacionais. Existe também uma ameaça existencial a longo prazo que surgirá quando criarmos seres digitais mais inteligentes do que nós. Não fazemos ideia se conseguiremos manter o controlo. Mas agora temos provas de que, se forem criados por empresas motivadas por lucros a curto prazo, a nossa segurança não será a principal prioridade. Precisamos urgentemente de investigação sobre como impedir que estes novos seres queiram assumir o controlo.

Já não são ficção científica!

Tempo tem três dimensões? Especialistas sugerem que espaço é efeito secundário

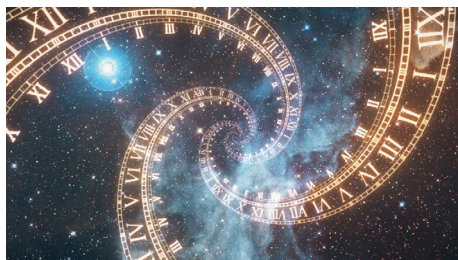


FIGURA 1. O espaço-tempo. Imagem de Shutterstock.com.

Um novo estudo sugere que o universo não é formado apenas pelo espaço-tempo, mas que o próprio tempo pode ter três dimensões. Apesar do tempo ser estudado em diversas áreas da ciência, alguns especialistas argumentam que ele não existe, enquanto outros sugerem que o tempo existe de maneira diferente do que imaginamos. Em um estudo recente, um investigador propõe que o tempo pode ter três dimensões e que o espaço seria

um efeito secundário dessas dimensões temporais. Os cientistas tratam o tempo como uma linha contínua, que avança indefinidamente e representa o passado, o presente e o futuro. Na Teoria da Relatividade do físico alemão Albert Einstein, o tempo é tratado como uma das dimensões do universo, juntamente com as dimensões espaciais: comprimento, largura e altura. Segundo Einstein, essas quatro dimensões formam o espaço-tempo e definem a estrutura do universo como o percebemos. No novo estudo, publicado na revista científica *Reports in Advances of Physical Sciences*, o investigador apresenta a hipótese de que o próprio tempo teria três dimensões, formando a estrutura fundamental de tudo o que existe ao nosso redor. Assim, o autor afirma que o espaço surgiria como um efeito secundário das três dimensões do tempo; além disso, o próprio espaço também possui as três dimensões já reconhecidas pela comunidade científica. Ou seja, a nova teoria propõe que o universo seria, na verdade, composto por seis dimensões no total.

Os 7 problemas de matemática que valem \$1 milhão

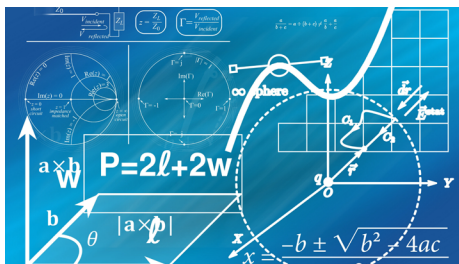


FIGURA 1. Problema matemático. Imagem de Pixabay.

O Instituto Clay de Matemáticas vai atribuir um prémio de um milhão de dólares a quem

resolva, pelo menos, um problema matemático. Até agora, só uma pessoa ganhou o prémio, mas recusou o dinheiro. A existência de Yang-Mills e o intervalo de massa, a hipótese de Riemann, o problema “P versus NP”, a equação de Navier-Stokes, a conjectura de Hodge, a conjectura de Poincaré, a conjectura de Birch e Swinnerton-Dyer. O Instituto Clay de Matemáticas, com sede em Cambridge, apresentou, em 2000, sete desafios, selecionados por um comité de matemáticos e os respetivos prémios milionários que serão atribuídos ao matemático que encontre a sua resolução. Até agora, apenas um dos problemas foi solucionado – conjectura de Poincaré – pelo matemático russo Grigori Perelman, a quem foi atribuído um prémio de um milhão de dólares no dia 18 de março de 2010. Embora Perelman tenha recusado o dinheiro, a resolução do problema manteve-se intacta: o matemático russo resolveu a conjectura de Poincaré, uma hipótese que se considerava, até ao momento, uma das mais importantes e difíceis de demonstrar. Além do prémio milionário, recusou também a medalha Fields – conhecida como o Nobel das Matemáticas – e retirou-se da vida pública por se sentir demasiado exposto pela comunidade.

Conhecimento Científico e Humanismo.

Navegamos por tempos inéditos, onde o digital domina o cotidiano. Redes sociais, inteligência artificial e algoritmos inteligentes moldam a forma como vivemos, comunicamos e tomamos decisões. Neste contexto, o conhecimento científico destaca-se como essencial, não só para enfrentar, mas também para compreender as nuances de uma sociedade repleta de informações controversas, desinformação desenfreada e manipulação de opiniões.

Numa época em que as redes sociais se tornaram palco de campanhas de desinformação, a importância do pensamento crítico e da literacia científica é indiscutível. É imperativo que saibamos distinguir factos de ficção, verdade de manipulação, para podermos tomar decisões informadas e responsáveis. O papel da ciência é, portanto, mais proeminente do que nunca, garantindo que a informação correta prevalece sobre o ruído digital.

A Casa das Ciências tem sido um bastião na promoção do conhecimento científico num contexto humanista. Iniciativas como o encontro anual, realizado em abril passado, subordinado ao tema "*Para um Ensino Humanista das Ciências*", sublinham a necessidade de uma educação integrada que contemple tanto o rigor científico como os valores éticos e sociais. Os estudantes devem ser preparados não apenas como futuros profissionais competentes do ponto de vista técnico e científico, mas como seres humanos conscientes das implicações éticas das suas ações num mundo em rápida mudança.

O "*Seminário de Filosofia e História das Ciências*" não só ilumina a contribuição histórica das descobertas científicas, mas também promove uma discussão sobre o impacto ético e social da ciência no mundo moderno. Estes diálogos são cruciais para formarmos um entendimento holístico dos desafios que emergem das inovações tecnológicas.

Os podcasts "[Histórias da Ciência](#)" e "[100 anos da Mecânica Quântica](#)" são exemplos de como a ciência pode ser tornada acessível a um público vasto e diversificado. Ao entrelaçar factos científicos com narrativas envolventes, estes conteúdos despertam curiosidade e criam um público mais bem informado, capaz de questionar, explorar e celebrar a ciência.

A responsabilidade de educar a próxima geração de líderes não se limita apenas ao ensino dos princípios científicos.

Num cenário onde a inteligência artificial estimula o apetite pelo consumo descontrolado, educar a sociedade para resistir à manipulação e optar por comportamentos sustentáveis é um desafio incessante. Aqui, o conhecimento científico não somente reforça, mas também ilumina, guiando-nos para escolhas mais responsáveis.

Em síntese, o conhecimento científico e uma abordagem humanista transformam-se em ferramentas essenciais para navegar por um mar de informações em constante evolução. Ao defender a ciência e integrá-la numa visão humanística, podemos não apenas enfrentar os desafios desta era digital, mas também garantir que a sociedade avança de maneira ética, informada e resiliente.

A *Casa das Ciências* continua a atuar como um pilar essencial nesta missão, inspirando um diálogo contínuo entre a ciência e a humanidade, crucial para a construção de um futuro mais iluminado e consciente.

Para terminar, quero chamar a atenção do leitor para uma nova rubrica, intitulada "Biografia", que iniciamos já a partir deste número, alternando com a usual "Imagem de destaque", onde daremos o merecido destaque a personalidades das várias áreas que, pelos seus contributos científicos e pela sua intervenção cívica, foram e serão sempre uma referência para todos nós.

João Nuno Tavares

Universidade do Porto

Movimento Browniano e difusão.

Eduardo Lage

U. Porto

Em 1827 o botânico Robert Brown descreveu o movimento aleatório de grãos de pólen imersos em água e observados ao microscópio. A explicação do fenómeno (A. Einstein, 1905; M. Smolushowski, 1906) como sendo o resultado de múltiplas colisões de moléculas de água (cerca de 10^{14} por segundo) e o seu relacionamento com a difusão macroscópica, mostrou-se definitiva na aceitação da teoria atómica da matéria e, simultaneamente, fez entrar na Física a modelização por processos estocásticos como método de tratamento de fenómenos demasiado complexos para uma abordagem segundo as leis da Mecânica. Neste artigo são apresentadas as bases da formulação de processos estocásticos, sempre unidimensionais para simplificar, e são incluídos diversos exemplos com particular atenção ao movimento Browniano. Mostra-se como generalizar para tempo e espaço contínuos a formulação inicialmente definida para tempo e espaço discretos, deduzindo-se a equação de Fick para a difusão macroscópica. Num Apêndice é indicado como implementar em computador a simulação daqueles processos.



FIGURA 1. Robert Brown (1773-1858).

Considere-se o eixo x marcado por pontos igualmente espaçados e identificados por um número inteiro n , tomando-se $n = 0$ para origem. Imagine-se que, partindo da origem, uma partícula, a cada tique τ de um relógio ($\tau = 0, 1, 2, \dots$) efetua um salto aleatório para o ponto à direita com probabilidade p , ou para a esquerda com probabilidade $q = 1 - p$. Então, a probabilidade $P_n(\tau)$ de a partícula se localizar no ponto n no "instante" τ satisfaz a equação:

$$P_n(\tau + 1) = pP_{n-1}(\tau) + qP_{n+1}(\tau) \quad (1)$$

com a condição inicial:

$$P_n(0) = \delta_{n,0} \quad (2)$$

onde $\delta_{i,j}$ é o símbolo de Kronecker. A equação 1 é um caso particular da, assim designada, equação-mestra:

$$P_n(\tau + 1) = \sum_m W_{n,m} P_m(\tau) \quad (3)$$

onde $W_{n,m} \geq 0$ é a probabilidade de transição de m para n satisfazendo à condição de conservação de probabilidade:

$$\sum_n W_{n,m} = 1 \quad (4)$$

Muitos problemas interessantes podem ser formulados usando a equação 3, desde propagação de vírus ou fogos florestais até oscilações da bolsa de valores (consideradas numa nova área conhecida por Econofísica).

É fácil verificar que a equação 1 é reproduzida pela equação 3 com a escolha $W_{n,m} = p\delta_{n,m+1} + q\delta_{n,m-1}$. O cálculo da média e outros momentos da distribuição $P_n(\tau)$ pode ser feito a partir da equação 3; por exemplo:

$$\langle n(\tau) \rangle = \sum_n n P_n(\tau) \rightarrow \langle n(\tau + 1) \rangle = \langle n(\tau) \rangle + p - q \quad (5)$$

$$\langle n^2(\tau) \rangle = \sum_n n^2 P_n(\tau) \rightarrow \langle n^2(\tau + 1) \rangle = \langle n^2(\tau) \rangle + 2(p - q)\langle n(\tau) \rangle + 1 \quad (6)$$

Tendo em atenção a condição inicial, obtém-se a média e a variância da distribuição:

$$\langle n(\tau) \rangle = (p - q)\tau \quad (7)$$

$$\sigma^2(\tau) \equiv \langle n^2(\tau) \rangle - \langle n(\tau) \rangle^2 = 4pq\tau \quad (8)$$

Estes resultados sugerem que, para $\tau \gg 1$, a distribuição $P_n(\tau)$ se aproxima de uma Gaussiana centrada na média e com uma largura $\sigma(\tau)$, isto é, a partícula situa-se em $\langle n(\tau) \rangle$ com um "erro" $3 \times \sigma(\tau)$.

A própria distribuição $P_n(\tau)$ pode ser obtida usando o método da função geradora. Defina-se:

$$\phi(k, \tau) = \sum_n P_n(\tau) e^{ikn} \quad (9)$$

Notar-se-á que k e $k + 2\pi \times$ inteiro dão o mesmo resultado, pelo que se restringe k ao intervalo $]-\pi, \pi]$. Também se registam as seguintes propriedades:

$$\text{conservação de probabilidade} \rightarrow \phi(0, \tau) = 1$$

$$\text{condição inicial} \rightarrow \phi(k, 0) = 1$$

Ora, usando a equação 1, obtém-se:

$$\phi(k, \tau + 1) = (pe^{ik} + qe^{-ik})\phi(k, \tau) \rightarrow \phi(k, \tau) = (pe^{ik} + qe^{-ik})^\tau \quad (10)$$

Desenvolvendo esta potência e comparando com a equação 9, tem-se:

$$P_n(\tau) = \sum_{l=0}^{\tau} \binom{\tau}{l} p^l q^{\tau-l} \delta_{n+\tau, 2l} \quad (11)$$

Esta distribuição está representada nas FIGURAS 2 e 3, para $p = 0,7$. Elas mostram claramente que se aproxima de uma Gaussiana para $\tau \gg 1$.

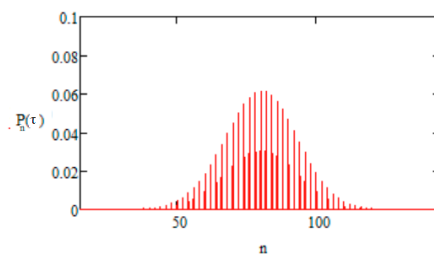


FIGURA 2. Distribuição P_n para $\tau = 200$ saltos.

Um método alternativo para se obter $P_n(\tau)$ a partir de $\phi(k, \tau)$ consiste em começar por verificar a identidade:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dk e^{ik(m-n)} = \delta_{m,n} \quad m, n \text{ inteiros} \quad (12)$$

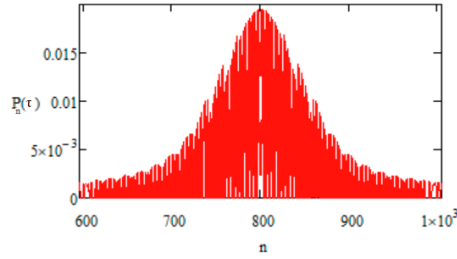


FIGURA 3. Distribuição P_n para $\tau = 2000$ saltos.

Deste modo, a equação 9 pode ser invertida, obtendo-se:

$$P_n(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-pi}^{\pi} dk e^{-ikn} \phi(k, \tau) \quad (13)$$

reproduzindo-se a equação 11.

Com a função geradora é fácil calcular momentos da distribuição $P_n(\tau)$. Por exemplo:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial k} \right)_{k=0} = i \langle n(\tau) \rangle \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial k^2} \right)_{k=0} = - \langle n^2(\tau) \rangle \quad (15)$$

Usando a equação 10, confirmam-se facilmente os resultados (7) e (8).

O caso $p = q = \frac{1}{2}$, porque foi considerado por Einstein na sua segunda publicação sobre o movimento Browniano (1905) e pela sua relação com a difusão macroscópica, merece uma atenção particular.

A FIGURA 4 mostra o resultado da simulação das posições visitadas pela partícula para um total de 103 saltos.

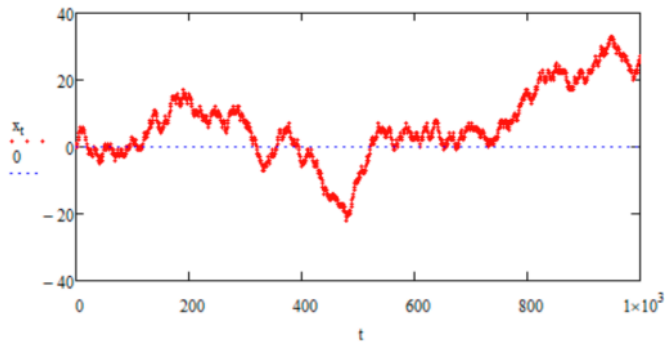


FIGURA 4. Movimento aleatório a uma dimensão.

A partir destes resultados foi obtido o histograma da FIGURA 5 onde, para cada posição (eixo horizontal), é indicado o número de visitas (eixo vertical). Detalhes são remetidos para o Apêndice.

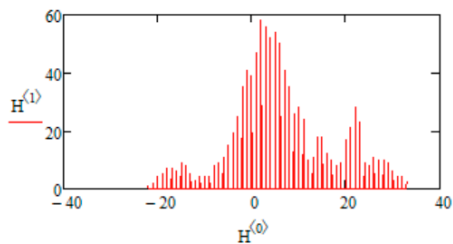


FIGURA 5. Histograma obtido a partir da FIGURA 4.

O histograma já é uma boa aproximação para a distribuição exacta dada pela equação 11. Esta distribuição está representada nas FIGURAS 6 e 7 para $\tau = 400$ e $\tau = 900$, respetivamente, verificando-se o aumento da sua largura conforme a equação 8, por exemplo,

$$\sigma(\tau) = \sqrt{\tau} \quad (16)$$

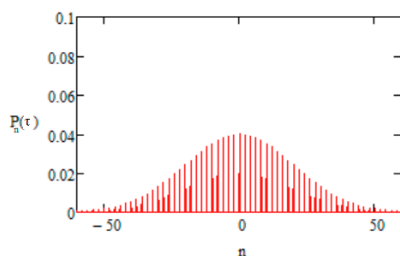


FIGURA 6. A distribuição P_n após 400 saltos.

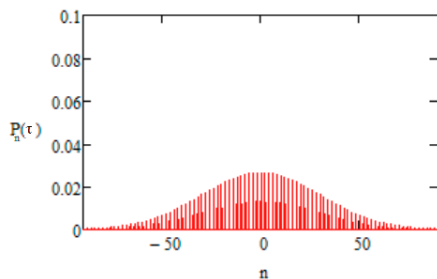


FIGURA 7. A distribuição P_n após 900 saltos.

Se a distância entre saltos consecutivos for a e o intervalo de tempo entre dois cliques consecutivos for Δt , então o desvio padrão nas posições da partícula escreve-se:

$$\sigma(t) = a\sqrt{\frac{t}{\Delta t}} = \sqrt{2Dt} \quad (17)$$

onde se identifica:

$$D = \frac{a^2}{2\Delta t} \quad (18)$$

Adiante será mostrado que D é o coeficiente de difusão para um conjunto de partículas imersas num fluido. A equação 17, devida a A. Einstein (1905) foi verificada por J. Perrin em 1908 através da observação ao microscópio do movimento aleatório de partículas suspensa num fluido. Por este trabalho, Perrin receberia o Prémio Nobel da Física de 1926.

Tendo a partícula partido da origem, tem interesse saber se à origem ela pode voltar, pela primeira vez, ao fim de um número arbitrário de saltos. É claro que, por exemplo, para dois saltos apenas, a partícula pode regressar à origem com probabilidade $\frac{1}{2}$, correspondente às transições $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ e $0 \rightarrow -1 \rightarrow 0$. Contudo, a partícula pode afastar-se muito da origem e, eventualmente, nunca a ela regressar. Para responder à questão, verifica-se que a solução formal da equação 3 é:

$$P_n(\tau) = [W^t]_{n,0} \quad (19)$$

onde a matriz W já foi definida, por exemplo, $W_{n,m} = \frac{1}{2}(\delta_{n,m+1} + \delta_{n,m-1})$. Então, formalmente, tem-se:

$$P_0(\tau) = [W^\tau]_{0,0} = \sum_{n_1} \sum_{n_2} \cdots \sum_{n_\tau} W_{0,n_1} W_{n_1,n_2} \cdots W_{n_\tau,0}$$

Há, assim, termos onde um ou mais dos índices podem tomar o valor 0, representando, pois, um retorno à origem. Designe-se por $R(\tau)$ a contribuição para $P_0(\tau)$ dos termos em que nenhum índice tem o valor 0, por exemplo, $R(\tau)$ é a probabilidade de a partícula regressar, pela primeira vez, à origem ao fim de τ saltos. Mas também há termos em que, apenas um índice qualquer, por exemplo n_{τ_1} é nulo, o que significa que a partícula regressa à origem ao fim de τ_1 saltos e volta a regressar ao fim de $\tau - \tau_1$ saltos; a soma destes termos é $\sum_{\tau_1} R(\tau_1)R(\tau - \tau_1)$.

Percebe-se como este processo se itera, obtendo-se:

$$P_0(\tau) = R(\tau) + \sum_{\tau_1} R(\tau_1)R(\tau - \tau_1) + \sum_{\tau_1} \sum_{\tau_2} R(\tau_1)R(\tau_2)R(\tau - \tau_1 - \tau_2) + \cdots \quad (20)$$

Definindo:

$$\tilde{P}_0(s) = \sum_{\tau=0}^{\infty} e^{-s\tau} P_0(\tau)$$

E, analogamente,

$$\tilde{R}(s) = \sum_{\tau=0}^{\infty} e^{-s\tau} R(\tau)$$

Conclui-se:

$$\tilde{P}_0(s) = \frac{\tilde{R}(s)}{1 - \tilde{R}(s)} \rightarrow \tilde{R}(s) = \frac{1}{1 + \tilde{P}_0^{-1}(s)}$$

O cálculo de $\tilde{P}_0(s)$ pode ser feito a partir das eqs. (13) e (10):

$$\tilde{P}_0(s) = \sum_{\tau=0}^{\infty} e^{-s\tau} \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dk (\cos k)^\tau = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dk \frac{1}{1 - e^{-s} \cos k}$$

Ora, a probabilidade de a partícula regressar à origem pela primeira vez seja qual for o número

de passos é, simplesmente, $\tilde{R}(0) = \frac{1}{1 + \tilde{P}_0^{-1}(0)}$. Mas $\tilde{P}_0(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dk \frac{1}{1 - \cos k} = \infty$,

pelo que $\tilde{R}(0) = 1$ - a partícula regressa certamente à origem. É interessante sublinhar que este resultado é exacto para o movimento aleatório a uma dimensão, sendo marginal para duas dimensões ($\tilde{P}_0(0)$ diverge logaritmicamente) e $\tilde{R}(0) = 0,603$ para três dimensões.

Passagem ao contínuo – difusão e equação de Fick.

Imagine-se que há N partículas independentes, cada uma executando um movimento aleatório descrito pela equação 1. É mais natural estudar tal sistema através de uma descrição macroscópica caracterizada por uma densidade $n(x, t) = NP(x, t)$ onde $P(x, t)$ é a versão de $P_n(\tau)$ para tempo e espaço contínuos. Para isso, aceita-se que a distância a entre pontos vizinhos atrás considerada, é um pequeno comprimento e que o tempo real Δt entre dois tiques do relógio é, também pequeno. Em ambos os casos, por pequeno entende-se que a densidade, e outras grandezas macroscópicas, pouco variam naqueles intervalos de espaço e tempo. Nestas condições, define-se:

$$P(x, t)a = P_n(\tau) \tag{21}$$

Com a correspondência:

$$x = na$$

$$t = \tau \Delta t$$

pelo que:

$$\begin{aligned} P(x \pm a, t)a &= P_{n \pm 1}(\tau) \\ P(x, t + \Delta t)a &= P_n(\tau + 1) \end{aligned}$$

Assim, a equação 1 fica:

$$P(x, t + \Delta t)a = [pP(x - a, t) + qP(x + a, t)]a$$

o que, depois de cancelar o factor a comum e de multiplicar por N , se converte em:

$$n(x, t + \Delta t) = pn(x - a, t) + qn(x + a, t)$$

Desenvolvendo até à 1.^a ordem no tempo e 2.^a ordem em x , obtém-se:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -v \frac{\partial n}{\partial x} + D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \quad (22)$$

onde:

$$v = (p - q) \frac{a}{\Delta t} \quad (23)$$

é a velocidade macroscópica da partícula; e:

$$D = \frac{a^2}{2\Delta t} \quad (24)$$

como atrás se encontrou. As eqs. (23) e (24) exibem o relacionamento de grandezas mensuráveis da partícula com grandezas definidas para o movimento Browniano.

A versão no contínuo da condição inicial definida pela equação 2 fica:

$$n(x, 0) = \frac{\delta_{n,0}}{a} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{dk}{a} e^{ikn} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{a}}^{\frac{\pi}{a}} dq e^{iqx} \xrightarrow{a \rightarrow 0} \delta(x) \quad (25)$$

onde se usou a equação 12. O resultado final é a distribuição δ de Dirac.

A equação 22 tem a forma de uma lei de conservação (cf. a lei de conservação de carga em Electromagnetismo). Trata-se, de facto da conservação do número total de partículas. Rescrevendo aquela equação:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = - \frac{\partial J}{\partial x} \quad (26)$$

com:

$$J(x, t) = vn(x, t) - D \frac{\partial n}{\partial x} \quad (27)$$

Quando o trabalho não é a variação de energia cinética.

J. M. B. Lopes dos Santos

Universidade do Porto

Um dos primeiros resultados habitualmente deduzidos da segunda lei de Newton é o celebrado teorema da energia cinética: o trabalho das forças externas aplicadas a um corpo entre dois instantes é a variação da sua energia cinética. Embora seja este o seu enunciado comum, neste artigo mostrarei que este enunciado está incorreto por haver situações em que não traduz o conteúdo do teorema. Essas situações são instrutivas.

Da segunda lei de Newton,

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

decorre facilmente o chamado teorema da energia cinética. Tomando o produto escalar de ambos os membros pela velocidade do corpo, \vec{v} .

$$\vec{F} \cdot \vec{v} = m \vec{a} \cdot \vec{v} \quad (1)$$

Daqui podíamos facilmente obter o teorema de energia cinética na forma mais geral, usando derivação e integração; esses conceitos não são necessários no caso de força constante. A dedução é menos elegante mas mais acessível.

Nesse caso, o movimento é uniformemente acelerado e

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t) = \vec{a} \Delta t \quad (2)$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{v}(t) \Delta t + \frac{1}{2} \vec{a} \Delta t^2 \quad (3)$$

O trabalho realizado no deslocamento $\Delta \vec{r}$

$$\vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = \vec{F} \cdot \vec{v} \Delta t + \frac{1}{2} \vec{F} \cdot \vec{a} \Delta t^2 \quad (4)$$

Usando a segunda Lei de Newton:

$$\vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = m \vec{a} \cdot \vec{v} \Delta t + \frac{1}{2} m a^2 \Delta t^2 = m \Delta \vec{v} \cdot \vec{v} + \frac{1}{2} m \Delta v^2 \quad (5)$$

O segundo membro é a variação de energia cinética

$$m\Delta \vec{v} \cdot \vec{v} + \frac{1}{2}m\Delta v^2 = \frac{m}{2}[(\vec{v} + \Delta \vec{v})^2 - \vec{v}^2] \quad (6)$$

Que há de errado neste dedução? Nada. Este resultado,

$$\vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right) \quad (7)$$

é de aplicação tão universal como a segunda lei de Newton, apesar de só o termos demonstrado no caso de força constante. É então sempre verdade que o trabalho das forças externas é a variação de energia cinética?

Não! De seguida vamos analisar dois exemplos que clarificam esta questão. No primeiro caso, o trabalho das forças externas é negativo e a energia cinética aumenta e, no segundo caso, o trabalho das forças externas é o dobro da variação da energia cinética.

Saltar.

Consta que todos os mamíferos, à exceção do elefante, aprendem a saltar. Para bípedes, como os humanos, a ação consiste em começar por fletir as duas pernas, depois empurrar o chão, esticando-as; os pés perdem contacto com o solo na extensão máxima das pernas e pés. Que força externa é responsável pelo movimento ascendente do centro de massa da pessoa que salta?

Obviamente, a força exercida pelo solo nos seus pés durante a extensão. Se o centro de massa subir uma distância h , entre o início do movimento das pernas e o momento em que os pés perdem contacto com o solo, temos, se admitirmos que a força externa F_e é constante,

$$\vec{F} \cdot \Delta \vec{r} = (F_e - mg)h \quad (8)$$

Pelo teorema da energia cinética,

$$\Delta E_c = \frac{1}{2}m(v_{cm}^2 - 0) = (F_e - mg)h \quad (9)$$

ou seja,

$$v_{cm}^2 = 2\left(\frac{F_e - mg}{m}\right)h \quad (10)$$

Certo? Sem dúvida, limitamo-nos a aplicar o teorema de energia cinética a este exemplo.

Mas pensemos um pouco. A força do solo está aplicada na planta dos pés. Enquanto estes estão em contacto com o solo, o seu deslocamento é nulo; quando perdem contacto com o solo, a força F_e anula-se. A conclusão só pode ser uma: o trabalho da força do solo é nulo! O único trabalho externo é o do peso e este é negativo. Mas a variação de energia cinética é positiva. Por isso o trabalho das forças externas não é a variação de energia cinética.

Aqui reside o equívoco. O primeiro membro do teorema da energia cinética não é o trabalho das forças externas. É simplesmente o valor do produto da resultante das forças externas pelo deslocamento do centro de massa. Parece um trabalho, mas nem sempre é. No caso do salto não é!

Aliás seria estranho se fosse. A realização de trabalho assinala uma transferência de energia. Ora, não é do solo que vem a energia que surge como energia de translação do centro de massa. Era bom! Se assim fosse, poderíamos estar meia-hora aos pulos sem nos cansarmos. De onde vem então essa energia?

Da energia interna do corpo que salta. A interação com o solo permite a transferência de energia interna para energia de translação do centro de massa (pela lei da inércia esta transformação seria impossível para um corpo isolado), mas o que o solo transfere não é energia – não realiza trabalho – mas sim momento linear: a força é a taxa de transferência de momento, do solo para o corpo que salta. Contudo, reafirmo, não há nada de errado com o resultado deduzido para a velocidade do centro de massa. Mas é errado pensar a respetiva dedução em termos de balanço de energia!

Em abono da verdade, a maior parte dos manuais apresenta o teorema de energia cinética no contexto da mecânica de uma partícula material, caso em que $\vec{F} \cdot \Delta \vec{r}$ é efetivamente o trabalho das forças externas. Mas ao mesmo tempo, os exercícios e problemas propostos referem-se quase sempre a corpos extensos. O teorema mantém exatamente a mesma forma, mas é importante lembrar que, nesse caso, $\vec{F} \cdot \Delta r$ pode não ser o trabalho das forças externas sobre o corpo.

Arrastado pelo elétrico.

O segundo exemplo é mais curioso e muito menos discutido.

Quem conhece os elétricos que ainda circulam no Porto e em Lisboa, sabe que não têm portas (ou as têm abertas) e que a entrada se faz por um degrau com um corrimão vertical. Na minha adolescência era, sem dúvida, o meio de transporte mais usado na cidade do Porto. Muitas vezes, já com o elétrico em movimento, agarrávamos o corrimão e éramos arrastados para o degrau. Ninguém dentro do elétrico sentia qualquer variação de velocidade do mesmo, como consequência deste evento: a variação de velocidade do elétrico era desprezável.

É precisamente esta situação que pretendo examinar. Um corpo, inicialmente em repouso, é atuado por uma força cujo ponto de aplicação se desloca a velocidade constante como no caso do elétrico, ou de um(a) ciclista que se atrela a um camião TIR em movimento. Eventualmente o corpo acaba por ter a mesma velocidade que o ponto de aplicação da força. Neste caso, como veremos, o trabalho da força externa é o dobro da variação de energia cinética de translação.

Este resultado prova-se com grande facilidade. O trabalho num pequeno (infinitesimal) intervalo de tempo $[t, t + dt]$ é

$$\vec{F}(t) \cdot \vec{v} dt \quad (11)$$

Note-se que estamos a admitir que a força não é constante. Para obter o trabalho total temos de integrar no tempo. Mas a velocidade do ponto de aplicação, ao contrário da força, é constante, pelo que

$$W = \left[\int_{t_0}^{t_f} \vec{F}(t) dt \right] \cdot \vec{v} \quad (12)$$

Este integral designa-se por impulso, e, por integração direta da segunda lei de Newton, é a variação de momento linear do corpo. Se este estava parado inicialmente e tem velocidade \vec{v} no final do processo,

$$W = \vec{I} \cdot \vec{v} = m \vec{v} \cdot \vec{v} = 2E_c \quad (13)$$

A força externa realizou o dobro do trabalho necessário para a variação de energia cinética do corpo. Isto é transferiu o dobro da energia que aparece como energia de translação. Onde está o que resta, que é outro tanto? Ninguém disse nada sobre atrito; não deveria haver conservação de energia?

Essa é uma das lições a tirar deste exemplo. Cuidado com a conservação de energia! Ninguém falou de atrito porque não era necessário. O processo em si, tal como foi descrito, implica dissipação de energia no interior do corpo que é arrastado. Imaginemos, por exemplo, que o corpo é uma cadeia de elos entrelaçados inicialmente enrolada em repouso. Engatamos um elo na extremidade da cadeia e puxamos com velocidade constante. A cadeia desenrola e, nesse processo, cada elo colide com o seguinte. Para que, no final, todos se desloquem com a velocidade de arrastamento, estas colisões são inelásticas e dissipam energia. O que surpreende é que, dadas as condições inicial e final, os pormenores são irrelevantes: a energia dissipada é igual à energia cinética final de translação.

Há um caso em que podemos analisar com mais pormenor este processo, para chegar a esta mesma conclusão.

Barra elástica.

O corpo que vamos arrastar é uma barra elástica, inicialmente em repouso. Impomos numa extremidade uma velocidade constante \vec{v} . Qual é o movimento da barra?

Tratar a barra como um corpo rígido não serve neste caso. Pensemos na metade de trás da barra. Esta não acelera enquanto não existir uma extensão da metade dianteira que origine uma força elástica. O que vamos ter é uma onda de deformação elástica que se vai propagar da frente para trás na barra. A barra não estará toda em movimento até que essa onda a percorra de uma ponta à outra, ou seja, até que tenha decorrido um tempo $\Delta t = L/c_s$, em que L é o comprimento da barra e c_s a velocidade de propagação de ondas longitudinais (som) (FIGURA 1).

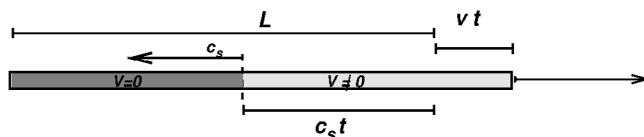


FIGURA 1. Se puxarmos a extremidade direita com velocidade constante, criamos um frente de choque que se desloca para a esquerda com a velocidade do som. À direita a velocidade é não nula e à esquerda da frente de choque a barra ainda está parada.

Para resolver este problema temos de escrever as equações de elasticidade do corpo e resolvê-las com as condições dadas: barra inicialmente em repouso e extremidade com velocidade \vec{v} para $t > 0$.

A solução é simples e curiosa. Em cada instante t há um comprimento $l(t)$ da barra com velocidade \vec{v} à frente e uma parte de trás com comprimento $L - c_s t$ parada. Há uma frente de choque (descontinuidade da velocidade) que se desloca para trás na barra à velocidade do som na barra. Esta onda atinge a extremidade traseira da barra passado um tempo $\Delta t = L/c_s$.

O comprimento da barra, nesse instante, é fácil de calcular: a extremidade traseira da barra ainda está na sua posição inicial e a da frente deslocou-se $v\Delta t$. A variação de comprimento é

$$\Delta L = v\Delta t = \frac{v}{c_s} L \quad (14)$$

Nesse momento temos uma energia de deformação elástica da barra

$$E_p = \frac{1}{2} k \Delta L^2 \quad (15)$$

A constante de mola da barra obtém-se da lei de Young (E módulo de Young e A área da secção transversal da barra)

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L} \quad (16)$$

ou $F = k\Delta L$, com $k = EA/L$.

A energia elástica é

$$E_p = \frac{1}{2} \left(\frac{EA}{L} \right) \Delta L^2 = \frac{1}{2} (EAL) \left(\frac{v}{c_s} \right)^2 \quad (17)$$

A velocidade do som é $c_s = \sqrt{E/\rho}$, em que ρ é a densidade, e o resultado final é

$$E_p = \frac{1}{2} (\rho AL) v^2 = \frac{1}{2} m v^2 \quad (18)$$

Neste caso, o trabalho da força externa aparece como variação de energia cinética de translação e como energia de deformação elástica da barra. Posteriormente a barra vai ficar a vibrar com uma energia de oscilação igual à sua energia de translação. A conservação de energia não falha; mas, às vezes, é mais difícil encontrar todos os seus termos do que aplicar a segunda lei!

Conclusão.

O teorema de energia cinética (equação 7) tem validade universal pois pode ser deduzido da segunda lei de Newton. Contudo, é incorreto interpretar o termo $\vec{F} \cdot \vec{\Delta r}$ como sendo o trabalho das forças externas; é apenas o produto escalar da resultante das forças externas pelo deslocamento do centro de massa. Vimos exemplos em que o trabalho externo pode ser maior que este produto ou até ter sinal oposto. O teorema da energia cinética não é uma equação de balanço de energia.

Física dos ultrassons.

Formação de imagem em ecografia

José Manuel Marques Martins de Almeida

DF/UTAD

ARTIGO

20

A utilização das ondas de ultrassons está em constante expansão. Em medicina são usados para triagem e diagnóstico de diversas doenças e patologias. A qualidade dos cuidados médicos depende da interpretação das imagens obtidas por ondas de ultrassons. Os profissionais que utilizam ultrassonografia devem compreender os princípios fundamentais da tecnologia que origina imagens otimizadas. Apresentam-se conceitos e princípios físicos fundamentais, tais como a frequência, o comprimento de onda, a velocidade de propagação e a impedância acústica, necessários para compreender as aplicações das ondas de ultrassons à medicina, nomeadamente na formação de imagem. Discute-se a geração, a deteção e propagação deste tipo de ondas. Expõem-se os fenómenos físicos associados à interação dos ultrassons com os tecidos orgânicos incluindo os fenómenos de propagação e interação dessas ondas mecânicas, nomeadamente reflexão, refração e absorção, para compreender a formação de imagem através de ondas de ultrassons. Expõem-se sumariamente o efeito Doppler e o seu uso na determinação de velocidade de estruturas e fluidos orgânicos.

1. Introdução.

As ondas sonoras são vibrações da densidade ou pressão de um meio material (gasoso, líquido ou sólido) que se propagam, a partir de uma fonte, na forma de ondas mecânicas. Ondas de ultrassons são também ondas mecânicas mas com frequência maior que a banda audível para seres humanos. Estas ondas são vibrações mecânicas; longitudinais quando transmitidas através de meios gasosos e líquidos e longitudinais e transversais quando transmitidas através de meios sólidos isotrópicos, de que as ondas sísmicas são exemplo. Propagam-se na forma de ondas de compressão e rarefação, não podem viajar no vácuo e viajam a uma velocidade específica do meio, com velocidade maior em meios mais densos.

As ondas de ultrassons possuem propriedades e características únicas, incluindo frequências mais altas do que as ondas sonoras, o que permite diferentes aplicações baseadas na capacidade de resolução e penetração, que varia conforme a frequência utilizada. Possuem densidade energética que lhes permita serem transmitidas a grande distância e produzir calor intenso quando atravessam a matéria e são capazes de gerar vibrações visíveis em líquidos de baixa viscosidade.

Ao propagarem-se através de um meio sofrem reflexão, refração e absorção e, portanto, embora uma parte da energia seja dissipada e espalhada, alguma energia é refletida de volta ao emissor, habitualmente designado por transdutor. As ondas refletidas podem ser detetadas pelo mesmo transdutor e, eventualmente, processadas dando origem à formação de imagens que dependem das características dos meios onde se propagam esses sinais. As imagens formadas a partir de ultrassons são comumente usadas em ultrassonografia para gerar imagens de tecidos e órgãos, sendo um instrumento clínico que pode ajudar o médico a avaliar, diagnosticar e tratar condições de saúde.

Neste artigo são discutidos os princípios de geração de ultrassons e suas propriedades físicas que originam a geração de imagens e apresentam-se alguns exemplos práticos.

2. Geração e propagação de ultrassons.

Um sistema emissor de ultrassons consiste num transdutor constituído por cristais piezoelétricos, usualmente *Lead Zirconate Titanate* (PZT), que vibram quando estimulados por uma tensão elétrica, tal como ilustrado na FIGURA 1, sendo essas vibrações transmitidas às partículas vizinhas, dando origem a uma onda mecânica.

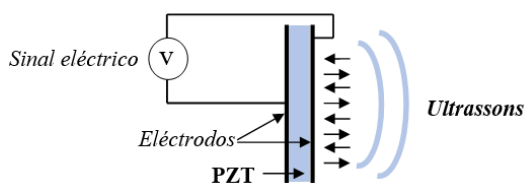


FIGURA 1. Esquema genérico de um transdutor de ultrassons.

Como resultado dessas vibrações energia é transferida para o meio circundante na forma de energia térmica, mas parte da energia é usada para comprimir e expandir o meio circundante, criando variações locais de pressão. Essas regiões de alta e baixa pressão movem-se como ondas de pressão longitudinais (ondas mecânicas) com a mesma frequência do transdutor. As ondas de ultrassons no ar e na maioria dos fluidos são longitudinais, porque os fluidos têm pequena resistência ao cisalhamento, mas em meios sólidos podem ser longitudinais e transversais.

A FIGURA 2 A) ilustra as variações de pressão ao longo da direção de propagação e o correspondente gráfico dessas variações em função da distância ao transdutor. Durante meio período o transdutor move-se no sentido positivo e desloca as partículas do meio das posições de equilíbrio; no meio período seguinte o transdutor move-se no sentido negativo e as partículas deslocam-se em sentido oposto devido a uma pressão menor. Assim, as partículas oscilam com um movimento harmónico simples em torno de suas posições de equilíbrio, tal como ilustrado na FIGURA 2 B). Note-se que neste exemplo as ondas mecânicas são longitudinais pois estas propagam-se na direção x e as partículas do meio oscilam (vibram) paralelamente a essa direção.

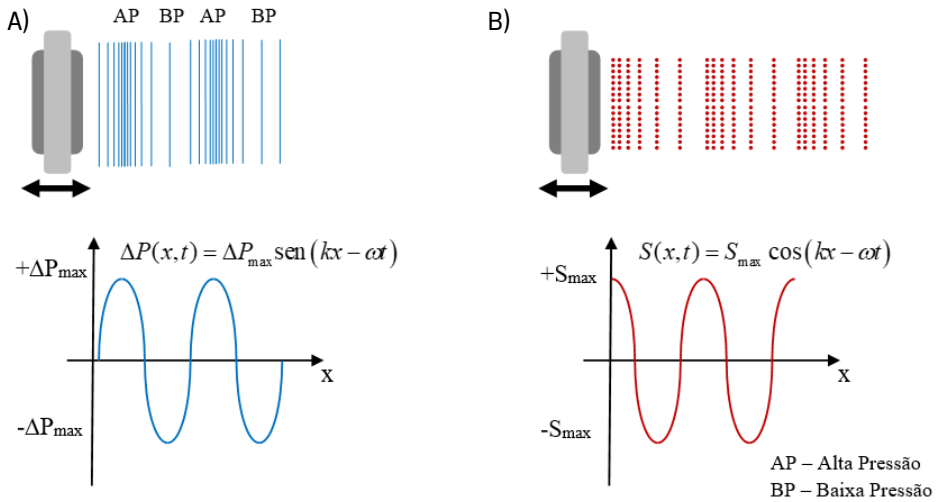


FIGURA 2. A) O transdutor vibra no sentido $+x$ e comprime o meio à frente. À medida que o transdutor oscila cria regiões de alta e baixa pressão que se movimentam para direita. A onda de pressão é representada por uma função sinusoidal. B) O gráfico mostra o deslocamento das partículas do meio em função da posição e é representado por uma função cosseno.

Frequência e comprimento de onda.

Por definição, os ultrassons são ondas sonoras que excedem a frequência audível para seres humanos que vai de 20 Hz a 20 kHz. A unidade Hz (Hertz) ou “ciclos por segundo”, é a unidade de frequência. A periodicidade espacial das ondas é denominada comprimento de onda; é a distância entre pontos com as mesmas características de uma determinada da onda. Essa distância pode ser a que separa pontos de máxima (ou mínima) compressão. A frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda, portanto, quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

em que v é a velocidade da onda, f é a frequência e λ é o comprimento de onda.

3. Interação dos ultrassons com os tecidos.

À medida que uma onda de ultrassons se propaga, encontra diferentes estruturas no seu percurso. A interação resulta em atenuação (diminuição da intensidade da onda) devido à absorção, à reflexão e ao espalhamento, e em refração.

A velocidade com que os ultrassons se propagam depende do meio envolvente. Em tecidos moles, a velocidade média de propagação dos ultrassons é 1540 m/s. A velocidade de propagação também depende da compressibilidade e da densidade de um determinado meio. Estruturas mais densas, como por exemplo ossos, são caracterizados por velocidade de propagação mais elevada.

3.1. Impedância acústica específica.

Os vários tecidos que a onda de ultrassons encontra no seu percurso possuem diferente massa específica, ρ , expressa em $kg.m^{-3}$ no Sistema Internacional (SI), e a impedância acústica

específica, z , que é definida como o quociente entre a pressão sonora e a velocidade de propagação dos ultrassons nos tecidos em estudo:

$$z = \frac{p}{v} \quad (1)$$

que se expressa em *rayl* no SI: ($\frac{Pa}{ms^{-1}} = kg\ m^{-2}\ s^{-1} = rayl$), e que também pode ser escrita como o produto da massa específica pela velocidade de propagação: $z = \rho \cdot v$ (e no SI vem: $kg \cdot m^{-3} \cdot ms^{-1} = kg\ m^{-2}\ s^{-1} = rayl$, de modo coerente). Como,

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

para ondas mecânicas longitudinais vem, $z = \sqrt{E\rho}$, ou seja, quanto maior o valor do módulo de Young (E) maior é a impedância acústica específica.

A TABELA 1 apresenta os valores da velocidade de propagação, da massa específica e da impedância acústica específica para vários materiais e tecidos orgânicos.

3.2. Reflexão e Refração.

De acordo com a lei de Snell-Descartes quando uma onda eletromagnética passa através de uma interface entre dois materiais com índices de refração diferentes são produzidas ondas refletidas e refratadas. O mesmo princípio pode ser aplicado a ondas de ultrassons. Tal como ilustrado na FIGURA 3 quando uma onda se propaga em dois meios com impedância acústica específica diferente existem ondas refletidas e refratadas. A Lei de Snell-Descartes descreve a relação entre os ângulos θ_i , θ_r e θ_t e as velocidades das ondas, v_1 e v_2 nos meios 1 e 2. Para a reflexão e para a refração tem-se, respetivamente,

$$\theta_i = \theta_r \text{ e } \frac{\text{sen}\theta_i}{\text{sen}\theta_t} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (3)$$

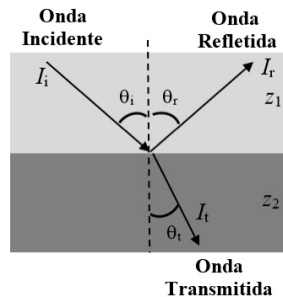


FIGURA 3. Ondas incidente, refletida e refratada em dois meios com impedância acústica específica z_1 e z_2 . A relação entre os ângulos θ_i , θ_r e θ_t é dada pela equação 3.

Sendo I_i, I_r e I_t as intensidades das ondas incidente, refletida e refratada (expressa em Wm^{-2}), por conservação de energia, tem-se que $I_i = I_r + I_t$.

De acordo com as leis de Fresnel quando uma onda eletromagnética passa através de uma interface entre dois materiais com índices de refração diferentes existe uma relação entre I_i, I_r e I_t . Tal como anteriormente, estas leis podem ser aplicadas a ondas de ultrassons. A relação entre a intensidade da onda incidente e a intensidade das ondas refletida e refratada é dada por,

$$I_r = I_i \left(\frac{z_1 \cos \theta_t - z_2 \cos \theta_i}{z_1 \cos \theta_t + z_2 \cos \theta_i} \right)^2 \text{ e } I_t = I_i \left[\frac{4z_1 z_2 \cos \theta_t \cos \theta_i}{(z_1 \cos \theta_t + z_2 \cos \theta_i)^2} \right] \quad (4)$$

Um caso particular é aquele em que a onda incidente é perpendicular á interface, $\theta_i = 0$. Neste caso vem $\theta_r = 0$ e $\theta_t = 0$ e as equações ficam simplificadas, sendo as intensidades refletida e transmitida dadas agora por:

$$I_r = I_i \left(\frac{z_1 - z_2}{z_1 + z_2} \right)^2 \text{ e } I_t = I_i \left[\frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)^2} \right] \quad (5)$$

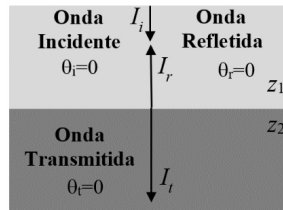


FIGURA 4. Caso particular em que a onda incidente é perpendicular à interface ($\theta_i = 0$).

Tecidos com elevado valor da impedância acústica específica refletem fortemente a onda incidente (eco forte) e uma fração da intensidade presente na onda incidente será refletida na interface entre os dois tecidos. Materiais como ossos tem grande impedância acústica específica e podem refletir uma fração apreciável da intensidade da onda incidente. Materiais com impedância acústica específica semelhante à do meio de onde provém a onda incidente permitem que a onda se propague sem reflexão significativa, originando uma onda refratada com intensidade significativa.

Na FIGURA 5 ilustra-se a intensidade refletida, normalizada á intensidade da onda incidente, na superfície de separação entre dois meios com impedância acústica específica z_1 e z_2 , em função da diferença $z_2 - z_1$. Note-se que quando $z_2 = z_1$ a intensidade da onda refletida é nula e, portanto não haverá uma onda refletida de volta ao transdutor que originou essa onda e, assim, essa superfície de separação não seria visualizada num exame medico.

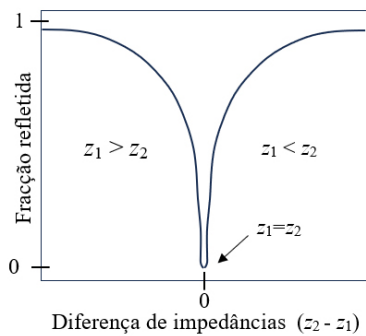


FIGURA 5. Fração da intensidade da onda refletida em relação á intensidade da onda incidente na superfície de separação entre dois meios com impedância acústica específica z_1 e z_2 , em função da diferença $z_2 - z_1$.

Salvaguarda da biodiversidade.

De uma ação local sobre a planta da camarinha a iniciativas pelo planeta a diversos níveis e sua governação global.

Maria Alexandra Abreu Lima *, **Peter Pitrez ‡**, **Lia Vasconcelos ***

* MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente | ‡ DRI/Secretaria-Geral do Ambiente

Neste artigo descreve-se uma ação local para travar a perda de biodiversidade na zona costeira Norte de Portugal, em Caminha, dado o decréscimo da população de camarinhas da Foz do Minho. Estabelece-se a ligação a aspetos relacionados com as iniciativas dos [Objetivos de Desenvolvimento Local do Planeta](#) e a governação global da biodiversidade que incluem as Conferências das Partes (COP) da Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica (CDB).

Perda de biodiversidade – dados gerais e o risco de extinção de camarinhas.

Estima-se que cerca de 40 a 45% das espécies de plantas vasculares descritas estejam ameaçadas a nível global, com o risco de que algumas possam vir a ser extintas, mesmo antes de serem descritas. Estes autores consideram urgente a recolha e preservação da diversidade vegetal global, dado o valor intrínseco, para salvaguardar os ecossistemas, para aumentar o bem-estar e o conhecimento das pessoas sobre este assunto.

Nesta perspetiva, e com o intuito de consciencializar os jovens sobre uma planta relativamente pouco conhecida – a camarinha ou camarinheira, de nome científico *Corema album* (L.) D. Don, cujas plantas femininas desta espécie dão frutos comestíveis (as camarinhas), de peculiar cor branca ou tom rosado. Desde 2016, tem-se vindo a desenvolver o projeto *Explorar Matos de Camarinha da Costa – Emc²*. Este projeto divulga a camarinha, uma espécie dióica, que, por só existir em Portugal, Espanha e em algumas ilhas açorianas, é um caso de endemismo ibérico.

Esta planta é referida no Programa Operacional da Administração Pública Portuguesa para a Conservação e Melhoramento dos Recursos Genéticos Florestais, como uma espécie autóctone, ameaçada e de elevado valor de conservação. Em Portugal continental, uma população de camarinhas que estava ameaçada e em acentuado declínio era a população de camarinhas da Foz do Minho, que existe na duna da praia de Moledo e na Mata do Camarido (Caminha). As primeiras ações em sua defesa foram realizadas, desde 1988, pela associação de defesa do ambiente COREMA.



FIGURA 1. Planta feminina de camarinheira com frutos brancos "camarinhas".

Posteriormente, o declínio desta população progrediu, conforme registos datados de 1995 e 2007, reportados em 2010, no Plano de Gestão Florestal da Mata Nacional do Camarido. Dado o acentuado declínio desta população, foi decidido avançar-se, em outubro de 2017, no âmbito do projeto Emc², com uma iniciativa de propagação de camarinhas por estacaria. Esta ação teve o apoio da equipa do Investigador Pedro Oliveira, a colaboração de associados da Associação COREMA, o apoio da União de Freguesias de Moledo e Cristelo, do Município de Caminha e a participação ativa de Professores de Escolas de Caminha. Desde então, o projeto Emc² tem vindo a capacitar os jovens das escolas de Caminha a colaborar na conservação desta população de camarinhas.

A primeira reintrodução de plantas na natureza obtidas por estacaria que decorreu em 2018, foi bem sucedida e divulgada quer a nível nacional, como internacional, com inclusão desde 2021, no [Portal Mundial "Panorama Solutions"](#).

As mais recentes ações de propagação por estacaria estão a decorrer com a colaboração do Viveiro "Raíz da Terra" (Vile, Caminha), onde milhares de estacas estão em enraizamento.

Esta propagação de camarinhas é importante para travar o desaparecimento desta planta nas zonas costeiras. Numa visita à zona costeira de Montedor (Norte de Portugal), em junho de 2024, com o intuito de aí verificar a ocorrência de camarinhas, não foi possível encontrar esta espécie arbustiva, outrora aí existente.

Deste modo, é provável ter ocorrido o seu desaparecimento local, processo designado como extirpação, que nos deve servir de alerta para a atual crise de biodiversidade e perda do nosso património natural.



FIGURA 2. Planta de camarinha obtida por estacaria que após reintrodução na natureza em 2018, frutificou em 2021.

Estudos sobre a área de distribuição da camarinha nas últimas duas décadas, mostraram a sua regressão, com o seu desaparecimento em várias zonas da costa ocidental da Península Ibérica, devido a diversos fatores, entre os quais, a ameaça de espécies invasoras, efeitos das alterações climáticas e a fragmentação de *habitat*.



FIGURA 3. Propagação por estacaria nos Viveiros "Raiz da Terra".

Nas zonas costeiras a fragmentação do *habitat* deve-se frequentemente à pressão urbanística como sucede na zona de Tróia, com destruição da biodiversidade local, a qual tem sido alvo de contestação por organizações de defesa do ambiente (LPN, s.d).

Aos alunos participantes no projeto Emc² é explicado o valor dos espécimes guardados em herbários pois o processo de extirpação de camarinhas, ou seja, o seu desaparecimento a nível local, pode ser inferido pela análise comparativa entre os registos existentes em herbário e a sua atual ocorrência na natureza. Constatou-se que as camarinhas de Montedor devem ter desaparecido e já só existem em herbário (ex.: espécime colhido em Montedor, junho de 1886). Muitos outros casos de espécimes de camarinha existentes em herbário, e igualmente coletados em finais do século XIX, ainda existem na natureza (ex.: Ovar, Quiaios, Tróia e Sagres). Portanto, neste caso de Montedor, a ameaça de plantas invasoras, sobretudo acácias, poderá ter sido, entre outras causas, um dos principais fatores da extirpação de camarinhas, um exemplo que deve servir de alerta para se evitar que tal aconteça futuramente, em outras zonas costeiras. Para além das acácias, outra planta invasora da zona costeira é o chorão-da-praia, *Carpobrotus edulis* (L.) N. E. Br. (escolhida no projeto Emc² como caso-de-estudo de planta invasora).

A extirpação é prejudicial para a sobrevivência das espécies pois o desaparecimento de populações num dado local, através de ações levadas a cabo pelo Homem ou devido a outras causas, provoca danos no funcionamento dos ecossistemas e reduz a diversidade genética das espécies. Isto significa que muitas espécies se tornam menos resilientes às alterações ambientais, biológicas e ecológicas, e acabam por ficar mais vulneráveis ao seu desaparecimento a nível global, ou seja, à sua extinção.

O projeto Emc² *Explorar Matos de Camarinha da Costa* é ilustrativo de que só se protege o que se conhece, e de que a educação sobre a importância e a diversidade das plantas são componentes essenciais da sua conservação. A conservação das camarinhas de Caminha irá prosseguir, com novas etapas de estacaria, pelo que se deseja ir a tempo de travar a extirpação de camarinhas neste local. Paralelamente à multiplicação por estacaria está a ser testada a multiplicação por semente, que garante variabilidade genética, de acordo com um protocolo já testado e publicado.

Governança global da biodiversidade.

A governança global da biodiversidade é um sistema complexo e interligado que envolve Governos, Organizações Internacionais, Empresas, Comunidades Locais e Sociedade Civil, que trabalham em conjunto para travar a perda de biodiversidade, e quando possível, promover o restauro ecológico, de forma a garantir um futuro sustentável para a vida na Terra.

Para os países que fazem parte da União Europeia (UE), como é o caso de Portugal, a Governança Global tem mais um nível de complexidade a acrescentar, pois para além de ter de implementar as Convenções Internacionais que ratificaram, precisam ainda transpor toda a legislação da UE, que muitas vezes é mais ambiciosa e possui uma maior monitorização por parte da Comissão Europeia e do Tribunal de Justiça da UE, do que as próprias Convenções. Neste artigo abordar-se-á apenas a Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica (CDB).

Pode-se afirmar que a governança global ganhou mais força em 1992 com a adoção das Convenções do Rio (Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, Con-

venção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos Países Afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, particularmente em África).

A CDB tem três objetivos principais que são “a conservação da diversidade biológica; o uso sustentável de seus componentes; e a partilha justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos, inclusive por meio do acesso adequado aos recursos genéticos” (artigo 1.º da CDB). Portugal ratificou esta Convenção, tornando-se Parte, em 1993, através do Decreto n.º 21/93, de 21 de junho.

A CDB representou um grande avanço no tratamento das questões ligadas à Biodiversidade, “de caráter vanguardista na esfera jurídica internacional”, visto ser a primeira vez que uma convenção internacional abrange as complexas questões da diversidade biológica. Em termos institucionais e normativos pode-se erigir a CDB como o marco para as novas abordagens políticas e económicas, uma vez que é juridicamente vinculativa. A CDB foi inovadora ao estabelecer que os Estados são soberanos sobre os seus recursos naturais (artigo 3.º da CDB), sendo a biodiversidade um bem intangível.

Após a sua adoção, foram desenvolvidos protocolos e acordos internacionais para abordar questões específicas, como a biossegurança e o acesso aos recursos genéticos. Além disso, a CDB estimulou a criação de áreas protegidas e a implementação de planos nacionais de biodiversidade, sendo obrigação de cada país reportar, a cada dois anos, a evolução dos seus Planos Nacionais (artigo 6.º da CDB). É nestes Planos Nacionais que os países informam todo o trabalho a nível nacional que está a ser desenvolvido para reduzir a perda de biodiversidade e conservá-la, sendo de referir que atualmente é também solicitada informação sobre os trabalhos de restauro da fauna e flora de cada país.

Apesar dos esforços da CDB, a perda de biodiversidade continuou a acelerar em todo o mundo, sendo de referir que a década de 2010 foi marcada por um crescente reconhecimento da crise da biodiversidade e da necessidade de uma ação mais ambiciosa. Assim, em 2010, as Partes da CDB adotaram o Plano Estratégico para a Biodiversidade 2011–2020, denominadas Metas de Aichi para a Biodiversidade, que eram compostas por 20 metas voltadas para a redução da perda da biodiversidade a nível mundial. Contudo, apesar dos esforços globais, estas Metas não foram alcançadas. Nessa medida, em 2022, após anos de negociações, as Partes da CDB adotaram o Quadro Global de Biodiversidade de Kunming–Montreal (*Global Biodiversity Framework Kunming–Montreal* – GBF). Este marco representa um avanço significativo na conservação da biodiversidade, estabelecendo metas ambiciosas e um plano de ação para a próxima década, que servirá também para alcançar a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.

Pantanal Brasileiro.

Bioma de Água e Carbono

Ernandes Sobreira Oliveira Junior, Thiago Ferreira Pereira, Josiane S. B. Carioca de Paula

CPL/ BEP/ U. Estado de Mato Grosso

O Pantanal é a maior área úmida contínua do planeta e devido ao seu pulso de inundação revela uma importante contribuição no ciclo do carbono. O ciclo de entrada e saída de água também reflete em entrada e saída de carbono no Pantanal, o qual, por sua vez, impacta na regulação climática regional e global e na sustentabilidade ambiental. A compreensão dos ciclos biogeoquímicos neste bioma são fundamentais para auxiliar nos debates sobre as mudanças climáticas e sobre a conservação da biodiversidade.

O Pantanal, um vasto ecossistema de zonas úmidas localizado na América do Sul, é o maior do tipo em regiões tropicais e se estende por partes do Brasil, Bolívia e Paraguai. Este bioma apresenta características únicas que reúne uma biodiversidade esplêndida, com muitas espécies resilientes ao chamado “Pulso de Inundação” das águas pantaneiras. Esse fluxo de águas, ora garantindo o ambiente inundado, ora com ele bastante seco, atua em um significativo fluxo de entrada e saída de carbono.



O ciclo de carbono no Pantanal é influenciado por diversos fatores, principalmente considerando a complexidade que é o bioma. No Pantanal são encontrados diferentes compartimentos

ambientais, incluindo a vegetação aquática e terrestre, os solos e os corpos d'água. É certo que esses tipos de ambientes existem em vários outros biomas, mas no Pantanal há uma situação bastante peculiar (FIGURA 1). Durante os meses de outubro a março, as chuvas transformam o Pantanal em um imenso reservatório de água, que lentamente drena entre abril e setembro. Esta dinâmica hidrológica não apenas sustenta a rica biodiversidade local, mas também promove a captura e o armazenamento de carbono através das plantas e do solo saturado.



FIGURA 1. Desenho exemplificando os períodos conhecidos como cheia e estiagem no Pantanal. À esquerda o ambiente se caracteriza com grande quantidade de água, favorável ao crescimento de plantas aquáticas e maior escoamento de água, principalmente para as áreas conhecidas como várzeas, onde estão várias árvores e arbustos. Já à direita está demonstrado o ambiente seco, com o solo rachado e plantas perdendo as folhas e/ou mortas após o período de estiagem. (Esta figura foi construída com auxílio de Inteligência Artificial)

De fato, os ecossistemas aquáticos do Pantanal são particularmente importantes para o ciclo do carbono, pois as áreas inundadas promovem uma interação intensa entre a água e o carbono orgânico e inorgânico. Além disso, as vastas pastagens e florestas do Pantanal sequestram grandes quantidades de carbono, principalmente nos períodos de crescimento, e devolvem este carbono na decomposição da biomassa.

Especificamente, as plantas aquáticas e terrestres do Pantanal absorvem o Dióxido de Carbono (CO_2) da atmosfera durante o processo de fotossíntese. Este carbono é armazenado e usado pelas plantas para crescer e se desenvolver e, posteriormente, nos solos quando essas plantas morrem e se decompõem e o carbono não é mineralizado.

Tanto a respiração das plantas e animais quanto a decomposição de matéria orgânica liberam carbono de volta para a atmosfera como dióxido de carbono. Esse processo é intensificado em períodos de seca, quando a oxidação da matéria orgânica é mais prevalente e a temperatura é mais alta. Durante as inundações sazonais, o carbono pode ser transportado para outras re-

giões através da água e depositado nos sedimentos em áreas mais baixas do Pantanal, onde pode ser armazenado por longos períodos ou liberado através da produção de metano em condições de baixas concentrações de oxigênio. A água que escoo do Pantanal carrega consigo carbono orgânico e inorgânico dissolvido para rios maiores, e eventualmente para o oceano.

Desta forma, o ciclo do carbono no Pantanal pode ser caracterizado de acordo com sua entrada e saída.

Entrada.

Fotossíntese realizada por plantas e algas para o crescimento e produção de biomassa. As plantas lenhosas estocam o carbono, e a biomassa, quando enterrada ou sob condições baixas de oxigênio da água, pode ser acumulada no solo ou nos sedimentos formando várias camadas. As diferentes condições hidrológicas também causam alterações no modo como as plantas absorvem Carbono e estocam.

Saída.

A decomposição da matéria orgânica, principalmente em contato com o oxigênio acelera a produção de dióxido de carbono, o qual fica dissolvido na água (quando em ambiente hídrico) e sai para a atmosfera quando o ambiente fica totalmente saturado. Essa saída pode ser feita em forma de gases dissolvidos, através da planta como um conduto do sedimento para a atmosfera, mas também em formas de bolhas de metano (CH_4). Interessante saber que as plantas aquáticas formam um escudo para que as bolhas não saiam diretamente para a atmosfera e parte do CH_4 é consumido por um imenso microbioma presente nas raízes das plantas. Quando no solo, a decomposição e mineralização do carbono é mais rápida e é liberado para a atmosfera principalmente em forma de CO_2 , mas também pode ocorrer em forma de CH_4 .

Neste ambiente único, com características singulares, o ciclo do carbono deve ser compreendido para que haja maiores possibilidades de conservação, principalmente porque o carbono é responsável pela regulação climática. Aprofundar o conhecimento sobre como o carbono é absorvido, armazenado e liberado nesses ecossistemas não só ajudará a mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, mas também sustentará a biodiversidade local e melhorará a qualidade de vida das comunidades que dependem desses ambientes naturais. A pesquisa focada e as políticas informadas são fundamentais para garantir que as práticas de conservação sejam eficazes em busca da sustentabilidade ambiental local e global.

Criaturas do micromundo a observar e explorar através do espólio de um Museu da Ciência.

Ana Bela Saraiva

MC/ERF

Desde as primeiras observações ao microscópio de seres do micromundo, no século XVII, até à biologia molecular e ao microscópio eletrónico do século XX, a diversidade da vida tem revelado um número infindável de pequenas criaturas que habitam os mais variados nichos ecológicos.

Conhecer e entender a diversidade de vida, em geral, e dos “mais pequenos” em particular sempre foi – e continuará a ser – um desafio colocado aos cientistas. A história da classificação dos seres vivos reflete bem esta complexa tarefa, marcada por constantes avanços e adaptações ao longo dos séculos.

Ao longo do tempo foram apresentadas diferentes propostas de classificação. Os seres vivos foram sendo incluídos em sistemas de classificação, sempre na tentativa de integrar todos os organismos conhecidos e permitir prever onde novos, que são descobertos e/ou comecem a ser descritos, possam ser encaixados.

Seres preservados em herbários ou algários e outros representados em modelos bidimensionais e tridimensionais, existentes no espólio de um museu, oferecem uma oportunidade ímpar para conhecer, interpretar e aprofundar o estudo da diversidade biológica microscópica.

Este artigo insere-se numa série em que a autora pretende dar a conhecer e a valorizar o espólio que existe no Museu da Ciência da Escola Básica e Secundária Rodrigues de Freitas (MCEBSRF) no Porto. Já foram publicados dois outros artigos, o primeiro sobre os cinco Herbários do Museu na revista da Ciência Elementar, da Casa das Ciências, Volume 11, n.º 4 e o segundo, sobre os Modelos botânicos, no Volume 12, n.º 1 da mesma revista.

A visualização e a descrição dos “seres invisíveis”.

Nos finais do século XVI a invenção do microscópio por Zacharias Janssen, um holandês fabricante de óculos, mostrou uma diversidade da vida que era invisível ao olhar humano. No

século seguinte, em 1676, a construção de um microscópio por Anton van Leeuwenhoek, permitiu a visualização de “pequenos animais ou animálculos” e a sua descrição em palavras e em esquemas.

O termo “animálculo” referia-se a organismos microscópicos que incluíam bactérias, protozoários e animais muito pequenos. Este inventor também observou uma bactéria viva presente numa placa dentária. No dia 17 de setembro de 1683 enviou uma carta à Royal Society of London descrevendo, pela primeira vez, o microrganismo. Este dia foi escolhido, a partir de 2017, para se comemorar o Dia Internacional do Microrganismo.

Em 1665, num trabalho chamado “Micrographia”, Robert Hooke publicou a primeira descrição de células a partir da observação de cortiça (FIGURA 1).

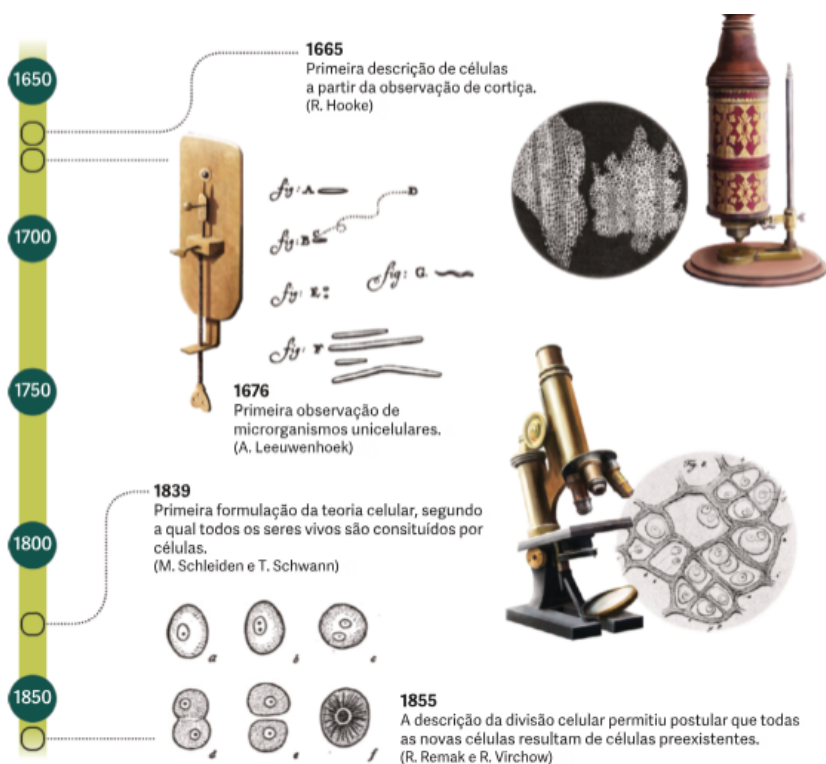


FIGURA 1. Imagens retiradas do manual de Biologia do 10.º do projeto Odisseia da Porto Editora, (de Jorge Reis, António Guimarães, Ana Bela Saraiva) onde se visualizam as etapas das primeiras observações microscópicas.

No século XIX foi formulada a Teoria Celular que refere que todos os seres vivos são constituídos por células e estas provêm de outras pré-existentes.

O MCEBSRF possui no seu acervo várias caixas com preparações definitivas de células animais e vegetais, de tecidos, de órgãos e de seres do micromundo (FIGURA 2). As preparações, que foram sendo adquiridas, ao longo do século XX, têm uma origem variada como por exemplo, o Instituto de Zoologia Dr. Augusto Nobre da UP.

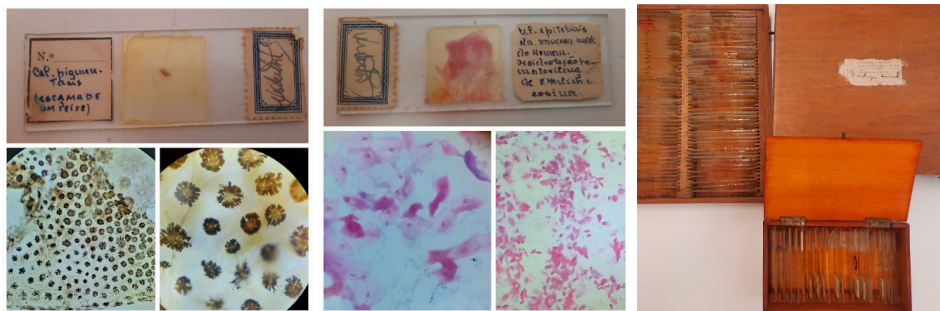


FIGURA 2. Preparações definitivas de células visualizadas com ampliações de 40x e 100x (e as caixas de arrumação) do acervo do MCEBSRF.

A invenção e o aperfeiçoamento dos microscópios.

A invenção do microscópio mudou completamente a maneira do Homem ver o mundo que o rodeia. Este aparelho possibilitou a observação e a exploração de áreas até então desconhecidas, revolucionando o conhecimento científico. A palavra microscópio tem a sua origem nos termos mikrós (do grego, pequeno) e scoppéoo (do grego observar, ver através de).

O microscópio ótico composto (duas ou mais lentes associadas) ou simples (apenas uma lente) utiliza um feixe de luz para visualizar objetos ampliados até 1500 vezes (com a objetiva de 100x e a ocular de 15x), mas, embora o aumento seja significativo, não se alcançam grandes detalhes da estrutura celular.

No MCEBSRF existem vários modelos de microscópios que foram sendo adquiridos nos finais do século XIX (FIGURA 3) e ao longo do século XX. Em 1935, para equipar os laboratórios de Ciências do novo edifício da escola, que ficou concluído no ano de 1933, adquiriu-se uma grande quantidade de material de ensino como consta do Cadastro dos Bens do Domínio Privado da Direção Geral da Fazenda Pública, Repartição do Património.

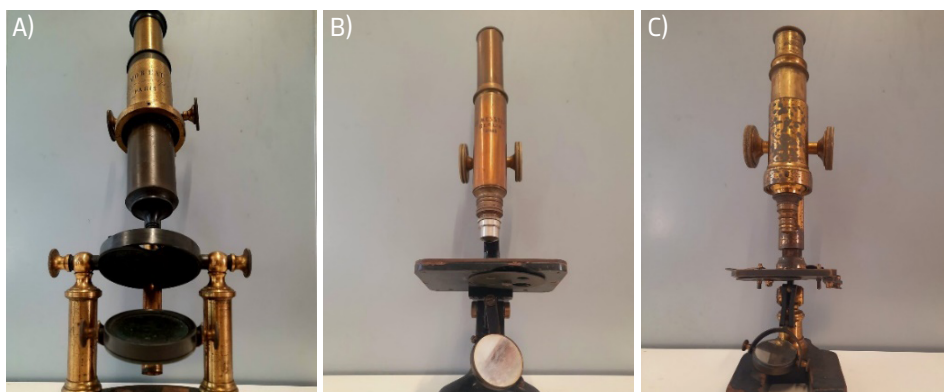


FIGURA 3. Microscópios franceses do século XIX do MCEBSRF. A) Microscópio ótico monocular composto de Moreau. B) Microscópio monocular de E. Messter. C) Microscópio monocular de um fabricante desconhecido.

Associados aos microscópios do MCEBSRF existem outros materiais, como por exemplo, uma câmara clara (existem no total quatro no MCEBSRF) que se pode acoplar ao canhão e que torna possível a visão do objeto sobreposta a um papel. Desta forma, pode-se desenhar o espécime observado ao microscópio contornando-se a sua forma diretamente no papel. A câmara clara é uma adaptação, para instrumentos óticos, muito utilizada desde a sua invenção no século XIX (FIGURA 4).

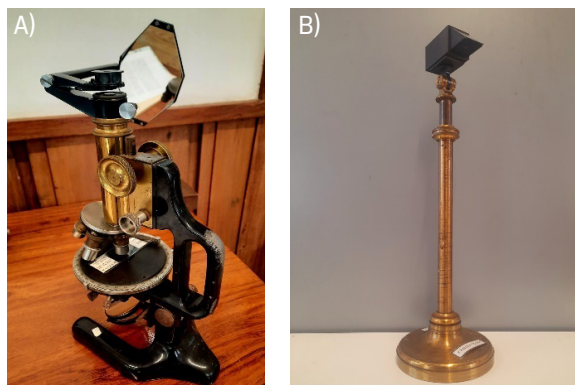


FIGURA 4. Câmaras claras no MCEBSRF. A) Câmara acoplada a um microscópio. B) Câmara que já se encontra descrito no Catálogo do Laboratório de Física – Álvaro Rodrigues Machado (professor de Física no liceu e do Laboratório de Física na UP) – 1916; Página: 38; Referência: 53⁶.

Os fabricantes alemães ocupam o segundo lugar em importância, depois do Reino Unido, na história da microscopia europeia. Os fabricantes de microscópios compostos alemães caracterizavam-se por serem em número pequeno de empresas que foram absorvidas pelas duas grandes empresas de ótica que ainda hoje existem: Leitz de Wetzlar e Carl Zeiss (FIGURA 5). Foram os primeiros a adotar o método de produção em série, o que conduziu a um grande progresso na fabricação. Em 1900, a Leitz fabricou 55 mil microscópios e a Zeiss, 40 mil (tinha fabricado o primeiro microscópio composto em 1857).

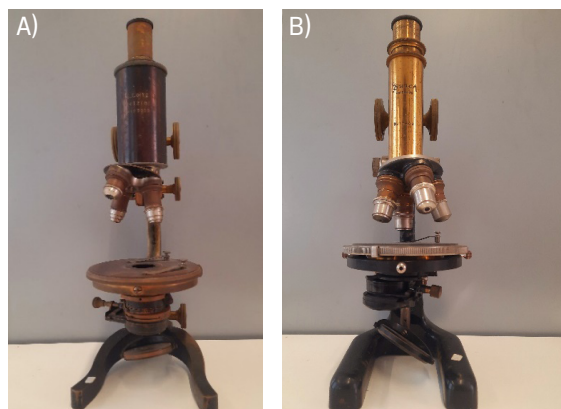


FIGURA 5. Microscópios monolulares alemães do século XIX do acervo do MCEBSRF. A) Modelo da firma Leitz de Wetzlar. B) Modelo da firma de Emil Busch que em 1929, passou a ser da Zeiss.

No dia 9 de março de 1931 o físico alemão Ernst Ruska e os seus colaboradores apresentaram o primeiro microscópio eletrônico de transmissão, que utiliza um feixe de elétrons para a visualização de objetos. O impacto deste avanço e a sua importância para a ciência foi de tal importância que 55 anos depois (1986) Ruska recebeu o Prémio Nobel da Física. Em 1939, a empresa Siemens produziu o primeiro microscópio de transmissão (o feixe de elétrons atravessa o objeto) comercial, difundindo o uso do aparelho (FIGURA 6).

No acervo do MCEBSRF existe um pequeno dossier, com dimensões de 24cm x 21cm, que contém 56 fotografias originais de microscopia eletrónica oferecidas ao Museu pelo Centro de Microscopia Eletrónica da Faculdade de Ciências da UP (FIGURA 6), no início da década de 80 do século passado.

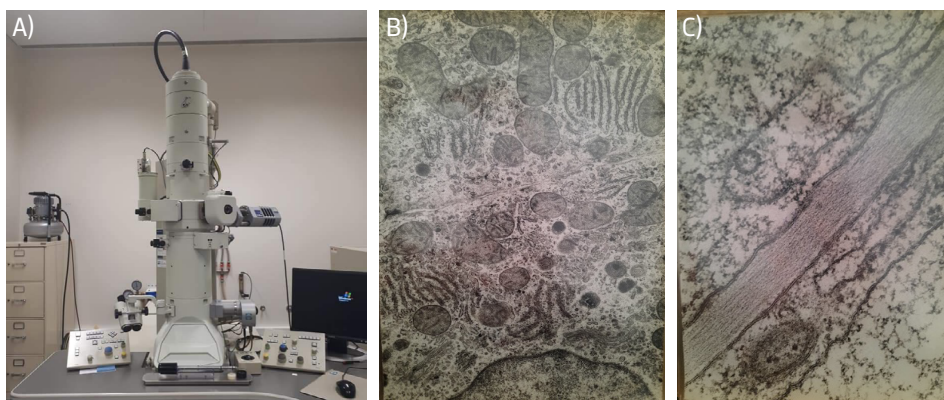


FIGURA 6. Microscopia eletrónica. A) Microscópio eletrónico fotografado no i3S - Instituto de Investigação e Inovação em Saúde, aquando de uma visita de estudo com alunos do secundário. B) Organelos da Célula animal. C) Ligação entre células vegetais meristemáticas (B e C- Acervo do MCEBSRF).

Classificação dos seres vivos.

O objetivo de um sistema de classificação é separar os seres vivos em diferentes grupos para os organizar e facilitar o seu estudo. Durante a história da biologia ocorreram diversas alterações em relação à classificação dos organismos, pois sempre que existia nova informação era necessário introduzir novos parâmetros para a classificação. Desde Aristóteles, no século IV a.C., até à proposta de Sandra L. Baldauf em 2007, para os seres eucariontes, passando pelas propostas de Lineu, Haeckel, Copeland, Whittaker, Margulis, Woese e Cavalier-Smith, a classificação dos seres foi-se modificando.

Na antiguidade o critério utilizado era o "movimento": se o organismo não se movia, era planta; se o organismo se movia, era animal. Aristóteles (384–322 a.C.) classificou os seres vivos em dois reinos, o *Plantae* e o *Animalia*, tendo usado o critério de mobilidade. Nessa altura só conseguiam classificar os seres macroscópicos que observavam a olho nu.

Os estudos das plantas foram feitos por um discípulo de Aristóteles, Teofrasto (371–287 a.C.), que classificava os cerca de 500 tipos de plantas conhecidas com base no modo de cresci-

mento, presença ou não de espinhos, e cultivo ou não pelo ser humano (ver artigo da autora na revista da Ciência Elementar de março 2024).

A segunda fase da classificação começou em 1665 e estendeu-se até cerca de 1940. Iniciou-se com as observações de Hooke e Leeuwenhoek, como referimos anteriormente, mas o naturalista que trouxe as maiores contribuições nesta fase foi o botânico, zoólogo e médico sueco Carolus Linnaeus (1707–1778).

Lineu continuou a agrupar todos os seres vivos em dois reinos: o Reino Animal e o Reino Vegetal. Na décima edição de seu *Systema Naturae*, a última que publicou, descreveu todos os seres eucariontes conhecidos até então (FIGURA 7).



FIGURA 7. A) Capa da 10.^a edição do *Systema Naturae* onde ficou descrita a classificação binominal das espécies. B) Modelo tridimensional de *Reseta odorata*, da coleção Brendel, espécie que só foi descrita nesta 10.^a edição (acervo do MCEBSRF).

Paisagens argentinas – I.

As rochas coloridas do lado andino

Luís Vítor Duarte

U. Coimbra, DCT e MARE

Devido à sua dimensão territorial, que cobre uma grande extensão latitudinal, a Argentina é um país de extremos contrastes. Entre a gélida Terra do Fogo, a um passo da Antártida, a costa atlântica, a cordilheira andina e o Trópico de Capricórnio, que atravessa, de modo imaginário, a extremidade norte do país.

Entre o norte e o sul da Argentina são mais de 30° de latitude que se vão refletir, de forma exemplar, em múltiplas zonas climáticas e nos extremos de temperatura que caracterizam este território. Nesta diversidade climática, para além do efeito de radiação e da pluviosidade que chega à superfície da crosta terrestre, a morfologia tem necessariamente a sua quota de responsabilidade. Esta, é resultado, sem a mínima dúvida, da geologia, da sua geodiversidade, e da sua história evolutiva. A presente curta incursão pelo país das Pampas vai refletir tudo isso, mas circulando junto à faixa andina, já que nas planícies, certamente com muitos outros predicados, não nos iríamos safar... vamos permanecer entre as províncias de Jujuy e de Salta (FIGURA 1), onde não faltam morfologia, montes, cerros e vales, resultado de enrugamentos presenteados pela tectónica, que por aqui é coisa tão séria como na península da Anatólia. Para mais tarde, e é uma promessa, fica a região de Mendoza, a dos vinhos afamados, a curta distância do gigante Aconcágua. Simplesmente de tirar o fôlego.

Da multiplicidade de lugares com interesse e impacto geológico da Argentina, sobressai a sua porção noroeste, concretamente a região de Salta. *La linda*, tal como é conhecida no slogan publicitário. Uma cidade que se orgulha de ter uma das praças do tempo colonial mais bem preservadas do Mundo (FIGURA 2). E é de Salta que sai o mítico *tren de las nubes*, que circula a mais de 4000 metros de altitude e nos leva pelo *altiplano de Puna*, que partilha território da Argentina e do Chile, mesmo na vizinhança da Bolívia. Uma paisagem montanhosa que resulta da convergência das placas litosféricas Nazca e a Sul-americana, onde não faltam vulcões ativos e, não esquecendo, as suas originais rochas andesíticas.

Não passaremos por nenhum deles, mas o facto de estarmos nesta porção do globo oferece-nos a ideia de um ótimo enquadramento.



FIGURA 1. Localização dos pontos de visita pela região noroeste da Argentina, centrada na cidade de Salta. De notar os alinhamentos estruturais meridianos e as diferenças na orografia e na vegetação. Imagem do Google Earth.



FIGURA 2. Fachada e campanário da Igreja de São Francisco na cidade de Salta. Cenário que sobressai independentemente da hora do dia.

Fortemente influenciada pelos relevos peri-andinos e pela aridez das suas porções mais altas, a *Puna*, a região entre Salta e a vizinha província setentrional de Jujuy, destaca-se por um conjunto ímpar de sítios geomorfológicos capazes de captar a atenção e curiosidade do mais distraído em matéria geológica. Um dos *tops* da geologia desta região, e são vários, é a Quebrada de Humahuaca. Neste extenso vale profundo, com orientação norte-sul, e que caminha em direção à Bolívia – no sentido contrário ao do Rio Grande que o atravessa –, distingue-se na paisagem, pela paleta de cores das diversas rochas e camadas, um conjunto de unidades que abrange mais de 600 milhões de anos. Devido aos consequentes e recorrentes processos de sedimentação e de erosão de tão longa história geológica, à tectónica – com falhas e dobras que preenchem o léxico da geologia estrutural –, bem como ao processo erosivo atual, que é seletivo em função das litologias mais ou menos resistentes, ressaltam particularmente neste vale o *Cerro de los Siete Colores*, em Purmamarca (FIGURA 3) e o *Cerro Paleta del Pintor*, em Maimara (FIGURA 4). Imagens que se aproximam de verdadeiras aguarelas.



FIGURA 3. *Cerro de los Siete Colores* em Purmamarca. Combinação de rochas coloridas que se sobrepõem através de falhas e de discordâncias angulares. Ver legenda na FIGURA 5.

Os diversos conjuntos litológicos, a que chamamos de unidades litostratigráficas, mostram rochas metassedimentares (entre quartzitos e xistos) e sedimentares, geralmente de natureza siliciclástica (conglomerados ou ruditos, arenitos e lutitos), de diferente composição mineralógica – que confere a diferente coloração –, e algumas rochas carbonatadas, que se acumularam em

períodos muito distintos da história da Terra, e que resultaram da alternância entre ambientes marinhos e fluviais.



FIGURA 4. Cerro Paleta del Pintor em Maimara. Sucessão de estratos inclinados do Cretácico terminal sobre a Quebrada de Humahuaca, recortados por diversos ravinamentos, que dão a ilusão de falsos dobramentos.

O registo geológico, datado do Proterozoico terminal, Câmbrico, Ordovícico, Cretácico e o Cenozoico, é prova de ser bastante descontínuo. E estruturalmente complexo, já que se está numa zona particularmente compressiva do globo, demonstrando que determinados intervalos de tempo entre as centenas de milhões de anos mais recentes do planeta (o Fanerozoico), parecem não ter qualquer representação geológica. A começar no Jurássico, tão bem representado em tantas outras paragens por onde andámos. A tectónica de placas explica isso tudo. Tal como o painel da FIGURA 5 esclarece, de modo sumário, o *puzzle* geológico que se observa em Puramarca. Já em Maimara, na Paleta del Pintor, pela estrutura monoclinial, a sucessão estratigráfica é mais continua e mais restrita temporalmente, e onde sobressai a Formação Yacoraité. Uma unidade constituída por depósitos litologicamente muito variados, entre carbonatos e rochas siliciclásticas, conhecida internacionalmente pelos seus magníficos estromatólitos. Bem como não faltam registos de outros organismos, entre pegadas dos últimos dinossauros que terão habitado a Terra, já que esta formação incorpora o mítico limite Cretácico-Paleogénico.

No centro da Quebrada de Humahuaca, Pucará de Tilcara é um outro lugar de referência no seio desta geologia complexa e de uma paisagem que se mantém extasiante. Mas este lugar é conhecido por outras excelentes razões.



FIGURA 5. Leitor de paisagem do Cerro de los Siete Colores (Purmamarca).

A começar pelo assinalável sítio arqueológico, pré Inca, assente sobre um depósito quaternário que se ergue no centro do vale do Rio Grande, praticamente na confluência com outras duas linhas de água perpendiculares. Tudo muito geométrico e exposto! Com mistura de diversos povos, os registos arqueológicos disponíveis apontam para uma ocupação, pelo menos desde o século VIII dC. Paralelamente, destaca-se o pequeno jardim botânico aqui criado, com os *cardones* que tanto caracterizam este lugar do planeta (FIGURA 6A)). Bem como os lamas, camélídeos, com quem podemos cruzar-nos a qualquer momento (FIGURA 6B)).

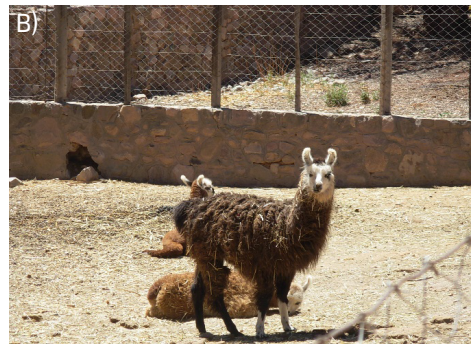


FIGURA 6. Particularidades de Pucará de Tilcara, em plena Quebrada de Humahuaca. A) Um lugar de interesse arqueológico envolvido por *cardones* e por rochas do Proterozoico (mais escuras, no fundo da imagem), do Cretácico Superior – Miocénico (diferentes unidades de cores mais claras) e o Quaternário (conglomerados de cor cinzenta que se sobrepõem às unidades estratigraficamente inferiores). B) Lamas, um dos muitos símbolos andinos.

Há que não esquecer que a Quebrada da Humauhaca, com todas as suas valências, desde a geomorfologia à história, tem a chancela de Património Mundial da UNESCO. Um quase denominador comum destas crónicas. Antes da chegada a Humauhaca, quase na fronteira com a Bolívia, transpõe-se a linha imaginária do Trópico de Capricórnio. Algo já sentido noutras paragens, como o ambiente árido encontrado na Namíbia, mesmo junto ao Atlântico.

Regressamos a Salta, para nos deslocarmos mais para oeste. A ideia é de subir até à cidade de Cachi, no Vale Calchaquí – um planalto da Puna –, que atinge altitudes acima dos 3300 metros. Com um substrato rochoso neoproterozoico e paleozoico, ígneo-metamórfico, onde não faltam os alinhamentos estruturais de atitude meridiana, exatamente os mesmos responsáveis pela geomorfologia da Quebrada de Humauhaca. O caminho serpenteia por uma encosta íngreme, uma outra Quebrada, agora a del Escoipe, cheia de cor e de rochas para todos os gostos e onde se vai perdendo gradualmente vegetação. Na *Cuesta del Obispo* ou na mais alta *Piedra del Molino*, os níveis de oxigénio começam a fazer cansar o humano menos resistente. Em ambos os locais, obtém-se uma visão perfeita do desnível atingido, e dos efeitos combinados da morfologia, da tectónica e do clima na sedimentação, através de leques (ou cones) aluviais perfeitos, que “escorrem” pelas encostas escarpadas e a esconder as unidades geológicas subjacentes (FIGURA 7).



FIGURA 7. Aspeto do vale do Rio Escoipe, observado a partir da *Piedra del Molino*, onde ressalta uma série de ravinamentos e de leques (ou cones) aluviais (centro da imagem) tão típicos nesta região peri-andina.

Neste lugar, desfruta-se uma combinação perfeita entre as singularidades desta região andina em termos dos três consagrados reinos da natureza: mineral, animal e vegetal. A geologia está à

vista de todos, amplamente favorecida pela altitude e pelo ambiente semiárido. Nestas serranias, surge o Condor andino que, segundo os especialistas, é simplesmente a maior ave voadora do planeta, atração garantida por este lado do mundo. Um dos ícones dos restantes países desta cordilheira, e que, inevitavelmente, nos recorda o *El Condor Pasa*, seja do original peruano, dos executantes musicais mais rústicos, seja da versão mais globalizada de Simon e Garfunkel. É verdade, não estamos no Peru, cujas paisagens seguramente nos iriam impressionar! Mas a ambiência não será assim tão diferente. E o reino vegetal é igualmente muito particular. Antes de se chegar a Cachi, a estrada transpõe perto de duas dezenas de quilómetros num vale aplanado, a designada reta inca *del Tin Tin*, a fazer lembrar, pela imensidão, muitos outros cenários. Neste contexto, são os catos os pontos de interesse que compõem o Parque Nacional *Los Cardones*, perfeitamente alinhados, como se se tratasse de uma parada militar. A quase ausência de vegetação nas vertentes deste vale, proporciona mais uma paisagem geológica impactante, tão despida, quanto colorida, muito próxima da que está registada mais a norte, em toda a Quebrada de Humahuaca. Do lado ocidental da estrada lá estão as unidades sedimentares do final do Cretácico e da base do Cenozoico (Paleogénico), assentes em discordância angular sobre o Proterozoico. Com as mesmas cores e numa estrutura com a mesma orientação meridiana, como se estivéssemos na *Paleta del Pintor*. Quanto aos *cardones*, estes repousam sobre o Quaternário, e são claramente a marca vegetal de toda a região (FIGURA 8), reveladores do clima que por aqui domina.



FIGURA 8. Parque Nacional *los Cardones*, nas imediações de Cachi, com os seus catos de braços espinhosos. Ao fundo, o alinhamento das camadas do final do Cretácico – Paleogénico, bastante inclinadas, exibindo uma estrutura muito semelhante à observada na *Paleta del Pintor*.

Seja em Cachi, Purmamarca ou em qualquer outro povoado deste lado da Argentina, a tez dos humanos, o espírito e a arquitetura são, integralmente, andinos. À semelhança das rochas, a paleta de cores trespassa para o tão apreciado artesanato, com a tapeçaria de “siete colores” e de outros tantos motivos à cabeça (FIGURA 9).



FIGURA 9. Outras imagens do noroeste da Argentina que falam por si. A) Imagem de “marca” de Purmamarca. B) Pintura de parede da cidade de Humahuaca, retratando grande parte da simbologia da região.

É só mais um lugar, único no planeta, que tem muito, mas mesmo muito para conhecer e desfrutar. Aguarda-se o próximo capítulo por solo argentino, agora por terras mais frias.

Roger Penrose.

João Nuno Tavares

U. Porto



Roger Penrose, nascido a 8 de agosto de 1931 em Colchester, Inglaterra, é uma figura central na física teórica e na matemática moderna, conhecido pela sua mente brilhante e pelas suas ideias inovadoras que desafiaram as perceções tradicionais do universo.

Filho de uma família de intelectuais, cresceu num ambiente que favorecia o pensamento criativo e científico. Estudou na Universidade de Cambridge, onde começou a sua extraordinária carreira académica, mais tarde lecionando em instituições prestigiadas como a Universidade de Oxford.

Penrose é mais conhecido pelas suas contribuições inovadoras à compreensão dos buracos negros e da origem do universo. Colaborou com Stephen Hawking, desenvolvendo o que hoje são conhecidos como os *Teoremas de Singularidade de Hawking-Penrose*. Estes teoremas demonstram que, sob condições físicas razoáveis, o espaço-tempo deve conter singularidades – zonas onde a curvatura do espaço-tempo se torna infinita. Esta parceria foi fundamental para consolidar a teoria de que os buracos negros e o *Big Bang* são fenómenos previsíveis pelas leis

da relatividade geral de Einstein, embora em limites que desafiam a compreensão convencional. O seu trabalho nesta área foi reconhecido internacionalmente, culminando na atribuição do *Prémio Nobel da Física* em 2020.

Penrose tem uma ligação profunda com a matemática pura, exemplificada pela sua descoberta dos chamados “ladrilhos de Penrose”. Estes são duas formas que podem ser usadas para cobrir um plano de modo não repetitivo, contribuindo para a geometria não periódica, uma descoberta que tem aplicações em várias áreas, incluindo o *design* de materiais e a cristalografia.

Um aspeto fascinante do trabalho de Penrose é a sua exploração do enigma da consciência. Juntamente com o anestesiólogo Stuart Hameroff, Penrose desenvolveu a teoria da *Redução Objetiva Orquestrada* (Orch-OR). Esta teoria postula que processos quânticos nos microtúbulos, estruturas minúsculas dentro dos neurónios, podem ser a chave para a consciência humana. Penrose argumenta que a mente não pode ser completamente compreendida através de modelos computacionais tradicionais, sugerindo que fenómenos quânticos desempenham um papel fundamental na experiência consciente.

Quanto à perspectiva de máquinas conscientes e inteligência artificial, Penrose mantém-se cético. Ele acredita que as máquinas, operando puramente com base em algoritmos, não têm a capacidade de replicar a consciência humana, que ele vê como um fenómeno que escapa aos limites do cálculo algorítmico.

Roger Penrose é também um autor prolífico, tendo escrito diversos livros que popularizam e aprofundam as suas ideias sobre o universo, a consciência e a matemática. Entre as suas obras mais conhecidas estão:

The Emperor's New Mind, publicado em 1989, este livro desafia as ideias tradicionais sobre inteligência artificial, argumentando que a consciência humana não pode ser completamente replicada por máquinas e explorando as ligações entre física, matemática e a mente.

Shadows of the Mind, de 1994, onde Penrose expande as suas ideias sobre a consciência, defendendo que fenómenos quânticos nos microtúbulos podem explicar a experiência subjetiva, levantando questões filosóficas muito profundas sobre a mente e o universo.

The Road to Reality, lançado em 2004, uma obra extensa que oferece uma visão abrangente das leis do universo, da física clássica à moderna, destinada a leitores com conhecimentos avançados ou interessados profundos na ciência.

Estes livros refletem o seu perfil de cientista que gosta de desafiar o *status quo*, combinando rigor científico com uma escrita que muitas vezes surpreende pelo seu estilo acessível e, por vezes, humor irreverente.

Roger Penrose continua a ser uma figura inspiradora, cuja obra desafia e expande as fronteiras do pensamento científico e filosófico. O seu trabalho interpela constantemente o equilíbrio entre ciência e filosofia, levantando questões profundas sobre a natureza da realidade, da consciência e do universo.



Conferência

100 anos da Mecânica Quântica

22-23
OUTUBRO **2025**

FCUP



**CASA DAS
CIÊNCIAS**

FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO