

V12/03

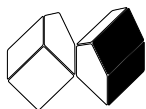
REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR
CASA DAS CIÊNCIAS

SETEMBRO 2024

$$158,4^m \times 55^m = 8712^{mm}$$



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V12(03)

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

Desenho do padrão "mar largo", do modelo calçada-mosaico criado por Eusébio Pinheiro Furtado em 1842 para o Rossio, em Lisboa, onde foi inaugurado em 1849

AUTOR DA FOTOGRAFIA

J. F. Rodrigues

imagem.casadasciencias.org

© 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)

EDITOR CONVIDADO

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

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

Liliana Freitas

Raul Seabra

Rúben Leite

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

SETEMBRO 2024

V12/03

Índice

02 AGENDA

03 NOTÍCIAS

EDITORIAL

05 **Explorando os algoritmos matemáticos.**

José Francisco Rodrigues

ARTIGOS

07 **As simetrias nas calçadas de Lisboa.**

Ana Cannas da Silva *et al.*

18 **Espécies Reativas e Stress Oxidativo.**

Lisa Sequeira

20 **Ouvindo peixes debaixo de água.**

Manuel Vieira *et al.*

23 **Sedentarismo.**

Sarah Caroline Lopes,
Rodolfo Coelho Prates

26 **A Água não tem sabor?**

Joana Rodrigues

PROJETO DE SUCESSO

36 **Coleções didáticas de *Arthropoda* da Universidade Federal do Amapá, Brasil.**

Raimundo Nonato Picanço Souto *et al.*

AOS OLHOS DA CIÊNCIA

39 **Pela geologia da Grã-Bretanha. De James Hutton às Seven Sisters.**

Luís Vítor Duarte

IMAGEM EM DESTAQUE

48 **UMG-SP2.**

José Francisco Rodrigues,
Maria João Ramos *et al.*

Abril(2025)

X Encontro Casa das Ciências

Celebrando a décima edição dos Encontros Casa das Ciências, regressaremos na semana das Férias da Páscoa para reunir todos os professores que queiram encontrar-se connosco. Estamos a trabalhar no sentido de, muito brevemente, anunciar datas e local de realização do nosso encontro anual. Esteja atento às nossas redes sociais e às nossas newsletters onde anunciaremos todas as novidades!

[CASA DAS CIÊNCIAS](#)

2024-2025

Biologia ao fim da tarde

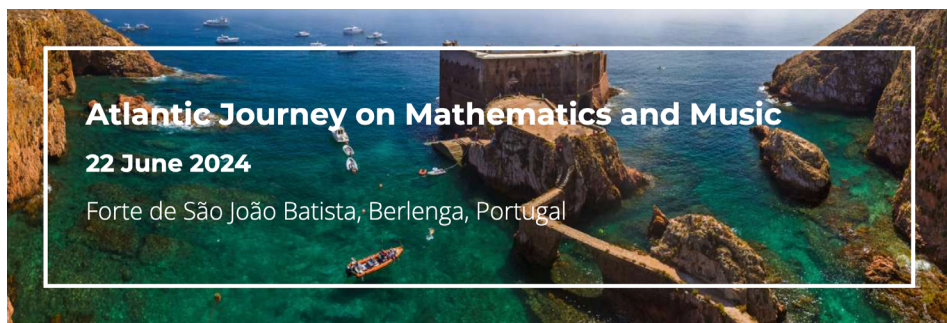
Continuando o ciclo de palestras "Biologia ao fim da tarde", o DBIO da FCUL, em parceria com o NEBUP e a Delegação Regional do Norte da Ordem dos Biólogos, iniciaram-se a 9 de outubro um novo ciclo de palestras. Referente ao primeiro semestre de 2024-2025, abordará temas como as cores da vida e sua relação com as alterações climáticas, a biologia e a paisagem através da arquitetura, a remoção de contaminantes ambientais, histórias da videira, o estresse em plantas, aspetos de doenças humanas e o zebrafish como modelo experimental. As palestras acontecerão em um ambiente informal, com duração de 20 minutos cada, seguidas de uma discussão final, totalizando cerca de 1 hora. A participação poderá ser presencial ou por zoom, mediante inscrição prévia, sendo o certificado de participação encaminhado diretamente para o email. A inscrição poderá ser feita através do [link](#). Toda a informação está disponível na página do [DBIO](#). Qualquer dúvida poderá ser esclarecida através do email.

FCUP/ ZOOM

2024-2025

Guia dos Serviços Educativos dos Parceiros do Roteiro das Minas e Pontos de Interesse Mineiro 2024/25

Divulgando as atividades dos *Parceiros do Roteiro das Minas e Pontos de Interesse Mineiro e Geológico de Portugal*, para alunos e professores de todos os níveis de ensino, apresenta-se o novo guia dos [Serviços Educativos 2024-2025](#). Inscrições e mais informações através do email geral@museus.ulisboa.pt. Neste guia são apresentadas centenas de atividades com fins pedagógicos, para todo o território do continente e Região Autónoma dos Açores, promovidas pelos 46 parceiros que se juntam à iniciativa. O guia [Serviços Educativos 2024-2025](#) resulta da colaboração entre a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), a EDM (Empresa de Desenvolvimento Mineiro), S.A., e os 46 parceiros das diversas regiões e contornos institucionais, em prol do conhecimento preservação do património geológico e mineiro e criação de valor, em Portugal.



Na sequência do 9.^o Congresso Internacional de Matemática e Computação em Música, realizado no passado mês de junho na UCoimbra, o CMAFcIO da ULisboa, em colaboração com o Centro Internacional de Matemática, a ANCCCT (*Ciência Viva*), a Academia de Ciências de Lisboa e a Associação Amigos da Berlenga, organizou uma jornada em que, na ímpar Ilha da Berlenga, se reuniram especialistas nacionais e internacionais para falarem de Matemática e Música. José Francisco Rodrigues abriu os trabalhos falando da interação entre a Música e a Matemática através da História; Carlota Simões mostrou, com exemplos em Bach e no Jazz, a Simetria na música, enquanto que Emmanuel Amiot abordou a Simetria natural entre a Música e Matemática; Moreno Andreatta apresentou as capacidades da aplicação interativa [Tonnetz](#) em converter música em formas geométricas. A tarde iniciou-se com Thomas Noll com duas abordagens conceptuais e distintas de tonalidade, uma algébrica e outra estatística; Gilles Baroin guiou-nos, recorrendo à RV, numa visita ao [MatheMusical Virtual Museum](#). O encontro na Berlenga terminou com uma Mesa Redonda, moderada por Rosalia Vargas e Carlos Florentino, com a participação remota de Daniel Ramos, do *Imaginary*, abordando o desafio em montar uma Expo-

sição de Música e Matemática e a experiência da exposição virtual [La La Lab](#) realizada em Heidelberg em 2019.

Feira da Matemática

A Feira da Matemática realiza-se anualmente desde a sua primeira edição, em 2014, no Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa (MUHNAC) com a colaboração da Sociedade Portuguesa de Matemática, da Associação de Professores de Matemática e da Associação LUDUS, entre outras entidades.



FIGURA 1. Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa. Imagem de Jorge Brazil.

A [XI Feira da Matemática](#) de 2024 vai preencher os próximos dias 22 e 23 de novembro e será realizada, como é tradição, em dois

momentos: o dia 22 para o público escolar e o dia 23 de novembro para o público geral e famílias. Como habitualmente, será garantida uma programação preenchida de momentos científicos, culturais e educativos, incluindo jogos, demonstrações, exposições e palestras. Todas as atividades são de participação gratuita, sendo necessária inscrição prévia para o dia dedicado às escolas. Todas as informações podem ser obtidas no email através do qual devem ser realizadas as inscrições (geral@museus.ulisboa.pt).

Prémios Nobel da Física e da Química de 2024



FIGURA 1. Uma das medalhas do Prémio Nobel de 1950. Imagem de Jonathunder.

O Nobel da Física foi partilhado por John J. Hopfield, da Universidade de Princeton, EUA, e por Geoffrey E. Hinton, da Universidade de Toronto, Canadá, por “descobertas e invenções fundamentais que permitem a aprendizagem automática com redes neuronais artificiais”. As redes (neuronais) de Hopfield, modelos introduzidos em 1982 e baseados na física estatística, foram um passo fundamental para o moderno desen-

volvimento da aprendizagem automática e da Inteligência artificial. Hinton foi co-autor das “máquinas de Boltzman”, associadas ao nome do físico austríaco do século XIX pioneiro da física estatística, inventou um método que pode descobrir padrões e propriedades na informação dos dados, que se tornou importante para as atuais grandes redes neuronais artificiais.

O Nobel da Química foi partilhado por Demis Hassabis e John M. Jumper, da *Google/DeepMind*, Londres, RU, pela “utilização, com sucesso, da inteligência artificial na predição da estrutura de quase todas as proteínas conhecidas”, e David Baker, da Universidade de Washington, Seattle, e de Howard Hughes Medical Institute, EUA, por “dominar a estrutura dos blocos de construção da vida e criar proteínas completamente novas”. Baker em 2003 através da estrutura de aminoácidos conseguiu criar uma nova proteína, totalmente desconhecida, e com o *AlphaFold2*, apresentado em 2020, Hassabis e Jumper previram virtualmente a estrutura de todos os 200 milhões de proteínas descobertos até agora nos organismos terrestres.

Para além de este ano os prémios Nobel da Física e da Química terem em comum o reconhecimento de áreas da Inteligência Artificial nas Ciências Fundamentais, ambos salientam o poder do pensamento e dos métodos interdisciplinares, cujo impacto em áreas diferentes e aparentemente distantes beneficiam dos extraordinários avanços dos meios computacionais no tratamento da informação, quando baseada em modelos realistas de natureza algorítmica e matemática.

Explorando os algoritmos matemáticos.

Na Era Digital em que vivemos estamos a presenciar o início de uma revolução no Conhecimento com uma aceleração dos seus instrumentos, físicos e algorítmicos, em plena expansão e aprofundamento. Os prémios Nobel da Física e da Química de 2024 são disso um sinal, pois para além de terem em comum o reconhecimento de áreas da Inteligência Artificial e da Aprendizagem Automática nas descobertas das Ciências Fundamentais, ambos salientam o poder do pensamento e dos métodos interdisciplinares, cujo impacto em áreas diferentes e aparentemente distantes beneficiam dos extraordinários avanços dos meios computacionais no tratamento da informação, quando assente e baseada em modelos realistas de teor algorítmico e matemático.

A transmissão dos progressos vertiginosos nas Ciências às novas gerações, através dos professores, dos textos e do ensino no nível pré-universitário, onde a atividade da *Casa das Ciências* e da *Revista de Ciência Elementar*, se encaixa, apresenta novos desafios. Não obstante, esta atividade não pode ignorar os temas clássicos e básicos com os quais tem vindo a consolidar a sua importante missão de transmitir e divulgar os conceitos científicos numa linguagem elementar e rigorosa, procurando uma visão crítica da realidade atual. Neste número temos vários exemplos, começando por um elemento tão básico como a água e o desafio da prova de águas como experiência educativa, no artigo didático de Joana Rodrigues, passando pela importância do som dos peixes para o estudo dos ecossistemas aquáticos e pelo papel em funções fisiológicas e patológicas das espécies reativas de oxigénio e azoto, ou ainda numa abordagem do sedentarismo na manutenção da saúde.

Este número, a *Revista de Ciência Elementar* mantém a divulgação de projetos escolares de sucesso, com o exemplo das coleções didáticas da Universidade Federal do Amapá, Brasil, e inclui o relato da visita geológica pela Grã-Bretanha, entre a Escócia e a margem do Canal da Mancha, de Luís Vitor Duarte, um notável exemplo de turismo científico.

Finalmente, do artigo sobre as simetrias nas calçadas de Lisboa, para além de se evidenciar uma relação profunda entre a matemática das simetrias e esta arte pública portuguesa espalhada pelo mundo, resultam implicitamente dois desafios: o primeiro, já proposto pela Sociedade Portuguesa de Matemática, trata de prosseguir com o preenchimento dos cinco padrões que faltam nos passeios e nas praças da capital portuguesa, com o objetivo

de esta ser a primeira cidade do mundo a completar as 24 simetrias planas nas suas calçadas; o segundo, expandir a todas as povoações de Portugal, onde exista ou possa vir a existir a calçada portuguesa, a divulgação e a exploração dos algoritmos da simetria plana, seja através de atividades escolares seja através de concursos artísticos.

José Francisco Rodrigues

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Academia das Ciências de Lisboa

As simetrias nas calçadas de Lisboa.

Ana Cannas da Silva*, José Francisco Rodrigues‡, Suzana Metello de Nápoles‡

*ETH/ Zurich | ‡U.Lisboa

Através do reconhecimento de frisos e padrões nas calçadas de Lisboa, pretende-se neste artigo abordar os 24 tipos de simetria plana, caracterizando-as e revelando o seu potencial cultural e didático.

A Calçada Portuguesa é uma forma de arte portuguesa, que está hoje espalhada por todo o país e por todo o mundo, do Brasil a Macau, passando por África. Esta expressão cultural é uma herança histórica da cultura e da tecnologia de empedramento das vias e mosaicos romanos, que se renovou em Portugal na renascença nos reinados de D. João II e de D. Manuel.



FIGURA 1. Litografia colorida dos finais do século XIX com a Praça D. Pedro IV, o Rossio, em Lisboa.

A primeira das calçadas decorativas, hoje conhecidas por Calçadas Portuguesas, terá sido feita em Lisboa em 1842. Eusébio Pinheiro Furtado, oficial de engenharia e então o governador do Castelo de São Jorge, mandou fazer uma calçada num dos acessos ao castelo por presos da Cadeia do Limoeiro. Esse pavimento com um traçado simples, a preto e branco usando calcário e basalto, teve grande sucesso, servindo de exemplo à pavimentação de toda a área da Praça do Rossio, numa extensão de 8 712 m², que ficou concluída em 1849 com um padrão da autoria daquele engenheiro militar.

Esse padrão, com ondas pretas e brancas, tornou-se icónico e ficou conhecido como *Mar Largo*, em homenagem aos descobrimentos Portugueses, evocando a expressão camoniana dos versos de *Os Lusíadas* (IV.66):

*Manuel, que a Joane sucedeu
No Reino e nos altivos pensamentos,
Logo tomou do Reino cargo,
Tomou mais a conquista do mar largo.*

O *Mar Largo* do Rossio foi removido em 1919 e parcialmente repostado em 1976, tendo sido restabelecido na sua forma atual em 2001. Entretanto, o *Mar Largo* esteve presente na Exposição Universal de Paris em 1900 e atravessou rapidamente o Atlântico calçando o Largo de São Sebastião em Manaus, em 1901, e a marginal de Copacabana, no Rio de Janeiro em 1905, dando lugar ao atual calçadão carioca em 1970. Surge atualmente em vários locais, em Portugal e no Mundo, como, por exemplo, em Cascais ou na Nazaré e na Ilha de Moçambique ou em Macau, no Largo do Senado até à Igreja de São Domingos.

A simetria sempre fascinou a humanidade, aparecendo na arquitetura, nas artes decorativas, nas engenharias e nas ciências. Há milhares de anos que os padrões planos são utilizados no dia-a-dia em artefactos, tecidos ou pavimentos, seja nas formas primitivas da civilização, seja nas formas mais avançadas. Por exemplo, na Idade Média, a arte islâmica criou formas geométricas com simetrias elaboradas, alcançando no século XIII e XIV, nos calceidoscópios e nos mosaicos da Alhambra, em Granada, o conjunto completo dos 17 padrões cristalográficos do plano.

O conceito de simetria foi introduzido nas ciências, e em particular na matemática, no século XIX. A sua associação aos grupos de transformação na geometria, em 1869, está associada a Camille Jordan, e o estudo das simetrias na cristalografia, aos trabalhos do matemático Artur Schönflies, que, em 1891, conduziram à catalogação completa dos 230 grupos de simetria espacial, em colaboração com o mineralogista Evgraf Fedorov, que também efetuou a primeira identificação dos grupos cristalográficos no plano e concluiu serem exatamente 17.

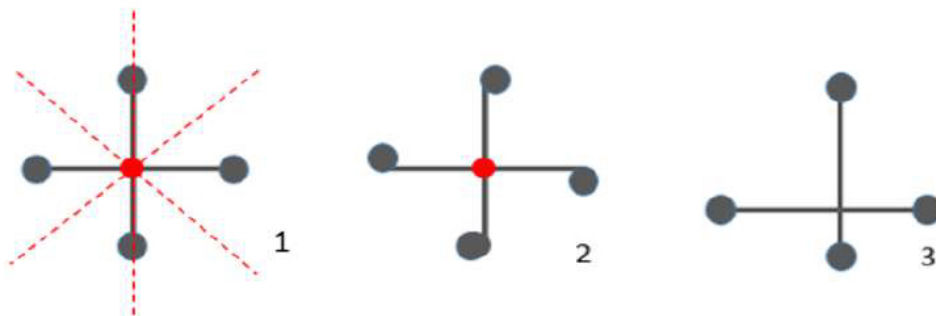


FIGURA 2. A cruz 1 tem 4 eixos de simetria e um centro de simetria, pelo que é invariante para reflexões e rotações; a cruz 2 não tem eixos de simetria, mas tem centro de simetria, em torno do qual permanece invariante para rotações de 90° ; a cruz 3 não é uma figura simétrica, pois não existem nem eixos nem centros de simetria, pelo que não existe nenhuma transformação geométrica diferente da identidade que a deixe globalmente invariante.

Mas o que significa ter simetria? Em linguagem corrente, dizemos que uma figura é simétrica (do grego antigo *sum metria*) se possui uma simetria axial. Mais geralmente, podemos dizer que uma figura ainda é simétrica mesmo quando não tem eixos de simetria, desde que exista uma transformação geométrica, como uma rotação ou uma reflexão, que a deixa globalmente invariante, isto é, podem alguns ou todos os pontos da figura mudar de posição mas a figura, como um todo, não apresenta modificações em relação à forma inicial.

A definição matemática de simetria recorre ao conceito de grupo, mas não necessitamos dele para caracterizar os quatro tipos de simetria relevantes à compreensão dos padrões e os frisos no plano das calçadas. São eles:

- Simetria por reflexão (espelhos);
- Simetria por rotação (girações);
- Simetria por reflexão deslizante (cruzamentos);
- Simetria só por translação (admirações).

Tal como se usam os algarismos para exprimir números e símbolos para representar operações matemáticas, usaremos uma notação introduzida por Conway nos anos 1980's, para denotar os tipos de simetrias, atribuindo uma assinatura simbólica a cada uma delas. Assim, uma estrela * é usada para indicar uma simetria de espelho, e para a assinatura do tipo da simetria da letra H, que tem dois eixos de simetria que se cruzam num ponto, escrevemos *2.

Os algarismos 2, 3, 4, ... são usados para simbolizar a ordem da rotação em torno de cada centro de simetria. Por exemplo, a assinatura do tipo de simetria da cruz 2 da FIGURA 2 é simplesmente 4 ($=360^\circ/90^\circ$).

O símbolo X denota uma reflexão deslizante, que, juntamente com as reflexões e as rotações, devem ser contabilizadas em prioridade sobre as translações.

O símbolo O denota uma simetria só por translação. Um padrão do tipo O é um padrão que não apresenta nem espelhos, nem giros, nem cruzamentos, e apenas apresenta translações.

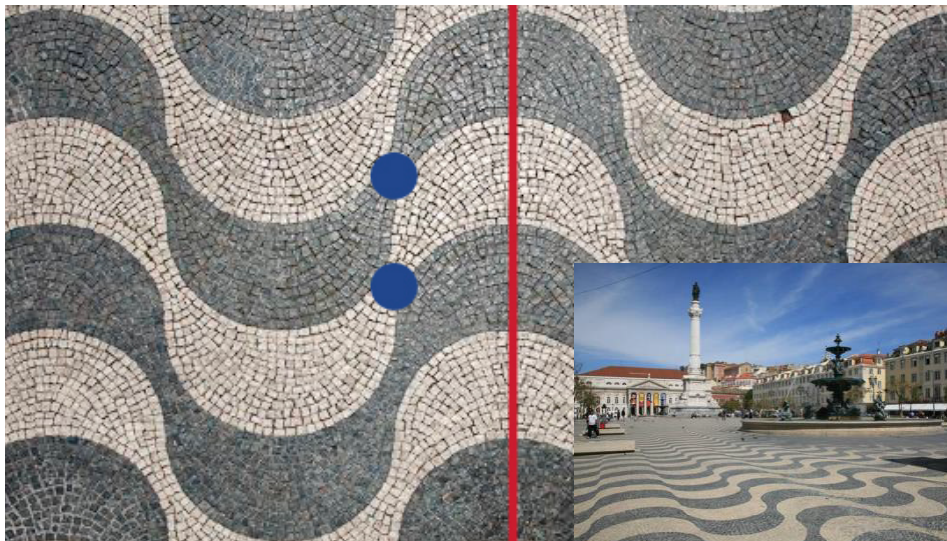


FIGURA 3. Matematicamente, o *Mar Largo* tem a simetria com duas rotações de 180° e com uma reflexão de espelho, determinando assim uma assinatura $2\ 2\ *$ e corresponde ao grupo cristalográfico $p2mg$.

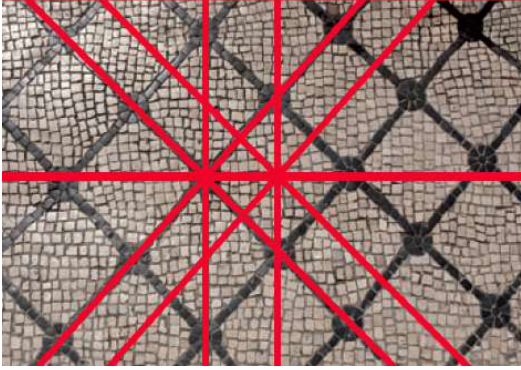
Para além da pioneira e icónica calçada do *Mar Largo*, Lisboa tem várias outras praças e múltiplas ruas pavimentadas com a Calçada Portuguesa. Para além da Praça dos Restauradores, cujo padrão com a assinatura $4\ 4\ 2$ foi desenhado pelo arquiteto e ilustrador João Abel Manta, a Praça do Município foi repavimentada em 1997/1998 com uma calçada desenhada pelo pintor e artista plástico Eduardo Nery, com uma simetria do tipo $*\ 4\ 4\ 2$.

Em 1924 o matemático George Pólya redescobriu os 17 grupos de simetria bidimensionais, também chamados grupos cristalográficos no plano ou de papéis de parede, encontrados por Fedorov em 1891.

Estes têm uma complexidade intermédia entre os 7 grupos dos frisos, cujos padrões de simetria em forma de faixa incluem necessariamente o símbolo ∞ na assinatura, e os grupos espaciais de simetria nas dimensões 3 e 4, que são, respetivamente 219 (ou 230 se as cópias quirais forem consideradas distintas) e 4783. O quadro abstrato da topologia algébrica permitiu, nos anos 1980's, dar uma explicação geométrica para a existência de exatamente 24 tipos de simetria planar, que chamaremos *Teorema Mágico* (FIGURA 7), sendo 17 papéis de parede e 7 frisos.

ESPELHOS

***abc** simboliza espelhos que se encontram com ângulos $\frac{180^\circ}{a}, \frac{180^\circ}{b}, \frac{180^\circ}{c}$.



Por exemplo, a calçada malha de rede no Chiado é preservada por reflexão em espelhos (linhas vermelhas) que se cruzam em três pontos com ângulos $\frac{180^\circ}{4}, \frac{180^\circ}{4}, \frac{180^\circ}{2}$, daí ter a assinatura *442. Tal como num caleidoscópio, três espelhos reproduzem infinitamente a imagem no setor entre eles.



FIGURA 4. A calçada da Rua Garret no Chiado tem a assinatura *442 e o padrão desenhado por João Abel Manta na Praça dos Restauradores tem a assinatura 442, correspondendo aos grupos cristalográficos p4mm e p4, respetivamente.

ROTAÇÕES

abc representa centros de rotação por $\frac{360^\circ}{a}, \frac{360^\circ}{b}, \frac{360^\circ}{c}$, onde não passa qualquer espelho.



Por exemplo, a calçada entrançada nos Restauradores é preservada por rotação em torno de três centros por ângulos $\frac{360^\circ}{4}, \frac{360^\circ}{4}, \frac{360^\circ}{2}$, daí a assinatura 442. Qualquer outro centro de rotação para esta calçada é equivalente a um destes três.

CRUZAMENTOS

X representa uma reflexão com deslizamento.



Por exemplo, a calçada em frente ao Planetário Gulbenkian goza de dois quase-espelhos (daí a assinatura **XX**): a imagem refletida em cada uma das retas marcadas deve ser deslocada para que volte a coincidir com a imagem de partida. Note-se as diferentes quatro cores no padrão.



FIGURA 5. A calçada colorida no Mosteiro dos Jerónimos do lado do Planetário Gulbenkian tem assinatura XX, correspondendo ao grupo cristalográfico pg , e os anéis na calçada da Praça da República em Aveiro é o tipo de padrão O, um dos cinco ainda não encontrados em Lisboa, correspondendo ao grupo cristalográfico $p1$.

ADMIRAÇÕES

O simboliza um padrão sem espelhos, nem rotações, nem cruzamentos.



Por exemplo, a calçada imaginária ao lado não apresenta quaisquer dos aspetos anteriores, restando-lhe apenas a repetição do motivo por translação em duas direções distintas. A assinatura **O** sugere zero (ausência de outros aspectos) ou uma interjeição de admiração (Oh, não há outros aspetos!).

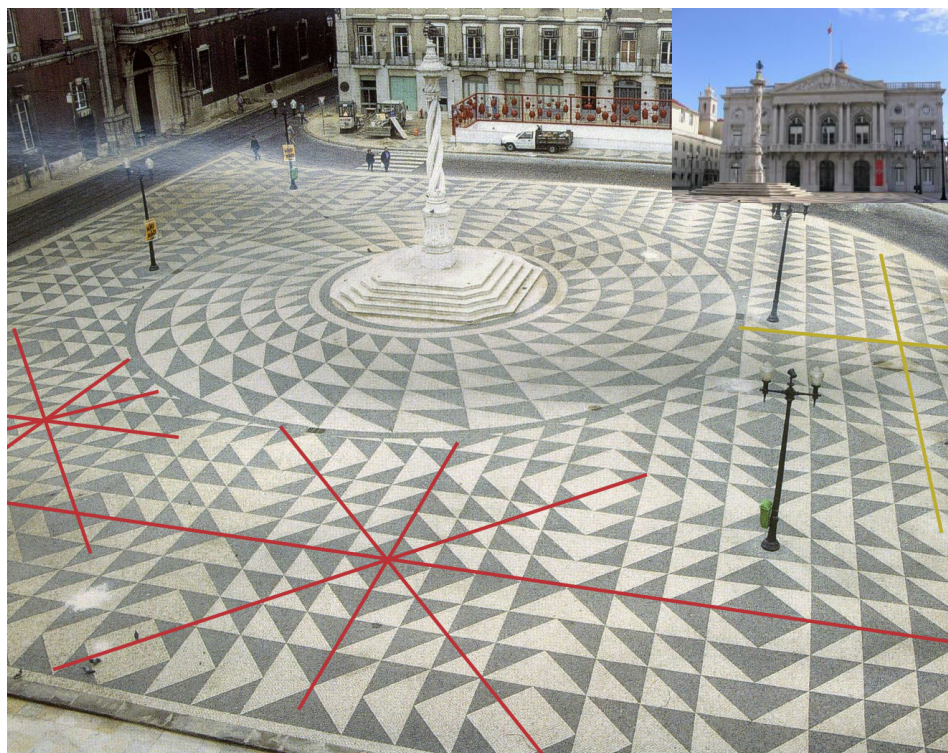


FIGURA 6. Os espelhos estão assinalados a vermelho e amarelo. Estes eixos encontram-se em três tipos de centros: Centros dos quadrados negros, centros dos quadrados brancos e vértices onde se encontram quatro triângulos maiores, dois negros e dois brancos. Nos centros dos quadrados negros ou brancos cruzam-se quatro eixos de reflexão e nos pontos de encontro de 4 triângulos só se cruzam 2 eixos. Portanto, a sua simetria tem assinatura $*442$, corresponde ao grupo $p4mm$.

Os frisos encontram-se nas artes decorativas de várias civilizações. Com efeito, com as nossas pegadas podemos estampar facilmente os sete tipos de frisos, todos eles existindo já nas calçadas de Lisboa. Alguns são antigos, outros mais recentes como o padrão ∞X , colocado na Praça Duque de Saldanha em 2017.

Uma das autoras, tendo observado mais de duzentas calçadas públicas em Portugal desde 2005, ano em que o matemático e professor da Universidade de Princeton (EUA) ministrou um curso sobre simetria em Lisboa, lançou o projeto [Simetria Passo a Passo](#), que contou com o apoio da Fundação Calouste Gulbenkian e, com a colaboração de dois estudantes do Instituto Superior Técnico, procedeu a um primeiro levantamento sistemático das calçadas simétricas, tendo proposto, em 2010, uma *Rota da Simetria* para Lisboa.

Em 2006, a Câmara Municipal de Lisboa e a Sociedade Portuguesa de Matemática assinaram um protocolo de colaboração para divulgar e completar os tipos de simetria existentes nas calçadas de Lisboa. Apesar dos 7 tipos de frisos já ter sido completado, ainda não se conhecem os 5 padrões indicados na FIGURA 7.

| 17 tipos de padrões (menús que não envolvem o símbolo ∞) | | | | | 7 tipos de frisos (menús que envolvem o símbolo ∞) | | |
|---|-------|------|-----|------|---|------------------|----------------|
| *632 | 632 | *442 | 442 | *333 | *22 ∞ | 22 ∞ | 2* ∞ |
| 333 | *2222 | 2222 | 4*2 | 3*3 | 2*22 | * $\infty\infty$ | $\infty\infty$ |
| 22* | ** | *X | XX | 22X | 0 | ∞^* | ∞X |

FIGURA 7. Os padrões correspondem as 17 assinaturas nos quadrados a azul claro e aos frisos as assinaturas assinaladas nos 7 quadrados mais escuros, estando assinalados com um círculo os 5 padrões que não foram ainda encontrados nas calçadas de Lisboa.

As simetrias planas na cultura portuguesa não aparecem só nas calçadas, mas também, por exemplo, nos azulejos.

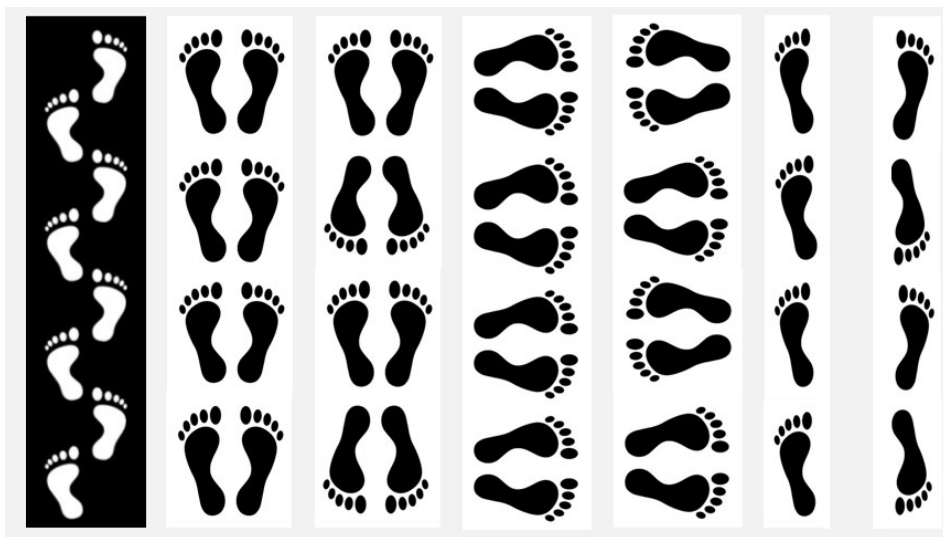


FIGURA 8. Os passos nos frisos: ∞X andamento normal; ∞^* salto com pés juntos; *2 2 ∞ salto com os dois pés aterrando de frente ou de costas; * $\infty\infty$ salto com os pés de lado; 2 * ∞ salto com os dois pés de lado e rodando 180°; $\infty\infty$ salto ao pé coxinho; 2 2 ∞ salto com o pé coxinho rodando 180°.

A riqueza visual e didática da simetria constitui um tema de relevante para a divulgação da matemática e para o ensino, fazendo parte dos novos programas do ensino básico.



FIGURA 9. Simetria $*2$ no passeio da Rua Garrett em 1922 e friso ∞X colocado em 2017 na Praça Duque de Saldanha.

A descrição de um DVD *Simetria, apresentação dinâmica*, produzido em 2009 pela associação *Atractor*, baseia-se na ideia da classificação dos padrões duplamente periódicos no plano inspirada no tratamento dos matemáticos M. MacBeath e W. Thurston que conduziu ao referido *Teorema Mágico*. Esse DVD é ilustrado com azulejos portugueses e mostra animações da produção de frisos e padrões com os 24 carimbos da FIGURA 11.

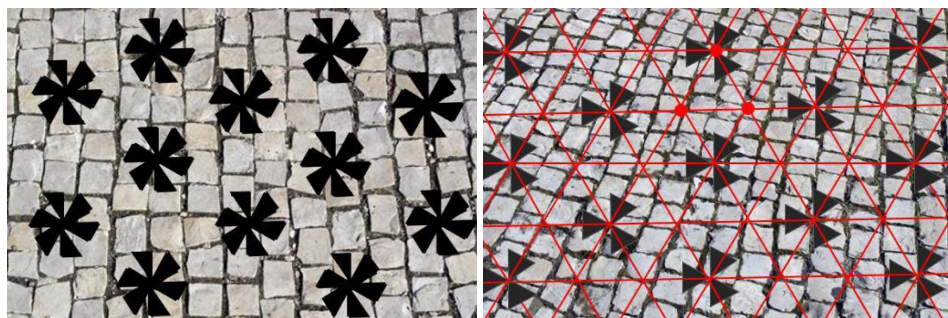


FIGURA 10. Uma calçada imaginária com hélices de seis pás com centros de rotação de ordem 6, 3 e 2, correspondendo a rotações de 60° , 120° e 180° tem a assinatura $6\ 3\ 2$ (à esquerda) e outra com hélices de três pás triangulares dispostas de forma a que os seus centros se cruzem três espelhos tem a assinatura $*3\ 3\ 3$ (à direita), correspondendo aos grupos cristalográficos $p6$ e $p3m1$, respetivamente.

A associação *Atractor* produziu e disponibiliza em acesso livre o programa [GeCLa](#), acessível a alunos de vários graus de ensino, que é capaz de gerar frisos e padrões e classificar as simetrias do plano. Este instrumento é, portanto, um poderoso meio de, dando largas à criatividade artística de cada um, em particular dos jovens, ajudar a promover a concursos para a construção de frisos e padrões e completar as 24 simetrias, não só nas calçadas de Lisboa, mas também pelas ruas e praças do resto do país.

No âmbito da celebração do tema *Matemática do Planeta Terra*, uma iniciativa lançada no quadro da IMU (*International Mathematical Union*), que envolveu em 2013 várias associações

e instituições em Portugal e foi apoiada pela Comissão Nacional de Matemáticas e pela Comissão Nacional da UNESCO, o Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa organizou uma série de ações e, seguindo a sugestão do projeto *Simetria Passo a Passo*, em particular, lançou em junho desse ano uma série de visitas guiadas com uma *Rota das simetrias das calçadas de Lisboa*, com um percurso com nove calçadas, partindo da calçada do Jardim Botânico e terminando na Praça do Município, passando pelas Praças dos Restauradores e do Rossio.

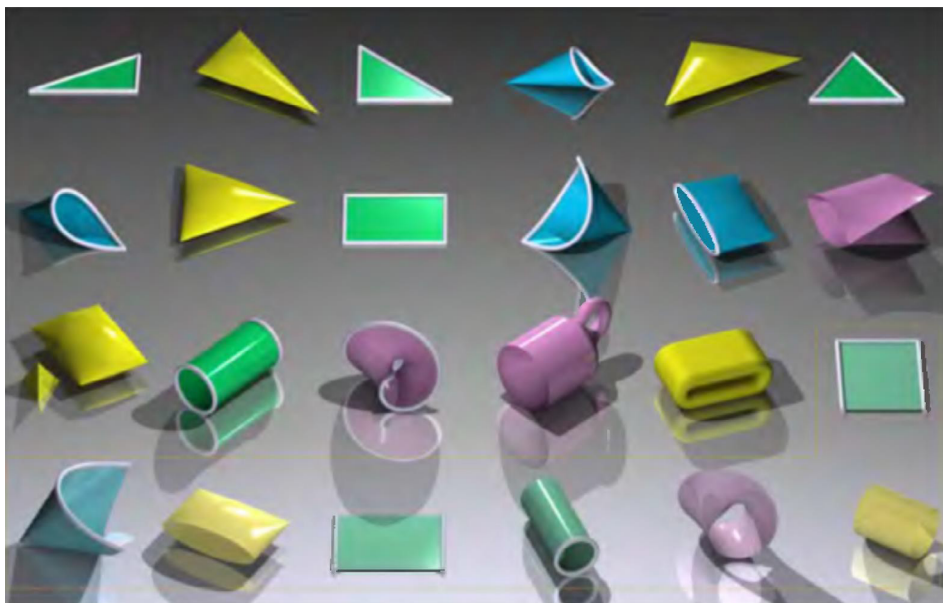


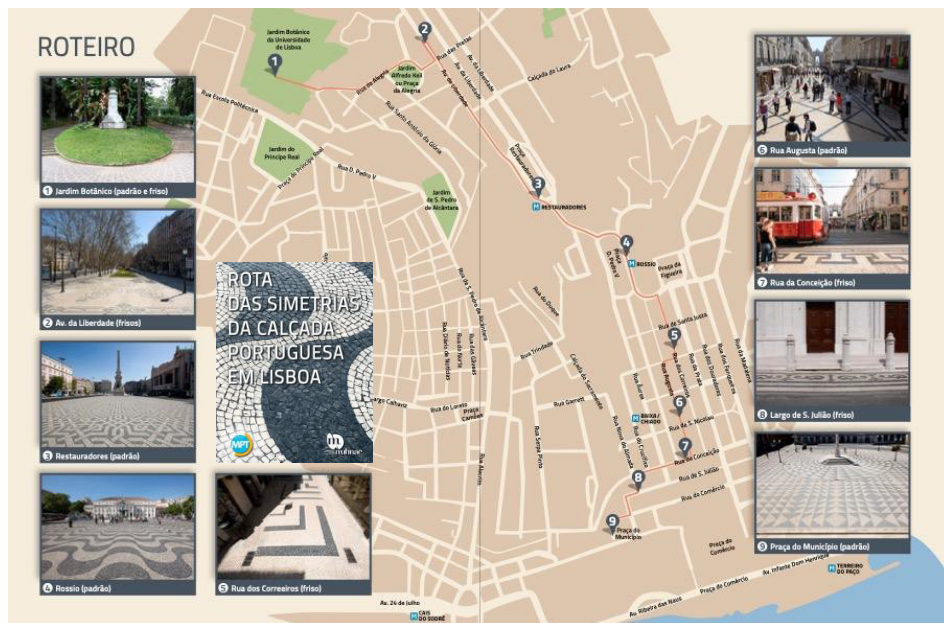
FIGURA 11. Os 24 carimbos para estampar os 17 padrões e 7 frisos no plano (os 6 na linha de baixo e o 7.º acima do último à direita), escolhendo livremente um motivo sem simetria, como por exemplo a letra J.

Essas visitas guiadas, que tiveram o apoio do *Ciência Viva* e da Câmara Municipal de Lisboa, mostravam e explicavam as assinaturas dos padrões dessas nove calçadas e relacionavam as características geológicas de Lisboa, evocando a ligação aos cristais através das simetrias matemáticas e anunciando o Ano Internacional da Cristalografia que decorreu em 2014.

Em 2017 foi constituída a [Associação da Calçada Portuguesa](#), impulsionada pela Câmara Municipal de Lisboa, com o desígnio de proteger, promover, valorizar e a internacionalizar a Calçada Portuguesa.

ANEXO

O roteiro das simetrias de nove calçadas em Lisboa nas visitas guiadas organizadas pelo Museu Nacional de História Natural e da Ciência da Universidade de Lisboa, participaram nas celebrações da [Matemática do Planeta Terra em 2013](#).



Espécies Reativas e Stress Oxidativo.

Lisa Sequeira

CIQUP-IMS | DQB/FC / U. Porto.

As espécies reativas de oxigénio e azoto (ERO e ERA, respetivamente) são produtos do metabolismo celular e desempenham um papel importante em funções fisiológicas e patológicas.

Estas espécies reativas (ER) incluem os radicais hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) e óxido nítrico (NO) e entidades químicas não radicalares como o peróxido de hidrogénio (H_2O_2) e o ácido hipocloroso (HOCl), entre outros. Na TABELA 1 encontram-se descritos alguns exemplos de ER.

TABELA 1. Exemplos de ER.

| Radicais Livres | | Espécies Não Radicalares | |
|---------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Radical superóxido | $\text{O}_2^{\cdot-}$ | Peróxido de hidrogénio | H_2O_2 |
| Radical hidroxilo | $\cdot\text{HO}$ | Oxigénio singleto | $\text{O}_2^2\cdot$ |
| Radical hidroperóxido | $\text{HOO}\cdot$ | Ozono | O_3 |
| Radical peróxido | $\text{ROO}\cdot$ | Ácido hipocloroso | HOCl |
| Dióxido de azoto | $\text{NO}_2\cdot$ | Peroxinitrito | $\text{ONOO}\cdot$ |
| Óxido nítrico | $\text{NO}\cdot$ | Trióxido de diazoto | N_2O_3 |
| Radical tiol | $\text{RS}\cdot$ | Ácido nitroso | HNO_2 |
| Radical lipídico | $\text{L}\cdot$ | Cloreto de nitrito | NO_2Cl |
| Radical peróxido lipídico | $\text{LOO}\cdot$ | Anião nitrosilo | NO^- |
| Radical alcóxido lipídico | $\text{LO}\cdot$ | Ácido peroxinitroso | ONOOH |
| Radical proteico | $\text{P}\cdot$ | Óxido nitroso | N_2O |
| Radical Carbonato | $\text{CO}_3^{\cdot-}$ | Hidroperóxido lipídico | LOOH |

Nos mamíferos, a formação de ER decorre maioritariamente de processos redox que ocorrem nas células. Deste modo, a produção de radicais livres é um processo fisiológico natural, sendo uma parte essencial da vida. No entanto, a produção excessiva de ER e a sua elevada reatividade podem ter implicações patológicas, causando danos aos sistemas que são responsáveis por manter a sua regulação. O efeito tóxico decorrente do excesso de ER é denominado de stress oxidativo e pode decorrer quando i) há um desequilíbrio entre a produção e

a eliminação de ER, com favorecimento do primeiro em detrimento do segundo; ii) os mecanismos de defesa endógenos não se encontram funcionais (FIGURA 1); iii) há alterações dos processos redox celulares.

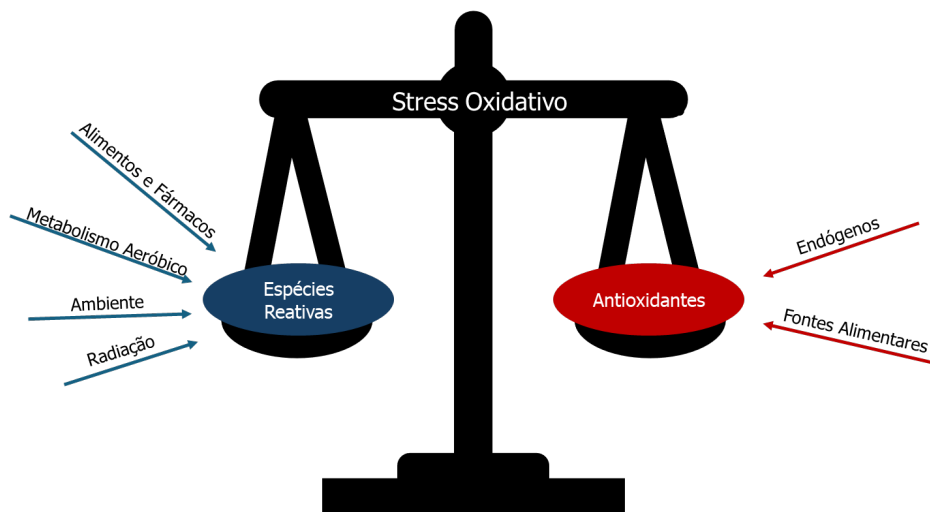


FIGURA 1. Balanço Oxidante/Antioxidante.

O stress oxidativo está associado à aceleração dos processos relacionados com o envelhecimento e ao aparecimento de diversas doenças crónicas incluindo doenças neurodegenerativas, cancro, diabetes e doenças cardiovasculares.

A sobreprodução de ER pode ter origem endógena, no caso de ocorrer defeitos no normal funcionamento do metabolismo celular ou exógena pela ação de poluentes ambientais, exposição a luz ultravioleta, raios x e gama, maus hábitos alimentares, metabolismo de fármacos (efeitos secundários), do uso de drogas de abuso, tabaco e/ou álcool.

Ouvindo peixes debaixo de água.

Manuel Vieira*, **Silvia Pedro ‡**, **Bernardo R. Quintella***, **Paulo J. Fonseca †**, **M. Clara P. Amorim***

*MARE|FC/U. Lisboa | †MARE/U. Évora | ‡CE3C|FC/U. Lisboa

Debaixo de água pode-se ouvir uma cacofonia de sons produzidos por diversas espécies. Apesar de os cetáceos e baleias serem os animais sonoros aquáticos mais conhecidos, em muitos locais os sons produzidos pelos peixes são um componente predominante da paisagem acústica subaquática. Várias espécies de peixes que ocorrem em Portugal são conhecidas por produzirem sons, com destaque para espécies nativas tais como o xarroco (*Halobatrachus didactylus*) e a corvina-legítima (*Argyrosomus regius*), e espécies invasoras como a corvinata-real (*Cynoscion regalis*). O som pode ser uma importante ferramenta para os investigadores avaliarem e monitorizarem espécies, incluindo peixes, e ecossistemas aquáticos. O caso da corvinata-real — uma espécie que invadiu alguns estuários portugueses — é exposto aqui como um exemplo da aplicabilidade da monitorização do som subaquático utilizando hidrofones.

Debaixo de água o som pode ser uma fonte de informação muito importante. A água permite propagar sinais acústicos cerca de cinco vezes mais rapidamente do que o ar e, se excluirmos águas rasas, até longas distâncias (por exemplo, até ca. 200 km para a baleia-azul). De facto, muitas espécies aquáticas utilizam o som para perceberem o ambiente que os rodeia, decidir na escolha do habitat, detetar predadores e presas, alertar sobre a presença de predadores ou atrair parceiros para reprodução. Como consequência, o som pode não só ser muito importante para os organismos aquáticos, como para o investigador que os estuda, pois oferece uma ferramenta para avaliar e monitorizar espécies e ecossistemas aquáticos.

Paisagens acústicas e Monitorização acústica passiva.

A paisagem acústica é o conjunto de todos os sons que se podem ouvir num local. Normalmente podemos ouvir sons de origem biótica (sons produzidos por animais), abiótica (como por exemplo sons resultantes da ação do vento ou da chuva), sendo também de destacar os sons de origem antropogénica (como os resultantes do tráfego marítimo). Mesmo sem ter a consciência disso, as pessoas percebem diariamente as paisagens acústicas ao seu redor, podendo extrair informação relevante, como por exemplo distinguir locais com elevada biodiversidade de locais degradados. Já no clássico livro infantil *A Fada Oriana* de Sophia de

Mello Breyner Andresen, o silêncio surge como maneira de indicar a degradação da floresta, mostrando que até os “amigos pássaros fugiram”. Neste contexto, a monitorização acústica passiva surge como um método que envolve a utilização de sensores acústicos (por exemplo, usando microfones ou hidrofones; FIGURA 1) para gravar a paisagem acústica, a partir da qual se pode então inferir informação com relevância ecológica.

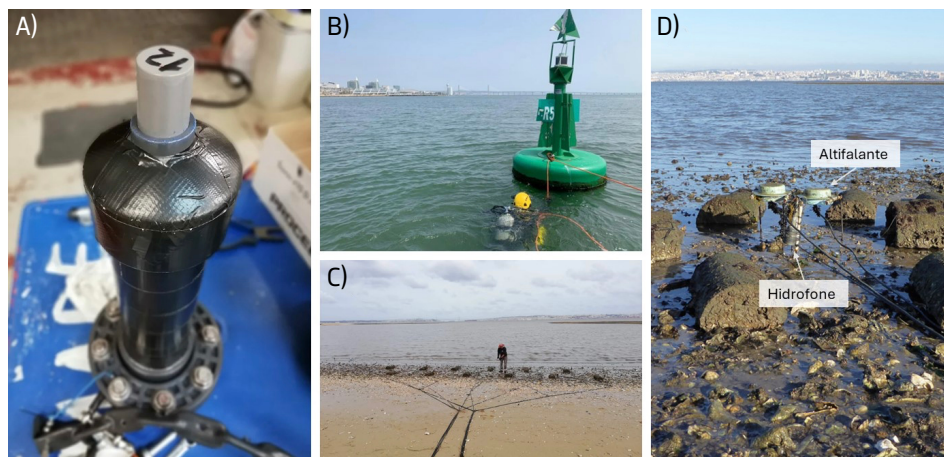


FIGURA 1. Exemplo de hidrofones (sensores acústicos) utilizados no estuário do Tejo. A) Registador autónomo com baterias e equipado com um hidrofone para gravar em locais isolados durante um longo período. B) Investigador colocando o hidrofone representado numa boia de sinalização. C) Montagem experimental para estudar machos de xarroco a nidificar em ninhos artificiais de cimento. D) Pode-se ver o detalhe de um hidrofone e dois altifalantes utilizados, por exemplo, para estudar o efeito do ruído de barco nos xarrocros.

Mas os peixes produzem sons?

Em muitos locais os sons produzidos pelos peixes são um dos componentes predominantes da paisagem acústica. Muitos peixes produzem sons para comunicar, especialmente durante a época de reprodução, em contextos agonísticos (que pode incluir lutas por território ou comida) ou de acasalamento. Para além disso, os peixes possuem a maior diversidade de mecanismos de produção de sons entre os vertebrados. Isto contraria a ideia que a maior parte das pessoas tem relativamente a estes organismos aquáticos. Contudo, apesar de ainda ser necessário desvendar muito sobre a comunicação acústica nos peixes, o facto de muitas espécies produzirem sons para comunicar não é uma novidade. Já em 1870 o escritor Júlio Verne, numa das suas obras mais famosas, as *Vinte Mil Léguas Submarinas*, relatava que “*Alguns autores, mais poetas que naturalistas, afirmam que estes peixes cantam melodiosamente e que as vozes reunidas de todos formam um concerto que não pode ser igualado por um coro de vozes humanas.*”. Jacques Cousteau, um famoso e pioneiro oceanógrafo francês, não podia estar mais enganado quando intitulou o seu primeiro grande documentário sobre o mundo subaquático marinho de *O Mundo do Silêncio*.

Em Portugal também existem peixes que produzem sons?

Ainda não se sabe exatamente quantas das espécies que ocorrem em Portugal produzem sons ativamente para comunicar. A caracterização dos sons produzidos pelos peixes é um dos desafios atuais. Contudo, espécies como o rascasso, castanhetas, cabozes, ruivos e cavalos-marinhos são conhecidas por produzirem sons. Duas espécies que ocorrem em Portugal são notórias pela quantidade e intensidade dos sons que produzem: o xarroco (*Halobatrachus didactylus*) e a corvina-legítima (*Argyrosomus regius*), dominando a paisagem acústica do estuário do Tejo na altura da primavera/verão (FIGURA 2).

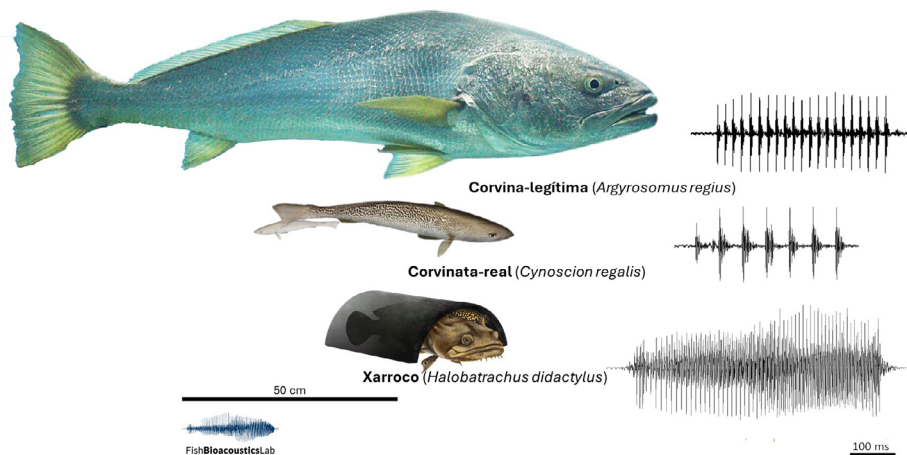


FIGURA 2. Atualmente os sons das espécies nativas corvina-legítima e xarroco, e da espécie invasora corvinata-real, dominam a paisagem acústica do estuário do Tejo. Nesta figura está representada a forma de onda dos sons mais comuns destas espécies.

O xarroco é uma espécie com um repertório involuntariamente grande, produzindo sirenes, coxos e tamborilados. Nesta espécie, os machos produzem sons para atrair as fêmeas para os seus ninhos, que são espaços entre ou debaixo de rochas. As fêmeas depositam os ovos na parte superior do ninho, mas são os machos os responsáveis pelos cuidados parentais. Isto é, são os machos que ficam no ninho a cuidar das crias, arejando e limpando a postura, e defendendo-a de predadores. É importante salientar que machos que não produzam sons não conseguem acasalar. Os sons, para além de serem importantes no sucesso reprodutor, têm também um papel nas interações entre os machos. Os machos territoriais não vocalizam aleatoriamente; eles monitorizam os seus vizinhos e, face a isso, ajustam o seu próprio ritmo para evitar sobreposição dos seus sons.

Sedentarismo.

Sarah Caroline Lopes, Rodolfo Coelho Prates

PPGSMA/ PPGPCS | U. Região de Joinville

O impacto prejudicial do sedentarismo à saúde é abordado neste artigo, explorando fatores relacionados a esse comportamento. São discutidos os efeitos negativos que o sedentarismo pode ter sobre o indivíduo, bem como as recomendações para a prática de atividade física, visando a manutenção da saúde.

O sedentarismo é caracterizado pela ausência ou insuficiente prática de atividade física (AF), abaixo das recomendações atuais para cada faixa etária. O comportamento sedentário, considerado um fator de risco para o sedentarismo, é descrito como o período em que se permanece sentado ou deitado com baixo gasto energético, enquanto acordado, no contexto ocupacional, educacional, doméstico e comunitário e no transporte.

Dados da Pesquisa Nacional de Saúde, do ano de 2019, apontaram que 40,3% dos adultos no Brasil foram categorizados como insuficientemente ativos. Em 2018, o Brasil gastou expressivos R\$ 3,45 bilhões no tratamento de hipertensão arterial, diabetes e obesidade, condições essas, também relacionadas à inatividade física.

Alguns dos fatores associados ao sedentarismo incluem a falta de apoio social, de espaço físico, de tempo, de habilidade esportiva, o baixo nível socioeconômico, a deficiência física percebida etc., conforme a FIGURA 1.



FIGURA 1. Fatores associados ao sedentarismo. A imagem central representa o sedentarismo e as imagens externas simbolizam os fatores associados à esse estilo de vida.

O sedentarismo acarreta diversos prejuízos à saúde, incluindo a rápida perda muscular, evidente em apenas dois dias de inatividade física, além da redução da sensibilidade à insulina.

Não se exercitar regularmente é apontado como uma das principais razões para o aumento do risco de mortes prematuras em todo o mundo.

Uma das principais orientações para diminuir as chances de desenvolver doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) como doenças cardiovasculares e diabetes, por exemplo, é adotar hábitos mais saudáveis, como alimentar-se de forma equilibrada e realizar atividades físicas regularmente. No Brasil, no ano de 2018, aproximadamente 71% das mortes foram em decorrência a DCNT.

A estimativa é de que quatro e cinco milhões de mortes por ano poderiam ser evitadas se as pessoas adotassem um estilo de vida mais ativo em escala global. As recomendações atuais sugerem que adultos realizem pelo menos 150 a 300 minutos por semana de atividade física de intensidade moderada para manter a saúde. Entretanto, no ano de 2010, aproximadamente 23% dos adultos e 81% dos adolescentes no mundo não realizaram a quantidade de AF indicada pelas atuais diretrizes, indicando uma parcela significativa da população que não estava seguindo as orientações de atividade física naquele período.

Quando se fala em realizar AF diariamente para manutenção da saúde, não se limita a exercícios supervisionados. A AF é definida como qualquer movimento corporal que acione os músculos esqueléticos e que resulte em gasto de energia, possibilitando que a frequência, duração e intensidade da atividade escolhida sejam ajustadas conforme necessidade do praticante.



FIGURA 2. Exemplos de atividade física.

A atividade física abrange diferentes áreas da vida, cada uma com suas características distintas. A AF de lazer, ocorre no tempo livre e de acordo com as preferências individuais do praticante, exemplos incluem musculação, dança, futebol etc. A AF de deslocamento acontece durante a locomoção de um local a outro, como caminhar, pedalar e outros meios de transporte ativos. A AF ocupacional acontece durante o período de trabalho ou atividades educacionais envolvendo tarefas como jardinagem e a participação em aulas de educação física escolar. Por fim, a AF doméstica são as atividades realizadas em prol ao seu lar, como limpar o chão, dar banho em crianças, fazer compras etc.

Sugere-se que todos os indivíduos pratiquem a quantidade de AF recomendada para sua faixa-etária. Entretanto, as rotinas agitadas da atual geração muitas vezes não permitem que isso aconteça. Caso não seja viável praticar exercícios em quantidade suficiente, é recomendável que seja realizada em menor quantidade e intensidade em vez de permanecerem inativos.

A atividade física leve e com menor duração, apesar de ser insuficiente traz mais benefícios para a saúde do que permanecer inativo. Recomenda-se ainda, que os praticantes aumentem seus níveis de AF sempre que possível.

Portanto, o sedentarismo resulta em múltiplos efeitos adversos à saúde, estando relacionado a mortes precoces. São diversos os fatores associados a esse estilo de vida. Introduzir a prática regular de atividade física na rotina diária oferece uma série de vantagens à saúde, mesmo que o tempo dedicado seja limitado. Sugere-se a realização de novos estudos acerca do tema, para que se obtenha maiores evidências científicas.

A Água não tem sabor?

Joana Rodrigues

ICT/U. Minho | Geopark Naturtejo Mundial da UNESCO

ARTIGO

26

Dizemos habitualmente que a água não tem sabor, mas, na realidade, uma simples degustação de dois ou três tipos de águas pode mostrar que elas não são iguais e que as podemos distinguir, uma vez que as pequenas diferenças de sabor que se conseguem facilmente identificar reflectem a variação de parâmetros físico-químicos resultantes dos diferentes contextos de circulação subterrânea da água.

Nesta perspetiva, uma prova cega de águas é uma inovadora estratégia de educação e comunicação de ciência sobre as águas subterrâneas que oferece uma oportunidade única para os participantes compararem diferentes tipos de água, através de uma experiência sensorial acompanhada pela exploração dos processos hidrogeológicos subjacentes.

Introdução.

Cerca de dois terços da superfície terrestre consistem em água, principalmente salgada, armazenada nos mares e oceanos, onde as primeiras formas de vida surgiram há mais de 3800 milhões de anos. Indubitavelmente, a água é também o elemento essencial para a integridade dos ecossistemas e para a vida, constituindo, em média, cerca de 65% do corpo humano. Além disso, a água desempenha um papel crucial como agente de meteorização e erosão, sendo responsável pela alteração de rochas e pela modelação da superfície terrestre e da paisagem. A sua gestão sustentável emerge, assim, como um desafio crítico de dimensão global, exigindo a constante busca por estratégias inovadoras.

No entanto, a tomada de consciência sobre os processos da água subterrânea e a sua importância no ciclo hidrológico é muitas vezes subestimada, se se considerar que é nos aquíferos que a água subterrânea se encontra resguardada de agressões externas, constituindo recursos inestimáveis e extremamente preciosos que urge preservar.

Ora, a água, nas suas variadas dimensões, é um tema que atravessa currículos, sendo constante ao longo dos programas de várias áreas disciplinares e níveis de ensino, desde as Ciências Naturais até à Geografia, passando pelas Ciências Físico-químicas e até mesmo pela Literatura e História. Assim, a água ocupa uma posição transversal, interligada com os temas ambientais, sociais e culturais.

Neste contexto, uma experiência de provas de águas representa uma abordagem inovadora na educação e comunicação de ciência sobre as águas subterrâneas que permite a ponte entre uma análise sensorial, os processos hidrogeológicos por detrás da sua formação, assim como os desafios associados à sua gestão sustentável, como adiante se discutirá.

A água e os desafios de sustentabilidade do planeta.

A gestão sustentável da água é um dos desafios mais prementes que o nosso planeta enfrenta actualmente. Uma série de questões complexas, como a escassez em algumas regiões, a deterioração da qualidade da água devido à poluição e o acesso desigual à água potável, estão no centro de grandes preocupações. Não podemos esquecer que a água é essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos e é hoje em dia considerada um recurso ameaçado. Dados recentes ressaltam a gravidade da situação, indicando que aproximadamente 25% da população mundial reside em regiões com um nível extremamente elevado de stress hídrico, situação em que a procura de água ultrapassa consistentemente a sua disponibilidade, uma vez que o consumo excede a capacidade de renovação dos recursos hídricos locais.

Embora constitua apenas cerca de 0,7% das reservas globais, a água doce facilmente acessível (mais de 40.000 m³) seria suficiente para atender a todas as necessidades humanas. Porém a sua distribuição no planeta é desigual e mais de 600 milhões de habitantes em todo o mundo não têm acesso a água potável.

Por sua vez, a água é já actualmente fonte de vários conflitos internacionais, onde se compete por recursos hídricos, disputando-se o acesso e o controlo sobre rios e bacias hidrográficas partilhados e aquíferos transfronteiriços.

Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável é um dos *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)* da Agenda 2030 das Nações Unidas. O ODS 6 inclui metas específicas para garantir a água como recurso vital, promover equidade no acesso, salvaguardar ecossistemas aquáticos e fortalecer a resiliência das comunidades diante das mudanças climáticas.

Perante a urgência de enfrentar estas disparidades e garantir a gestão sustentável dos recursos hídricos, torna-se imperativo adoptar abordagens inovadoras e implementar medidas concretas para preservar e proteger esse recurso vital para a vida na Terra. É necessário, para isso, aumentar a consciencialização e o envolvimento público, através de estratégias abrangentes de educação e comunicação de ciência, focando especificamente os processos hidrogeológicos das águas subterrâneas, essenciais para dar respostas aos desafios da contaminação ou da sobreexploração.

Debaixo dos nossos pés.

Aprende-se desde cedo e reforça-se ao longo do percurso académico que a água não tem cor, não tem cheiro e não tem sabor. Aprende-se também que a água ocorre naturalmente em três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) e, mais à frente, aprendem-se as etapas do ciclo

hidrológico. Mais tarde, aprende-se que a água é constituída por oxigénio e hidrogénio e, um pouco depois, que tem grande capacidade de dissolução. Apesar de o tema ser constante ao longo dos currículos, pouca atenção vai sendo dada à parte mais longa e complexa do ciclo hidrológico, que é a sua circulação subterrânea.

Nas veias do planeta.

Dos cerca de 3% de água doce existente no nosso planeta, a maioria encontra-se nos glaciares e icebergs e estima-se que, destes, apenas 3%, uma minoria (aproximadamente 22%), corresponda à água subterrânea, o que significa que somente cerca de 0,6% de toda a água da Terra é naturalmente pura.

Como sabemos, é precisamente nas rochas do subsolo, nos aquíferos, que se alojam as águas subterrâneas, constituindo reservatórios fundamentais de recursos hídricos, e a sua recarga depende do equilíbrio entre infiltração, escoamento e evaporação de água da superfície, o que significa que apenas uma pequena parte da água da chuva se vai infiltrar e recarregar estes reservatórios subterrâneos.

O ciclo subterrâneo pode durar dias, meses, anos ou até milhares de anos, dependendo das características do aquífero, com a água a movimentar-se essencialmente de forma muito lenta à escala humana (FIGURA 1). Ora, para que a água circule é necessário que haja espaços vazios nas rochas, poros e fracturas, onde ela possa permanecer, ou entre os quais se possa mover, numa coreografia lenta e complexa. Ao contrário do que possa parecer inicialmente, a porosidade, que se refere à quantidade de espaços vazios no solo, e a permeabilidade, que indica a capacidade do solo em permitir a passagem da água, não estão directamente interligadas. Isso fica evidente ao considerar-se o exemplo das argilas, que, embora apresentem elevada porosidade, são praticamente impermeáveis. Tal fenómeno ocorre devido ao facto de, apesar de possuírem muitos poros, estes serem pequenos e se encontrarem fechados, limitando a passagem eficiente da água.



FIGURA 1. O ciclo da água é amplamente reconhecido, porém o papel e os processos da fase subterrânea são praticamente desconhecidos pela sociedade.

É precisamente durante este contacto com os materiais geológicos que a água interage com os minerais presentes nas rochas, dissolvendo-os gradualmente e absorvendo os sais correspondentes. Naturalmente, este processo é responsável pela mineralização da água, pela quantidade de elementos químicos em solução, que é influenciada por factores como a duração da interacção água-rocha, pela profundidade alcançada ou pela temperatura a que decorrem as reacções. Daqui se conclui que o contexto geológico, o tipo de materiais e rochas que a água atravessa, imprime uma assinatura única, conferindo-lhe uma identidade distintiva e deixando uma espécie de impressão digital na água. Assim, pode dizer-se que o subsolo corresponde a um verdadeiro “laboratório subterrâneo” onde a percolação da água, a sua passagem através de rochas impermeáveis, contribui não só para a sua mineralização natural, como também para a sua filtração natural, eliminando microrganismos e substâncias em suspensão. Em conclusão, os materiais geológicos que compõem os aquíferos são elementos fundamentais para a protecção das agressões externas e manutenção da qualidade da água em profundidade.

De acordo com a legislação em vigor (Lei n.º 54/2015, de 22 de Junho), considera-se água mineral natural a “água bacteriologicamente própria, de circulação subterrânea, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais, de que podem resultar eventuais propriedades terapêuticas ou efeitos favoráveis à saúde”. As águas minerais naturais têm origem em aquíferos localizados em profundidades significativas no subsolo, contendo sais minerais e outros oligoelementos que são benéficos para a saúde humana, podendo inclusivamente apresentar propriedades terapêuticas, e podendo ser usadas para engarrafamento e termalismo. Aliás, as propriedades “curativas” das águas são reconhecidas desde tempos remotos e têm sido valorizadas ao longo da história, desempenhando um significativo papel no desenvolvimento social e económico, não esquecendo que estas águas minerais naturais podem ainda ser usadas para a geotermia.

Por sua vez, as águas de nascente, em contraste com as minerais naturais, manifestam uma variabilidade química sazonal mais pronunciada devido a um menor tempo de circulação no subsolo. No entanto, e conforme estabelecido pela legislação (Lei n.º 54/2015, de 22 de Junho), pertencem ao domínio privado, podendo ser exploradas através de licença de exploração, enquanto as águas minerais naturais pertencem ao domínio público, exploradas através de regime de concessão.

Tanto as águas minerais naturais como as de nascente caracterizam-se pela singularidade de manterem a sua pureza natural original e não serem submetidas a quaisquer tratamentos químicos e emprego de aditivos antes de serem consumidas.

Águas minerais naturais em Portugal.

Considerando que a composição das águas minerais naturais é influenciada pelas rochas onde circulam e pelos aquíferos onde residem, é fácil de compreender que a elevada Geodiversidade de Portugal se encontra “diluída” em várias águas, sendo responsável por uma grande diversi-

dade físico-química de águas minerais naturais, estando identificadas em todo o país mais de 400 nascentes de águas minerais naturais e de águas de nascente.

No entanto, em Portugal continental, a distribuição de águas minerais é desigual, sendo mais concentrada nas regiões Norte e Centro. Essa disparidade está relacionada com características geológicas e estruturais, principalmente associadas a acidentes tectónicos, como a falha de Penacova-Régua-Verin ou a falha da Vilarça, envolvendo fluidos gerados em profundidade, em processos metamórficos e/ou magmáticos. Nas regiões Centro e Sul e nas Orlas Meso-Cenozóicas Ocidental e Meridional, dominadas por formações geológicas sedimentares, predominam águas fundamentalmente influenciadas por processos de dissolução das rochas, ligadas a falhas activas ou diapiros salinos. É possível, então, distinguir as seguintes grandes unidades hidrogeológicas, cada uma com características bem distintas: Maciço Antigo, Orlas Meso-cenozóicas Ocidental e Meridional e a Bacia do Tejo-Sado.

Relativamente aos arquipélagos dos Açores e da Madeira, as condições hidrogeológicas de cada ilha são determinadas pelo tipo de formações vulcânicas que compõem o substrato das ilhas e pela actividade vulcânica.

A riqueza hidromineral do país é reconhecida desde o tempo dos Romanos, conforme documentado por Plínio, o Velho, na sua obra "História Natural" (Livro 2 Cap.103; 77-79 d.C.), onde inúmeras águas minero-medicinais e termais são mencionadas. Mas em Portugal, a primeira catalogação sistemática das águas minerais naturais foi publicada na obra "Aquilégio Medicinal" de Francisco da Fonseca Henriques (1726). De referir que esta obra é uma referência, que não apenas representa um marco histórico para o património hidrogeológico do país, como também um valioso inventário que integra importantes ocorrências ainda hoje em utilização.

Segundo a Direcção Geral de Energia e Geologia (2024), existem actualmente 82 águas minerais naturais qualificadas em Portugal Continental, ou seja, águas reconhecidas pelas entidades competentes pelas suas características essenciais e pela sua conformidade com as definições antes apresentadas, usadas para engarrafamento, termalismo e geotermia.

Prova de Águas como experiência educativa.

Todos aprendemos que o ciclo da água é um processo natural contínuo, no qual a água evapora da superfície da Terra, sobe para o céu, forma nuvens e, posteriormente, retorna ao solo como chuva ou neve; parte dela também se infiltra no solo para se tornar água subterrânea, que pode ressurgir mais tarde. No entanto, é comum abordar-se o ciclo da água como uma série regular de fases, negligenciando, na maioria das vezes, a parte subterrânea, um estágio "invisível" e prolongado, que representa a fase mais lenta de todo o ciclo e essencial para a formação da água mais pura do planeta e que dispensa qualquer tratamento químico antes de ser consumida.

A prova de águas em contexto educativo pretende, assim, destacar a importância e os processos envolvidos na formação da água subterrânea, proporcionando uma visão mais abran-

gente e aprofundada da dinâmica do ciclo. Esta experiência educativa pode ser adaptada aos diferentes níveis e áreas disciplinares em que o tema da água seja explorado.

A prova cega de águas é uma actividade de degustação onde os participantes têm a oportunidade de experimentar e avaliar diferentes tipos de águas, incluindo a observação visual, a análise olfactiva e a avaliação gustativa. Uma vez que não há duas águas minerais naturais iguais, cada uma possui uma identidade única, moldada pelo processo de circulação subterrânea, transformando cada gole numa visita guiada pelo contexto geológico em que se formou.

Apesar de o objetivo da prova não ser a identificação individual de cada água, a escolha e a sequência de degustação são cruciais para o resultado da prova, sendo essencial que entre cada amostra haja uma considerável disparidade, pelo menos num parâmetro específico, como o pH ou a mineralização total, de forma a tornar as nuances de sabor facilmente distinguíveis e comparáveis.

Para a realização da prova cega são necessárias garrafas ou recipientes descaracterizados, de preferência iguais, rótulos de águas engarrafadas, mapas geológicos simplificados, e amostras das rochas mais representativas dos contextos geológicos em causa (FIGURA 2). Sublinhe-se que é importante as águas sejam apresentadas em recipientes iguais e descaracterizados, para que a prova seja realmente cega.



FIGURA 2. Materiais a incluir na prova cega de águas.

Relativamente ao panorama das águas engarrafadas portuguesas, destaca-se o elevado pH das de Monchique, o baixo pH da Penacova ou Vitalis, a elevada mineralização total da Vimeiro Original ou a baixa mineralização da Fonte da Fraga ou Vitalis.

Relativamente à sequência, considera-se pertinente comparar o sabor e a textura entre águas gasocarbónicas e gaseificadas, assim como perceber como o gás afeta o sabor, comparando uma água mineral natural com a mesma água à qual foi adicionado gás carbónico (como por exemplo nas águas Carvalhelhos ou Vimeiro). De realçar que é interessante comparar o sabor de águas com quantidades contrastantes de sais dissolvidos, como acontece com a água mineral natural Vimeiro Original e a Vimeiro Lisa, que, passando por um processo de filtração, resultam numa água de muita baixa mineralização. Não esquecer que é importante incorporar amostras de águas não engarrafadas, nomeadamente das termais.

O número de águas utilizadas deve ser determinado de acordo com o público-alvo, os objetivos específicos e o contexto da actividade, podendo variar entre 3 e 15–20 amostras.

Note-se que a prova de águas deverá, sempre, ser acompanhada pela análise dos rótulos correspondes (no caso das águas engarrafadas), proporcionando informações sobre a origem e composição de cada amostra, o que permitirá uma melhor compreensão das diferenças entre elas, mas também sustentará a sua ligação ao contexto hidrogeológico.

Para faixas etárias mais baixas, a actividade poderá ser integrada numa perspetiva mais transversal e incluir outras actividades práticas complementares.

A propósito do Dia Mundial da Água, a UNESCO promoveu a campanha “Águas subterrâneas: tornar visível a invisível”, num esforço de combater a invisibilidade das águas subterrâneas, disponibilizando diversos recursos pertinentes sobre o tema.

Exploração metodológica.

A degustação de águas aqui proposta, inspirada nas tradicionais provas de vinhos, visa permitir a análise das principais características distintivas de cada amostra, possibilitando a relação entre o seu sabor, as suas propriedades e o contexto geológico em que foram formadas.

Enquanto algumas das etapas do protocolo sugerido (TABELA 1) podem ser dispensadas, dependendo das águas utilizadas, as avaliações visual e olfactiva são pertinentes quando se trata de águas não engarrafadas, especialmente as termais. Já a análise da temperatura é relevante ao lidar com águas termais provadas directamente na captação.

A primeira a ser degustada deverá ser uma água engarrafada local ou uma marca popular na região da prova. Ao provar a primeira amostra, os participantes não irão conseguir identificar parâmetros específicos, mas serão capazes de reconhecer se a água tem um sabor agradável e se se assemelha à que normalmente consomem. A partir da segunda amostra, será já possível detetar diferenças, com subtis variações de sabor.

TABELA 1. Protocolo.

| VISÃO |
|---|
| 1. Examinar visualmente |
| <ul style="list-style-type: none"> · Turbidez · Cor |
| OLFACTO |
| 2. Agitar, com movimentos circulares, e cheirar |
| <ul style="list-style-type: none"> · Aroma · Intensidade |
| PALADAR |
| 3. Provar (sem engolir imediatamente); inspirar com a água na boca |
| <ul style="list-style-type: none"> · Aroma de boca · Temperatura · Intensidade · Persistência |
| |
| 4. Efectuar registos |

É importante salientar que a análise sensorial deve ser acompanhada do registo de alguns parâmetros responsáveis pela variação de sabor e que possam ser relevantes para a análise do contexto geológico (TABELA 2). Estes parâmetros podem ser consultados nos respectivos rótulos ou na bibliografia, no caso de águas não engarrafadas. Encontram-se disponíveis ferramentas online que compilam informação detalhada, como a plataforma “Hidrogenoma” da *Direcção Geral de Energia e Geologia*, que disponibiliza fichas detalhadas de caracterização das águas minerais naturais portuguesas. O *Comparador de Águas* da Vimeiro permite a comparação da composição química de uma selecção de águas de mesa comercializadas no mercado português, com base em informação presente nos rótulos de cada marca.

TABELA 2. Exemplo de tabela para registo de características físico-químicas.

| Amostra | pH | Mineralização total (mg/l) | Sílica (SiO ₂ mg/l) | Catiões | | Aniões | | Local da captação | Principal diferença relativamente à anterior |
|---------|-----|----------------------------|--------------------------------|------------------|-----|--------|-----|-------------------|--|
| | | | | Ca ²⁺ | ... | | ... | | |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | | | | |

Prova de Águas – estratégia de comunicação de ciência e interpretação de património geológico.

Falar de águas minerais naturais é contar histórias, uma vez que a natureza transversal da temática da água permite pontes entre a Ciência e a Cultura ou entre o passado e o presente ou entre a saúde e o ambiente. Por exemplo, quando provamos as águas minerais naturais das Termas de Monfortinho, falamos de água que circula em quartzitos, rochas que naquela região se formaram há cerca de 480 milhões de anos pela deposição de sedimentos num fundo marinho repleto de trilobites e outros seres vivos primitivos. Assim, provar a água das Termas de Monfortinho é atravessar vários episódios da história da Terra, e importantes eventos que moldaram o nosso planeta nos últimos milhões de anos; provar águas do Vimeiro é falar da Rainha Santa Isabel e da Infanta D^a Leonor, figuras históricas emblemáticas que reconheceram as virtudes das propriedades terapêuticas das Águas Santas do Vimeiro.

É do senso comum uma pessoa questionar “para que é que estas águas são boas?”, num interesse natural em conhecer os seus potenciais efeitos positivos e os benefícios terapêuticos que determinadas águas minerais podem proporcionar à saúde. Talvez não seja tão óbvia a pergunta “por que motivo esta água tem um cheiro tão forte?”, questão que se levanta perante o odor característico das águas sulfúreas como as de Manteigas, Fadagosa de Nisa, Águas, Caldas da Rainha, entre outras; ou “porque é que a água tem esta cor?”, relativamente a tantas águas de fontes férreas ou ferranhas, enquanto quase raramente surge a questão “como é que estas águas adquirem estas propriedades?”. É precisamente este o objetivo de uma experiência de prova de águas: suscitar a curiosidade e o interesse sobre o circuito das águas subterrâneas.

Nos últimos tempos, tem-se assistido a um aumento de destaque que várias marcas de águas de mesa têm vindo a dar a parâmetros físico-químicos como o pH, cada vez mais destacado nos rótulos e na promoção dessas marcas. É evidente que esta tendência surge como resposta a uma maior exigência dos consumidores, cada vez mais conscientes do papel da água na sua saúde e bem-estar.

Entretanto, muitas destas águas minerais naturais emergem em geossítios, locais de relevância geológica, com reconhecido valor patrimonial, como por exemplo as águas da Fonte das Virtudes ou da Ferraria, locais incluídos no Inventário Nacional de Património Geológico. Outras, também integradas nos Inventários de Património Geológico dos Geoparques Mundiais da UNESCO portugueses, como as nascentes termais da Carapacho (Açores), Unhais da Serra (Estrela), de Monfortinho (Naturtejo) ou Caldas da Rainha (Oeste), para além do seu valor científico, destacam-se também pela sua importância geocultural e histórica, uma vez que as características e qualidades destas águas foram reconhecidas pelas populações e aproveitadas para fins terapêuticos, em alguns casos desde, pelo menos, o período Romano, tendo sido importantes motores de desenvolvimento.

Assim, a partir da mais antiga e vulgar técnica termal de hidropinia, a ingestão de água, desenvolveu-se uma estratégia de prova cega, baseada nos princípios das provas de vinhos, com o objetivo de identificar as propriedades das águas, através dos sentidos, tentando reconstituir

o seu percurso subterrâneo individual. Esta actividade surgiu como estratégia de interpretação do património hidrogeológico do *Geopark Naturtejo Mundial* da UNESCO, um património materializado em geossítios cujas características representam exigentes desafios de comunicação.



FIGURA 3. A), B) Provas de águas em contextos formais de formação de professores e informais em feira de promoção turística. C) Provas de água em Ciência Viva, no Verão. D) Provas de água na praia fluvial.

Esta abordagem tem sido vastamente implementada em inúmeros contextos formais e não formais, ora educativos, ora turísticos, ora de lazer, ora em contexto termal, para os mais diversos públicos (FIGURA 3). As provas de águas têm sido dinamizadas em acções de promoção turística, de divulgação científica no âmbito da Ciência Viva no Verão ou da Noite Europeia de Investigadores, em visitas turísticas, em contextos menos convencionais como em praias fluviais ou no mercado, na celebração de datas como o Dia Mundial da Água ou o Dia Mundial da Alimentação, pelo que tem sido dada grande ênfase à formação, nomeadamente para profissionais de balneários termais ou de empresas de animação turística, contribuindo para a integração efectiva desta experiência em produtos turísticos disponíveis ao público. Noutra perspetiva, dado o elevado potencial educativo desta actividade, tem sido feita uma grande aposta na formação de professores, nomeadamente na promovida anualmente pela *Casa das Ciências*.

Coleções didáticas de *Arthropoda* da Universidade Federal do Amapá, Brasil.

Raimundo Nonato Picanço Souto, Tiago Silva da Costa, Ledayane Mayana Costa Barbosa

U. Federal do Amapá

As coleções didáticas de *Arthropoda* da Universidade Federal do Amapá albergam táxons dos subfilos *Crustacea*, *Chelicerata*, *Myriapoda* e *Hexapoda* e têm como principal função dar apoio às aulas práticas das disciplinas Zoologia II, Entomologia Médica e Parasitologia Geral dos cursos de graduação e Tópicos Especiais em Biodiversidade: Entomologia Médica e Forense, nos programas de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical, Bionorte e Ciências da Saúde, bem como, receber visitas de alunos e professores dos ensinos fundamental e médio, realizar exposições em escolas, logradouros públicos, faculdades, parques e promover cursos de capacitação a professores, fortalecendo o tripé ensino, pesquisa e extensão. O uso das coleções didáticas de Zoologia é de suma importância para otimizar o ensino-aprendizagem, demonstrar e implementar na universidade ações coletivas de educação para a biodiversidade utilizando as coleções biológicas como tema, além de mostrar a importância desse acervo para o entendimento e a conservação dos ecossistemas e dos ambientes naturais frente às ameaças de atividades antrópicas na Amazônia brasileira.

O filo *Arthropoda* constitui o grupo com a maior diversidade e abundância em nosso planeta, representado por mais de 1 milhão de espécies descritas, distribuído em quase todo o planeta Terra e ocupando todos os *habitats*.

As Coleções Didáticas Zoológicas são compostas por conjuntos de espécimes inteiros ou partes deles, representando amostras de populações naturais. Assim, as coleções zoológicas atuam como uma biblioteca das espécies do passado e do presente, auxiliando na conservação da biodiversidade, por meio de pesquisas e do processo educacional.

Dentro desta proposta, as coleções didáticas constituem acervos importantes para o entendimento e estudo da biodiversidade. O ensino por meio das coleções pode permitir que os alunos aprimorem a aprendizagem, pois a ilustração dos animais (por meio de imagens) no ensino não consegue demonstrar a realidade que cada espécie possui. O manuseio dos espécimes revela muitas coisas que não podem ser ensinadas nos livros.

As coleções Didáticas de Arthropoda do Curso de Ciências Biológicas do Campus Marco Zero da Universidade Federal do Amapá, UNIFAP foram institucionalizadas através da Portaria N.º 1179/2015 – UNIFAP, em maio de 2006, com a missão de dar apoio as aulas práticas das disciplinas Zoologia II e Parasitologia Geral dos cursos de graduação e Tópicos Especiais em Biodiversidade: Entomologia Médica e Forense, nos programas de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical, Bionorte e Ciências da Saúde.

Os acervos das coleções didáticas totalizam 12.616 espécimes, classificados nos Táxons:

- *Subfilo Crustacea* (906 indivíduos) Classe Malacostraca, Ordens Isopoda e Decapoda; Classe Maxillopoda, Ordem Sessilia; Classe Branchiopoda, Ordem Diplostraca, Subordem Cladocera; Subclasse Ostracoda.
- *Subfilo Chelicerata* (1002 indivíduos), Classe Arachnida, Ordens Araneae, Scorpiones, Acari, Pseudoscorpiones, Opiliones, Amblypygi e Uropygi.
- *Subfilo Myriapoda* (206 indivíduos), Classe Chilopoda, Ordens Geophilomorpha, Scolopendromorpha e Scutigleromorpha; Classe Diplopoda, Ordens Spirobolida, Spirostreptida, Polydesmida e Julida.
- *Subfilo Hexapoda* (10.502 indivíduos), Classes Collembola, Diplura e Insecta, Ordens Diptera, Coleoptera, Hymenoptera, Hemiptera, Odonata, Siphonaptera, Lepidoptera, Thysanoptera, Orthoptera, Blattodea, Dermaptera, Phthiraptera, Thysanura, Neuroptera, Mantodea e Phasmatodea.

Existe um projeto permanente de Extensão que proporcionou a montagem de uma exposição itinerante contendo acervos de *Arthropoda* de importância médica, econômica, ecológica, conservação, taxonômica e forense, banners e vídeos que são usados em escolas, universidades, parques e em eventos diversos e de um espaço permanente para o recebimento de visitas de escolas de ensino fundamental e médio e de faculdades do estado do Amapá (FIGURA 1).



FIGURA 1. Exposições das coleções didáticas em eventos e logradouros públicos de cidades do estado do Amapá, Brasil.

As coleções didáticas possuem um espaço para atender as escolas de níveis fundamental e médio quanto a promoção de visitas monitoradas por roteiros interpretativos quanto a taxonomia, a bioecologia, a biogeografia, a conservação e a importância dos táxons componentes dos acervos. Além das visitas orientadas aos acervos oferta-se a professores cursos de capacitação quanto a montagem e uso de coleções na ministração de aulas práticas, consolidando a importância de a ciência ir além dos muros da academia e que ela deve ser transferida para toda a sociedade com metodologias apropriadas, em espaços formais e não formais de educação (FIGURA 2).



FIGURA 2. Visitas de alunos e professores aos acervos das coleções didáticas de Arthropoda da Universidade Federal do Amapá, Brasil.

O uso das coleções didáticas de Zoologia é de suma importância para otimizar o ensino-aprendizagem, e sua organização traz inúmeras melhorias para seu uso. Um acervo com representatividade taxonômica, como a verificada no presente estudo, contribui para que as aulas práticas possam proporcionar aos alunos o contato com a biodiversidade. O conhecimento da diversidade biológica é central para sua conservação, visto que a difusão das informações faz com que alunos e educadores disseminem de maneira mais eficiente as informações, além de tornar os profissionais mais capacitados para atuar a serviço da preservação da biodiversidade, porque o contato com a biodiversidade torna possível a reflexão sobre sua importância numa visão não antropocêntrica.

Pela geologia da Grã-Bretanha. De James Hutton às *Seven Sisters*.

Luís Vítor Duarte

U Coimbra, DCT e MARE

Desta vez vamos até terras de Sua Majestade. Viemos aqui várias vezes, mas o motivo deste texto nasceu da mais recente das incursões, que tem meses, e que pretendeu comparar os dois lados do Canal da Mancha. Isto, depois da visita de 2012, ao *chalk* de Étretat, do lado francês. Naquele tempo, que também nos levou à grande capital do Reino Unido, depois de atravessado o dito canal de modo terrestre. O objetivo da presente escrita é o de realizar um périplo, de norte a sul, por aspetos da geologia da Grã-Bretanha, por meio da observação, em grande parte descomprometida, com exceção do seu início e do fim. Pois, começamos esta viagem na capital da Escócia, em Edimburgo, a cidade de James Hutton, considerado o pai da geologia moderna. Responsável pela formulação de um dos mais importantes princípios da geologia, o do Uniformitarismo, mais tarde desenvolvido por Charles Lyell, também ele escocês, na obra *Principles of Geology*. Na sequência dos trabalhos pioneiros de Hutton, passamos pelo pequeno povoado de Jedburgo, ainda na Escócia, para depois saltitarmos numa série de cidades inglesas, com demasiada história e arquitetura, desde Durham, Chester, Bath, Oxford e Londres, mas sempre com um olhar nas rochas e na geologia. O nosso roteiro termina em admirável beleza, com um dos lugares mais icônicos do *chalk* inglês, em Sussex: as inconfundíveis *Seven Sisters* (FIGURA 1).

Esta viagem teve início, verdadeiramente, nas *Highlands*, com direito às suas paisagens surpreendentes, mas feitas de geologia complexa, e entre a história dos *MacDonald's* e dos *Campbells*, do massacre de Glencoe, e dos seus televisivos castelos. Não esquecendo o Lago do monstro Ness. Geologicamente falando, tudo muito metamórfico, magmático, e muito antigo. Nas imediações de Glencoe, as vistas são dominadas por rochas metassedimentares do final do Precâmbrico, com evidências de forte atividade vulcânica ocorrida durante o Silúrico terminal. O terceiro Período do Paleozoico, lá pelos 420 milhões de anos, o que deu na

bonita imagem das *Three Sisters*, moldada pelas recentes glaciações quaternárias (FIGURA 2). Pela Escócia, as rochas são mesmo “velhinhas”, já que a idade mais antiga pode ir aos 3 mil milhões de anos, com o *Lewisian Complex*, que caracteriza a porção mais noroeste do país. Estamos a reportar-nos ao segundo Éon da Terra, o Arcaico. Onde dominam os gnaisses, e outras rochas que resultaram de intenso grau de metamorfismo. Não chegámos às Hébridas, mas bastou andar pelas Terras Altas para, de um simples e rápido olhar, se perceber a dificuldade na leitura e mais ainda na interpretação do que as paisagens nos ofereciam. Também nunca nos sentimos assim tão perdidos.

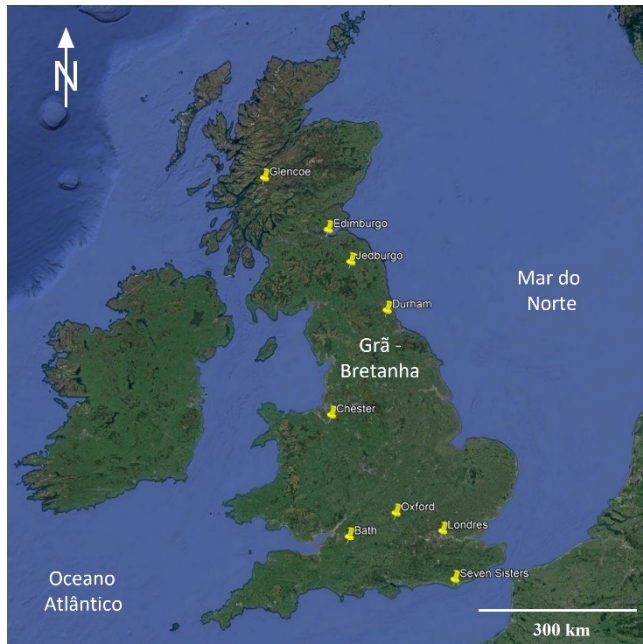


FIGURA 1. Localização dos pontos de visita pela Grã-Bretanha, entre a Escócia e a margem do Canal da Mancha. Imagem do Google Earth.

Para minimizar o risco de alguma indefinição, e considerando que esta crónica será centrada na estratigrafia, sem nunca perder o lugar de referência, vamos à capital da Escócia. E está visto que a visita à cidade de Edimburgo é uma enorme surpresa. Entre as especificidades da sua arquitetura, com uma singularidade que a torna única, desponta a colina que alberga o seu principal ex-libris, o castelo. E o seu *Castle Rock* (FIGURA 3). Um rochedo que faz toda a diferença na paisagem. Um rochedo basáltico e alguns equivalentes mais intrusivos, com cerca de 340 milhões de anos, ou seja, datadas do Viseiano. O segundo Andar do Mississippiano, do Carbonífero inferior, quando grande parte daquela região era dominada por intensa atividade vulcânica.



FIGURA 2. As *Three sisters*, Glencoe, meio escondidas por alguma nebulosidade. Paisagem de rochas vulcânicas, do Silúrico, e metassedimentares, moldada pelos efeitos das últimas glaciações quaternárias.

Esta morfologia diferencia-se verticalmente pela erosão das rochas sedimentares circundantes (FIGURA 3), previamente ali depositadas, compostas por arenitos e rochas mais finas, apenas 10 milhões de anos mais antigas do que os basaltos. São da Formação Ballagan, datada do Tournaisiano, primeiro Andar do Carbonífero. Todavia, do lado oriental do castelo, desenha-se na paisagem um declive mais suave, onde se define a incomparável *Royal Mile*, preenchida por uma intensa ocupação urbanística, que termina no atual parlamento escocês. Mesmo em frente a este, parece que entramos, assim de repente, num qualquer lugar recôndito e isolado do norte da Escócia. Natureza, pura e dura! Referimo-nos ao *Arthur's Seate*. Mais uma colina belíssima, esta sem a mínima ocupação humana, e convertida num parque da cidade, o *Holyrood*. Um lugar bastante selvagem, com uma constituição geológica que resulta de outro aparelho magmático, com características litológicas e idade muito semelhantes às do vizinho *Castle Rock*. Aqui, sobressai uma soleira de dolerito, de encher o olho, um tipo de rocha subvulcânica, conhecida como *Salisbury Craigs* (FIGURA 4). Resumindo, mais um lugar sublime, capaz de suscitar a maior das curiosidades ao mais comum do cidadão, o que terá mesmo acontecido com James Hutton, no seu processo de autoaprendizagem. Com uma geologia destas... A somar a todas estas individualidades geomorfológicas, o facto do contacto entre as duas referidas colinas ter sido moldado pela ação de um glaciar, de idade muito recente, dado o período bem frio que caracterizou grande parte do Plistocénico. Não podemos ignorar o facto de Edimburgo, bem como as Terras Altas da Escócia, atrás visitadas em Glencoe, se encontrarem acima dos 55° de latitude norte. Significa que estiveram completamente cobertas de gelo durante as últimas glaciações quaternárias.



FIGURA 3. O Castle Rock: o maciço rochoso, essencialmente composto por rocha basáltica e rochas sedimentares encaixantes, que suportam o castelo de Edimburgo.

Entretanto, dirigimo-nos para sul, em direção à fronteira com a Inglaterra. Os solos esverdeados dominam a superfície terrestre em todas as direções, tal como os rebanhos de ovelhas que deles dependem. Aqui e ali, aliás, de modo muito contido, afloram umas rochas silicilásticas de cor vermelha. Trata-se da unidade *Old Red Sandstone*, de origem predominantemente continental, nos seus múltiplos subambientes. Datada fundamentalmente do Devónico, abrange ainda pequenas porções dos períodos enquadrantes (tanto do final do Silúrico, como do início do Carbonífero). Ou seja, abrange logo três períodos do Paleozoico. Pela sua representatividade cronostratigráfica e paleogeográfica, uma unidade geológica, litostratigráfica, que é um clássico da estratigrafia do peri-Atlântico Norte, cujos primeiros estudos remontam, necessariamente, a James Hutton. Os mesmos arenitos que compõem, ao que se sabe, a primeira discordância angular, assim reconhecida, na história da geologia. Exatamente em Jedburgo, o próximo ponto de observação, junto ao rio Jed, que lhe dá nome, um ano antes da publicação do mais icónico contacto estratigráfico de *Siccar Point*. Não passámos por este último local, junto à costa, mas visitámos Jedburgo, na esperança de encontrar a primeira discordância de Hutton. A cobertura vegetal mal deu para ver, ao longe, a cor e os arenitos da *Old Red Sandstone*, apenas possível numa das margens do Jed (FIGURA 5). O mesmo não se pode afirmar da unidade subjacente, do Silúrico, que cada vez mais permanece incógnita. Mas, nas imediações

da Abadia augustiniana, talvez o maior ex-libris do burgo (FIGURA 6A)), um dos painéis de divulgação existentes confere as explicações geológicas necessárias, conhecidas nos compêndios de estratigrafia e da história da geologia, valorizando o imenso papel do agricultor e geólogo escocês (FIGURA 6B)). Podemos acrescentar que, na referida Abadia, foi possível confirmar as litologias das unidades paleozoicas, que mal se observam na paisagem.



FIGURA 4. Arthur's Seat. Magnífica soleira de rocha dolerítica que domina a paisagem a oriente do castelo de Edimburgo.



FIGURA 5. A Old Red Sandstone numa das margens do rio Jed, uma unidade siliciclástica do Devónico que nesta região assenta em discordância angular, bem como em Siccar Point, sobre terrenos do Silúrico.

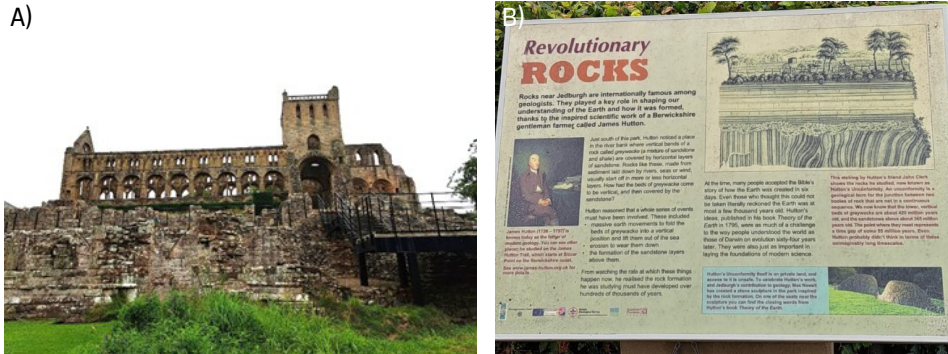


FIGURA 6A. A) Abadia de Jedburgo, ou o que resta dela. B) Painel de divulgação científica presente em Jedburgo, onde se faz a apologia a James Hutton e a uma das primeiras discordâncias angulares reconhecidas na história da geologia.

Depois de vencida a fronteira com a Inglaterra, e onde estava, para não haver esquecimentos, um entradote vestido com o seu *kilt* e com a sua gaita de foles, entramos em Northumberland, para rapidamente chegarmos a Durham. A primeira de quatro cidades, excluindo Londres, em que nos vamos centrar no património construído e, com isso, chegar à geologia da região e da sua estratigrafia. Durham é conhecida pela sua catedral do século XI–XII, de vários nomes e, internacionalmente, pela sua conceituada Universidade. Geologicamente, não saímos do Paleozoico. Estamos numa região mineira, carbonífera, com rochas carbonosas, e também carbonatadas, quase do mesmo Carbonífero dos vulcões de Edimburgo. A importância de Durham advém mesmo da exploração de carvão, em particular nos auspícios da Revolução Industrial. Naquele tempo, Durham terá sido mesmo a líder carbonífera de toda a Inglaterra. Em termos geológicos e de exploração mineira, a fazer lembrar a região de Oviedo, em Espanha, visitada e apresentada há uns tempos atrás. Todavia, mais uma vez, devido à morfologia e à vegetação, a geologia mal se vê à superfície. Algo compensado pela magnífica catedral da cidade (FIGURA 7A)), também reconhecida pelas várias filmagens da série *Harry Potter*, desde a *Pedra Filosofal* à *Câmara dos Segredos*. Muito para além dos aspetos cénicos, por aqui temos a garantia de boas aprendizagens. Desde logo na pedra do “esqueleto” do monumento, composto de arenitos do Carbonífero, com estruturas sedimentares entrecruzadas. Como era expetável, aqui não há lugar a carvão. Mas o melhor está no interior da catedral. Sendo muitos os motivos, de pedra selecionada no sítio certo, escolhemos apenas um. Basta centrar-nos numas colunas de cor negra, entre a torre central, o elemento que mais sobressai do exterior, e o coro. Com uma tonalidade dessas poderíamos pensar em dois ou três tipos de rocha... obviamente, sem incluir os carvões. No primeiro olhar, percebemos que a rocha continha uns fósseis de corais solitários, que ultrapassavam, de longe, o atrativo (FIGURA 7B)). Não enganavam. A literatura especializada confirma-nos a primeira observação. Será, então, um calcário coralífero negro, pertencente à *Frosterley Marble*, unidade, uma vez mais datada do Mississippiano, mas agora da sua parte

superior. A designação da localidade, mostra que a rocha veio das proximidades de Durham. Apesar do termo mármore, a rocha é mesmo sedimentar, com os fósseis a denunciarem uma génese em ambiente marinho raso.

Descemos um pouco na latitude, mas em direção à outra margem da grande Ilha. O destino é Chester, capital do condado de Cheshire, mesmo às portas do País de Gales. Também não muito longe da cidade dos *Beatles*, que ostenta, por curiosidade, a maior das catedrais da Grã-Bretanha. Cheshire é também nome de um gato em *Alice no País das Maravilhas* e de uma bacia sedimentar, com história de acumulação entre o Paleozoico superior e o Mesozoico. Mas centremo-nos em Chester e, mantendo o livro dos records, a urbe mostra a muralha mais bem preservada em ambiente citadino do Reino, de origem romana (FIGURA 8), contornando toda uma arquitetura medieval, onde se destacam as suas casas de madeira. Mais comedida, a catedral gótica também é digna de registo, num conjunto dominado pelo vermelho (FIGURA 9A)). Que se alicerça no tipo de pedra utilizada na construção de grande parte da cidade mais antiga (FIGURA 9 B)). Umas rochas siliciclásticas, arenosas, de cimento ferruginoso, e com imensas estruturas sedimentares, não muito diferentes das aflorantes nas margens do rio Jed, na Escócia. Mas, desta vez, correspondem a uma unidade temporalmente mais recente e conhecida historicamente na estratigrafia escocesa e inglesa como *New Red Sandstone*. Neste caso, as rochas são datadas do Triásico, mais concretamente da sua porção intermédia, que nesta bacia se inserem no *Sherwood Sandstone Group*. Litologias muito semelhantes, na fácies e na idade, um pouco mais antigas, às que temos em Silves, Coimbra, no Alto Atlas e na Nova Escócia. E, por curiosidade, às que dominam na construção da catedral de Liverpool acima citada. Mas, estas últimas, de um Triásico ligeiramente mais antigo, a roçar a fronteira com o Pérmico. O último Período da Era Paleozoica. Tudo muito arenoso e vermelho pelos lados contíguos ao Atlântico Norte.

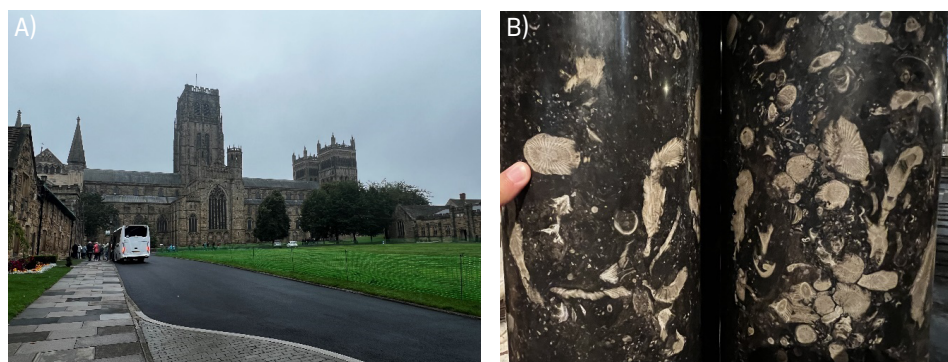


FIGURA 7. A) Catedral de Cristo, da Virgem Maria e de São Cuteberto de Durham, construída com base em arenitos do Carbonífero. B) Aspeto da fácies de calcário coralífero da Frosterley Marble presente numa série de colunas da catedral.



FIGURA 8. Aspeto da muralha de Chester assente em rochas siliciclásticas (arenosas e conglomeráticas) do Triásico Inferior (base do Grupo Sherwood Sandstone).



FIGURA 9. A) A catedral de Chester construída com rochas do Triásico da região. B) Fácies siliciclásticas com estruturas entrecruzadas patentes na pedra de uma construção da cidade de Chester.

Continuamos para sul, marginando a parte oriental do País de Gales, e a ideia é passar por Bath. Mantemos o interesse pelos romanos, já que aqui existe uma das termas romanas mais bem preservadas a nível mundial. Águas que percorrem vários quilómetros na crosta terrestre, sedimentar, e que ascendem depois à superfície a uma temperatura próxima dos 46°C. A natureza mineral da água denuncia uma origem bem carbonatada, a que não é alheia a litologia das rochas que proliferam na região, e que conferem um tom amarelo-esbranquiçado à própria construção que domina na cidade, cuja identidade foi considerada como sítio Património Mun-

dial da UNESCO (FIGURAS 10A) e B)). Totalmente diferente de Chester. Conhecida como *Bath Sandstone*, um calcário de grão fino, facto que se deve à presença de oólitos. Aqueles materiais carbonatados, conhecidos como partículas aloquímicas, arredondadas e de estrutura concêntrica. E que cuja génese reflete ambiente marinho, raso, mas de grande agitação. Para melhor compreensão, temos de invocar o *Princípio do Uniformitarismo*, de James Hutton, e levar-nos a lugares como as Bahamas ou o Golfo Pérsico, onde se estão a gerar, na atualidade, este tipo de partículas. Imaginamos, então, o ambiente de acumulação destes sedimentos carbonatados e das rochas geradas. Falta só saber a idade destas litologias. Na perspectiva de um estrátigrafo, talvez o mais interessante da história. E não é preciso ir muito longe, bastando pensar no nome da cidade, Bath. Precisamente, de onde derivou o termo Bathoniano. O atual terceiro Andar do Jurássico Médio, da tabela cronostratigráfica, que remonta aos cerca de 168 milhões de anos, e cujo estratótipo está definido no perfil de *Ravin du Bès*, Bas-Auran, no sudeste de França.



FIGURA 10. Algumas das construções de Bath com a rocha calcária típica do Jurássico Médio que caracteriza a geologia da região. A) O antigo edifício do *Royal Mineral Water Hospital*. B) A Abadia de São Pedro e São Paulo de Bath.

Bath faz parte da história da estratigrafia, tal como o local da nossa próxima paragem. Que alberga a segunda universidade mais antiga da Europa: Oxford. É daqui a origem do termo Oxfordiano, o primeiro Andar do Jurássico Superior, que remonta aos 161 milhões de anos. Um termo introduzido por Alcide d'Orbigny, um paleontólogo francês que batizou muitos dos nomes da cronostratigrafia do Jurássico e Cretácico. Este último Período, com que terminaremos esta viagem. Voltando a Oxford, a cidade está fundada em terrenos da transição entre o Jurássico Médio e o Superior, através de uma unidade conhecida como Formação *Oxford Clay*, que além do Oxfordiano engloba também o Andar subjacente, o Calloviano. Está bem de ver, pelo nome, umas rochas predominantemente argilosas, de cor tendencialmente cinzenta, difíceis de aflorar devido à sua natureza pouco competente aos processos erosivos. Sendo uma cidade pouco dada a relevos, entre os múltiplos colégios de Oxford, é difícil discernir um pequeno afloramento.

UMG-SP2.

in.casadasciencias.org/banco-imagens

A figura apresenta a previsão da estrutura tridimensional proteica da uretanase UMG-SP2, gerada pelo software *AlphaFold2*, cujos autores foram distinguidos com o Prémio Nobel da Química de 2024. Esta enzima demonstrou grande capacidade para degradar a ligação uretano dos plásticos poliuretanos, revelando elevado potencial para um processo de reciclagem eficiente e ecologicamente amigável, baseado na despolimerização enzimática. No entanto, há ainda margem para melhorar a sua eficiência. O objetivo é atingir uma taxa de reciclagem em que uma enzima consiga degradar, pelo menos, 90% do plástico poliuretano em menos de 24 horas. Aumentar a eficiência catalítica das uretanases pode ser a chave para tornar o processo de reciclagem ecológica de plásticos mais eficaz. Neste contexto, o design computacional de proteínas, desenvolvido por muitos incluindo o cientista que compartilhou o Prémio Nobel da Química de 2024, pode contribuir significativamente para melhorar a eficiência enzimática na despolimerização enzimática, nomeadamente a da enzima UMG-SP2.

Pedro Paiva | Pedro Fernandes | Maria João Ramos
Universidade do Porto

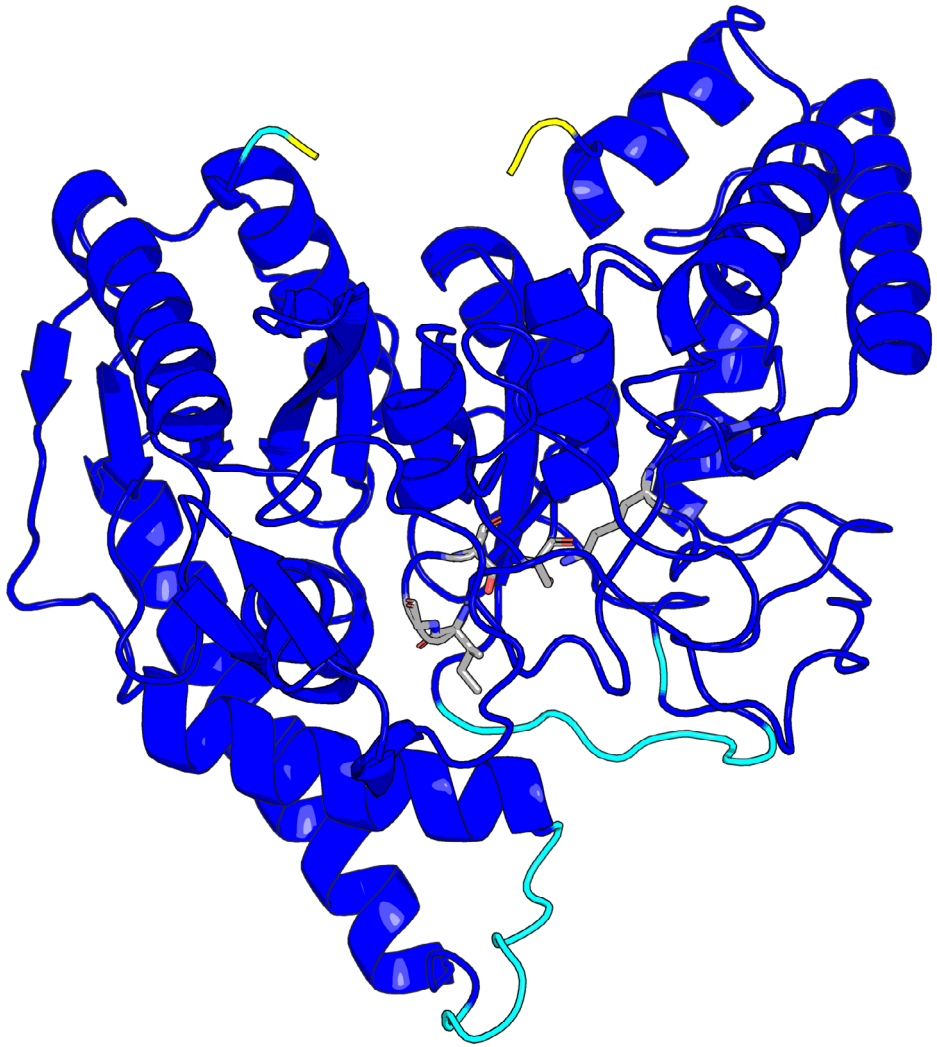
A visualização da estrutura da proteína uretanase UMG-SP2 gerada pelo *AlphaFold2* é muito interessante numa perspetiva didática e artística. As dobras e contornos intrincados da proteína criam uma interação dinâmica de formas e cores, que faz lembrar uma escultura moderna de serpentinas de papel azul. A utilização de espirais justapostas a ligações coloridas tridimensionais, chama a atenção do observador para as características únicas da proteína.

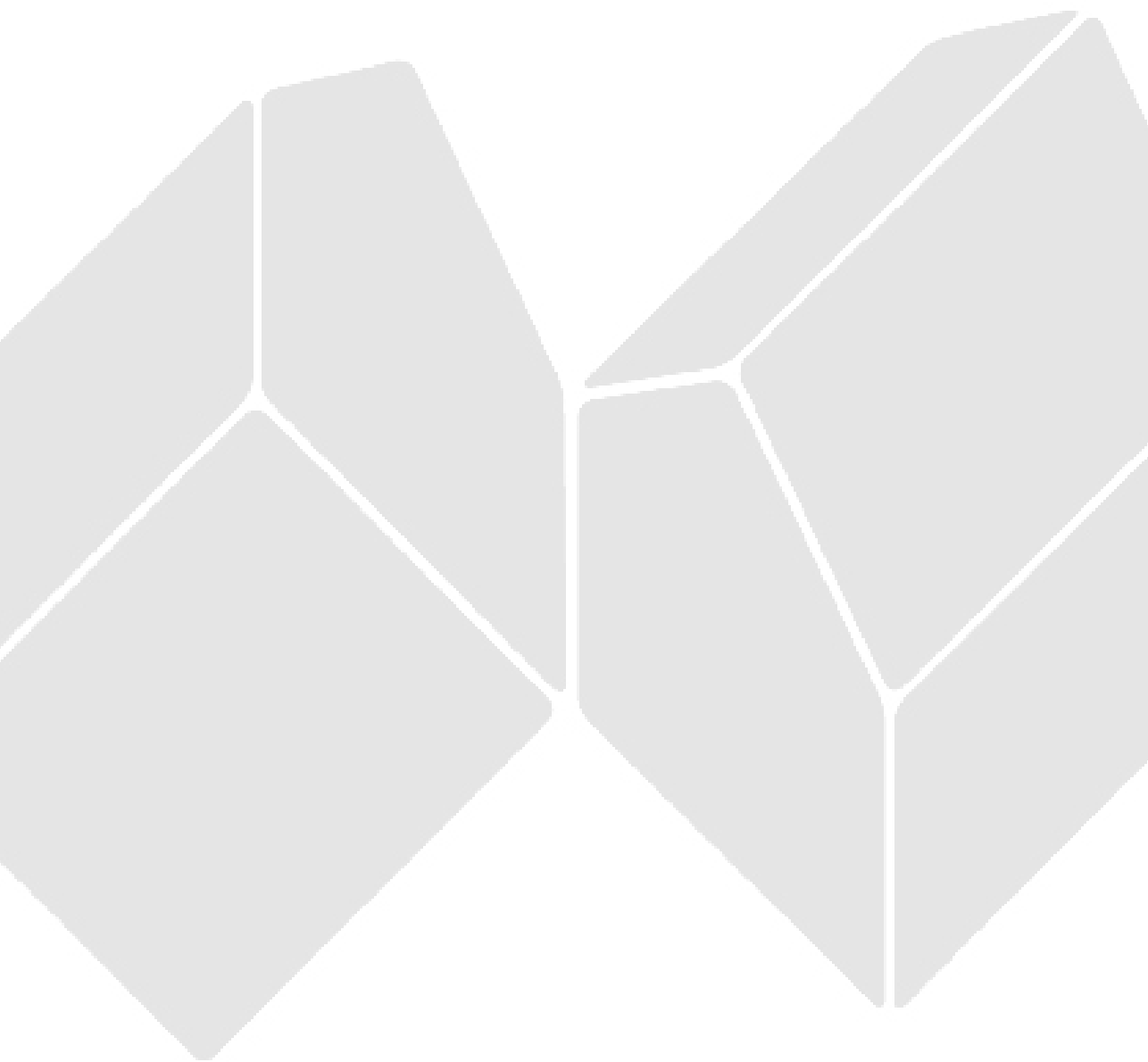
Além disso, a representação dos centros ativos e dos locais de ligação da proteína pode ser comparada a uma escultura abstrata e convida à interpretação e à exploração da complexidade molecular. A clareza e precisão das previsões do *AlphaFold2* não só servem objetivos científicos, como também evocam a beleza da arquitetura molecular. Nesta perspetiva, esta visualização faz uma ponte entre ciência e arte, mostrando como a tecnologia avançada pode iluminar a elegância das estruturas bioquímicas complexas.

José Francisco Rodrigues

com ajuda do ChatGPT e DeepL

Universidade de Lisboa





CASA DAS CIÊNCIAS
EDULOG · FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO