

JUNHO 2022

V10/02

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR. CASA DAS CIÊNCIAS



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. Ciência Elem., V10(02)

**Publicação trimestral
da Casa das Ciências**

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Uniarte Gráfica S.A.

TIRAGEM

3200 exemplares

IMAGEM NA CAPA

Os arenitos de Abu Simbel

Luís Vítor Duarte

casadasciencias.org/banco-imagens

© 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

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

CONSELHO EDITORIAL

João Lopes dos Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Luís Vítor Duarte (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Paulo Fonseca (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

PRODUÇÃO E SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

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



JUNHO 2022

V10/02

ÍNDICE

- | | | | |
|----|---|----|--|
| 02 | AGENDA | 27 | Eletrólise da água na
obtenção de H
João Gomes |
| 03 | NOTÍCIAS | | |
| | EDITORIAL | 31 | Big Bang
Cláudio Gomes |
| 05 | O Antropocénico como idade
geológica
Luís Vítor Duarte | 35 | Geofagia
Celso de Sousa Figueiredo Gomes |
| | HISTÓRIA DA CIÊNCIA | 39 | A matéria orgânica no sistema
geológico
Carolina Fonseca, Paula Alexandra
Gonçalves |
| 07 | Dioptra
Alzira Faria | 44 | A atividade microbiana no
processo sedimentar
Luís V. Duarte, Ana C. Azerêdo |
| | ARTIGOS | | IMAGEM EM DESTAQUE |
| 11 | O peixe-zebra
Ondina Ribeiro <i>et al.</i> | 48 | Amonites
Alexandre Lopes Magalhães,
Luís Vítor Duarte |
| 15 | Cianobactérias
Ana C. Sampaio | | |
| 19 | A floresta ripária
Verónica Ferreira | | |
| 23 | Polimorfismos em populações
naturais de animais
Pedro Andrade | | |

até 31/07⁽²⁰²²⁾

Jóias da Terra: O minério da
Panasqueira - Exposição fotográfica

Esta exposição patente no Museu Nacional de História Natural e da Ciência da UL, do fotógrafo Luís Pavão, consiste numa série de fotografias realizadas em 1974 dos mineiros e dos trabalhos na mina. Resultante de um desafio ao autor, mostram-se nesta exposição vários aspetos do dia a dia da mina, com a mostra das diferentes artes mineiras empregues ao longo dos tempos e da própria formação e evolução geológica da Panasqueira.

MNHNC

WWW.MUSEUS.LULISBOA.PT/PT-PT/MINA-DA-PANASQUEIRA

até 31/09⁽²⁰²²⁾

ÁGUA - uma exposição sem filtro

Está aberta no Pavilhão do Conhecimento, até setembro deste ano, a exposição dedicada à Água. Composta por 30 módulos e divididos por 4 áreas temáticas que exploram os contrastes entre a vida com e sem acesso a água, a exposição desafia o visitante a assumir um compromisso pela água.

PAVILHÃO DO CONHECIMENTO



16/07
a 20/07⁽²⁰²³⁾

XI Congresso Nacional de Geologia
Geociências e desafios globais

O XI Congresso Nacional de Geologia (XI CNG) terá lugar em Coimbra, no Edifício Central da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Pólo 2 da Universidade de Coimbra), onde se localizam as instalações do Departamento de Ciências da Terra. No XI CNG procurar-se-á destacar o papel das Geociências na concretização dos objetivos do desenvolvimento sustentável segundo as Nações Unidas, contribuindo assim para a resolução de 8 Desafios Globais: (1) Minerais e inovação tecnológica, (2) Materiais e economia circular, (3) Riscos naturais e alterações climáticas, (4) Acesso e qualidade da água, (5) Descarbonização e fontes de energia, (6) Saúde e qualificação ambiental, (7) Segurança e sustentabilidade urbana e (8) Geodiversidade e geoconservação. Para além das sessões científicas (orais e posters), excursões e sessão da Sociedade Geológica de Portugal, o XI CNG contará ainda com *workshops* dirigidos a professores do ensino básico e secundário.

Para mais informações, consulte a página do congresso.

UNIVERSIDADE DE COIMBRA, PÓLO 2

[HTTPS://XICNG.NET/](https://xicng.net/)



Um oásis num deserto gelado



FIGURA 1. Parque Nacional Los Glaciares (Argentina). (DOI: 10.1038/s41598-022-10876-8)

O Lago Untersee é um dos maiores (11,4 km²) e mais profundos (>160 m) lagos de água doce na Antártida Oriental. Este lago ultra-oligotrófico tem uma cobertura perene de gelo, uma coluna de água que, à exceção de uma pequena porção de coluna de água anóxica, é supersaturada em oxigênio e alcalina (pH = 10,4). O substrato do lago é coberto por esteiras de bactérias fotossintéticas, formando estromatólitos laminados, cónicos que se elevam até 0,5 m acima do fundo do lago. Estas estruturas microbiais são um bom exemplo de estromatólitos atuais não litificados com morfologia semelhante aos grandes estromatólitos cónicos que terão existido no Arcaico (4 000 a 2 500 milhões de anos). Num estudo publicado na revista *Scientific Reports*, Wagner *et al.* indicam que as águas profundas da porção anóxica do Lago Untersee, ricas em H₂, CO₂, CH₄ e NH₃, juntamente com as baixas temperaturas e o ecossistema microbiano, fornecem um vislumbre da Terra primitiva e um potencial

análogo físico, químico e possivelmente biológico para Enceladus, a sexta maior lua de Saturno, e potenciais massas de água cobertas de gelo em Marte.

Os fantasmas resilientes



FIGURA 1. O T-OAE registado em Dotternhausen (Alemanha). (DOI: 10.1126/science.abm7330)

Com um aumento do debate acerca das alterações climáticas e aquecimento global, alguns períodos da história da Terra têm sido utilizados como análogos para tentar prever as consequências do aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera. O Evento Anóxico Oceânico do Toarciano (T-OAE) ocorreu há cerca de 183 milhões de anos, sendo caracterizado por uma fase de aquecimento global, geologicamente rápido, associado a vulcanismo no Hemisfério Sul. Uma das consequências deste evento terá sido uma crise de biocalcificação ligada a um aumento da acidificação oceânica. Esta diminuição na produção biogénica de CaCO₃ estará associada a uma diminuição drástica do nanoplâncton calcário, um grupo de algas unicelulares fitoplanctónicas que dominam o atual plâncton marinho e que são reconhecidas no registo sedimentar desde o

Triásico. Na investigação publicada na revista *Science*, Slater *et al.* identificaram a ocorrência de moldes de nanoplâncton preservados em partículas orgânicas, como por exemplo, em cistos de dinoflagelados e em acritarcas. Estas evidências mostram que o nanoplâncton calcário é mais resiliente do que se pensava, e que a diminuição da concentração de CaCO_3 e da abundância de nanofósseis calcários durante o T-OAE são devidas a dissolução após a sedimentação e soterramento e não tanto a uma crise de biocalcificação.

Evidências antropogénicas



FIGURA 1. Exploração de gesso (S. José do Pinheiro, Soire).
(DOI: 10.1038/s43247-020-00029-y)

São conhecidos os impactos da atividade humana no meio que nos circunda, factos bem evidentes em diversos artigos científicos, assim como nos relatórios do Painel intergovernamental para as alterações climáticas (IPCC). Num estudo publicado em 2020, na revista *Communications Earth & Environment*, Syvitski *et al.* apresentam in-

dicadores quantitativos que poderão servir de apoio à definição da base do Antropocénico, como futura Época do Quaternário, o que irá corresponder ao intervalo de tempo mais recente da Tabela Cronostratigráfica. No referido artigo, os autores contabilizam e correlacionam os efeitos do uso da energia, da produção económica e da população, para demonstrar como o sistema terrestre se alterou de modo significativo desde o início da década de 50 do século passado, originando mudanças físicas, químicas e biológicas abruptas no registo estratigráfico da Terra. Segundo os autores, estes factos de origem antrópica, bem como a sua narrativa, poderão ser usados na justificação da proposta de definição formal do Antropocénico, diferenciando-se assim dos fatores que controlaram o Holocénico, Época onde nos inserimos na atualidade.

O Antropocénico como idade geológica

Muito se tem escrito sobre o “Antropocénico/Antropoceno”! Num ápice, este tema foi absorvido no vocabulário mediático, seja nas mais diversas publicações e/ou opiniões. As evidências estão aí, o papel do Homem sobeja na poluição criada, a biodiversidade transformada, a alteração do clima, a emissão desmesurada dos gases de efeito de estufa, com os impactos nos diversos subsistemas terrestres. Desde logo, na atmosfera. Depois, nos oceanos, com a sua crescente acidificação e, na biosfera, com todo o efeito de *stress*, que lhe é reconhecido. Os três subsistemas que mais rapidamente interagem entre si. Mas, também a ação sobre a litosfera que, é bom lembrar, é só o maior reservatório de carbono do planeta, tanto na forma inorgânica como orgânica. E de onde resulta o excesso de CO₂ que cresce na atmosfera, com taxas anuais a caminho dos 3 ppm! Por outro lado, a mesma litosfera que é o alvo preferencial de outros georrecurso, todos finitos, sendo alguns deles à luz das ditas “energias verdes”, explorados à velocidade da demanda. Todavia, sejamos claros, sem os ditos recursos, o planeta não funciona (...), é a tal questão da sustentabilidade, um requisito necessário, mas cada vez mais exigente. Onde a ciência, o conhecimento, tem de ser compatibilizado com as melhores metodologias de exploração e de respeito ambiental. E, já agora, de mudança de mentalidade. A Nossa! Dos Humanos.

Volto ao Antropocénico, o termo que foi amplificado no início do novo milénio por Paul Crutzen, prémio Nobel da Química em 1995. Um conceito que serve praticamente todos os domínios da ciência e, ao que parece, ainda mais, no domínio das humanidades. Sublinhamos a forma fácil como tem sido popularizado, numa relação direta da ação do Homem com o ambiente que o rodeia. Esta premissa é um facto, seja desde o primeiro Homem – mas isso já vai longe –, passando pela revolução industrial, quando os níveis de CO₂ começaram a crescer, reforçada pela evolução das próprias sociedades nos tempos da atualidade. Dizem que a principal evidência terá sido pela década de 50 do século passado. Pois, não havendo grande negação quanto aos efeitos visíveis do Homem no sistema em que habita, a Terra, a ciência assim o comprova. O problema é a assunção deste termo como uma nova Época geológica formal. Que se conclui ser requerida por uma grande diversidade de áreas da ciência (...) e das humanidades. Porém, se a ideia é sobre idade geológica, isso constitui um

real problema para os geólogos. É que a definição de uma nova Época geológica obriga ao cumprimento de regras, de uma metodologia e de um conjunto de critérios, necessariamente sob a perspectiva da geologia, que devem ser observados no seu registo. À semelhança de todos os intervalos de tempo instituídos na Tabela Cronostratigráfica, o processo de avaliação inicia-se através de uma comissão de especialistas, o chamado *Working Group* (WG), que tem por missão encontrar o melhor registo à escala internacional que possa testemunhar esse momento, único, da história da Terra. Para que conste, Portugal exhibe dois desses momentos da história do nosso planeta, que são um tipo de padrão à escala global: os casos dos andares Toarciano, em Peniche, e do Bajociano, no Cabo Mondego, ambos intervalos do Jurássico. Quem participou nos respetivos WGs, detém uma noção clara da complexidade envolvida, desde a construção da proposta, até à sua aprovação e formalização, passando por um escrutínio extremamente rigoroso. Tal processo cruza-se com uma série de comissões, sob a égide da Comissão Internacional de Estratigrafia (CIE), terminando no comité executivo da *International Union on Geological Sciences* (IUGS). No caso do Antropocénico, e depois do seu WG concordar quanto ao local que melhor poderá representar o princípio da nova Época (o espaço aqui disponível não permite ir mais longe nas explicações), o dossier passará pela Subcomissão do Quaternário, já que o Antropocénico pretende ser uma subdivisão deste, “subtraindo” tempo ao instituído Holocénico, passando depois pelas outras duas comissões acima referidas. Há que lembrar que este caso é muito diferente de todos os outros, e não é minimamente comparável com o que podemos observar no registo geológico, mais antigo. A Terra tem cerca de 4600 milhões anos de história! Na verdade, a proposta do Antropocénico, como possível Época geológica, é tudo menos pacífica entre a comunidade geológica. Estamos a falar de uma idade onde o tempo, o geológico, ainda não foi suficiente para materializar um registo, que seja inequívoco e cientificamente válido e que confirme uma mudança significativa no processo evolutivo da Terra.

Bom, a definição formal do Antropocénico, que será o mais curto intervalo da história da Terra, leva-me até *The Anthropocene epoch: Scientific decision or political statement?*, publicado em 2016 na revista *GSA Today*, e que tem como primeiro autor, Stanley Finney, o então Presidente da CIE e atual Secretário Geral da IUGS. Pelo título, é mais ou menos isso! (...). No entanto, sugere-se a leitura.. Que se apreenda que não detemos qualquer preconceito. O que se deseja é que se alcance a coerência e se ajuste o figurino! Que se defina esse limite basal do Antropocénico com a demonstração, efetiva, do lugar e do argumento científico onde tudo começa. Sendo uma Época geológica, e para manter a lógica da Tabela Cronostratigráfica, terá mesmo de ser “Antropocénico”, e não “Antropoceno"! Pela mesma razão que, em português lusitano, não se fala ou escreve, Plioceno ou Holoceno.

Luís Vítor Duarte

Editor Convidado

Dioptra

Alzira Faria
ISEP

O uso de Geometria elementar foi essencial num número variado de aplicações, sobretudo na área da topografia, arquitetura e engenharia, tendo sido o seu uso de extrema importância para medir fisicamente distâncias e alturas com instrumentos de medição simples. A dioptra é um bom exemplo de um instrumento que permitiu o cálculo de distâncias inacessíveis recorrendo ao uso de Geometria elementar.

O desenvolvimento da topografia foi especialmente importante no Egito, pois, após cada cheia do Nilo era necessário restaurar os limites dos terrenos.

Richard Talbert destaca a existência de dois procedimentos opostos no levantamento topográfico. Um envolve medir uma certa parte da superfície da terra, anotar elementos artificiais sobre ela e registar o resultado num mapa ou plano desenhado a uma escala adequada. O outro, que o autor designa como “traçado”, é o processo inverso: o posicionamento das características pretendidas, limites, edifícios ou obras de engenharia no solo, na posição correta e pretendida. Um agrimensor que pretenda construir, por exemplo, aquedutos ou vias férreas, terá que realizar os dois procedimentos. Primeiro tem que registar a forma do terreno e depois, com essa informação, decidir o melhor percurso e marcá-lo no terreno.

Da necessidade de efetuar medições de terras, nasceu a Geometria grega, e um elemento importante desta Geometria era o estudo dos triângulos e das respetivas semelhanças. Lucio Russo, no seu livro *The Forgotten Revolution*, afirma: “Heródoto atribui aos egípcios a introdução da Geometria, no sentido original da medição do terreno, e especifica que esta surgiu da necessidade de estimar, para efeitos fiscais, a quantidade de parcelas de terreno que foram corroídas pelo Nilo. Quando a Geometria grega se lançou no seu espetacular curso de desenvolvimento, as suas aplicações concretas, tais como a agrimensura e a topografia, foram reclassificadas sob a rubrica de geodesia. Infelizmente, existe escassa documentação direta sobre a evolução destas técnicas desde a fase empírica, comum a muitas civilizações antigas, até à topografia e cartografia baseadas na ciência helenística”.

O desenvolvimento de uma teoria de topografia mais sofisticada e de instrumentos mais versáteis apareceu no início do século III a.C. aquando da criação da biblioteca e do museu em Alexandria. Os instrumentos de levantamento topográfico começaram a basearem-se na

teoria científica que foi sendo alimentada a partir da experiência prática. O conhecimento sobre a topografia Grega advém de quatro tratados técnicos, mas apenas o de Heron de Alexandria, *A Dioptra*, do século I d.C. está quase completo. Dos outros, existem fragmentos de manuais anônimos, que se pensam ser dos séculos III e II a.C. e que foram encontrados posteriormente em obras de autores, como Julius Africanus (Anonymus Byzantinus) e al-Karaji. O conteúdo consiste em exercícios práticos acompanhados de diagramas geométricos.

Etimologicamente, a palavra *dioptra* significa algo para ver através. Para o levantamento topográfico, supõe-se que tenha começado por ser um tubo de visão estreito suspenso horizontalmente por fios ou correntes. Segundo Richard Talbert, é possível que tenha sido adotada pelo Gregos no século VI a.C. mas concebida pela primeira vez na Pérsia para manter o alinhamento e a inclinação ao construir *qanats*, túneis de captação de água. Já no final do século III a.C., o tubo evoluiu para a alidade — uma barra onde, em cada extremidade, existiam pínulas ou palhetas que serviam de miras. Como era difícil alinhar o buraco com o alvo, adicionaram fendas estreitas para facilitar a visão.

Como já referido, o manuscrito que fala sobre topografia e de um dos instrumentos usados por ela é a *A Dioptra*. Ainda existem exemplares deste manuscrito e podem ser encontrados, um na Biblioteca Real de Viena, outro na Biblioteca da Universidade de Estrasburgo e outro na Biblioteca Nacional de Paris. Segundo Papadopoulos, a obra começa com uma introdução à “ciência da dioptra” e descreve o instrumento como combinação de teodolite e nível de água. Heron apresenta nesta obra todos os trabalhos anteriores sobre o tema mas rapidamente os dispensa e dá instruções sobre como construir uma dioptra e como utilizá-la. Apesar de não haver conhecimento da existência de um exemplar físico da dioptra feito na antiguidade, vários autores fizeram uma interpretação do que foi dito por Heron propondo uma reconstrução e inserindo elementos básicos que lhes eram úteis, ou seja, diferiam em pequenos detalhes. Segundo Gallo, desde o século XIX vários autores têm vindo a apresentar propostas, nomeadamente, Venturi, em 1814, Vincent, em 1858 (FIGURA 1A) e Schöne, em 1899, voltando a aprofundar o assunto em 1903 (FIGURA 1B)).

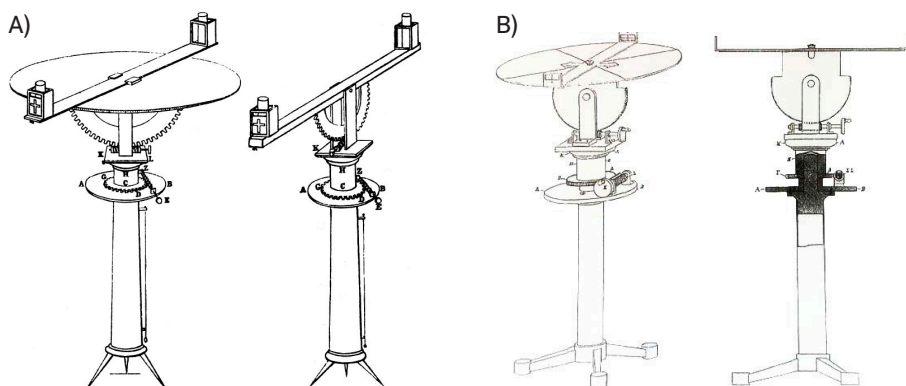


FIGURA 1. Reconstrução gráfica da dioptra. A) Venturi, 1814 e Vincent, 1858. B) Schöne, 1899.

Mais tarde, surgem novas propostas de Drachmann em 1935, 1954 e 1968, a que se segue Adam, em 1982.

Na obra de Richard Talbert podemos ler a descrição de uma experiência de reconstrução de uma dioptra padrão com um disco de madeira com 60 cm de diâmetro (FIGURA 2) e, uma vez que as fontes são completas, o autor descreve-a como uma reconstrução que está próxima da verdade. Funciona tanto no plano horizontal como no plano vertical.



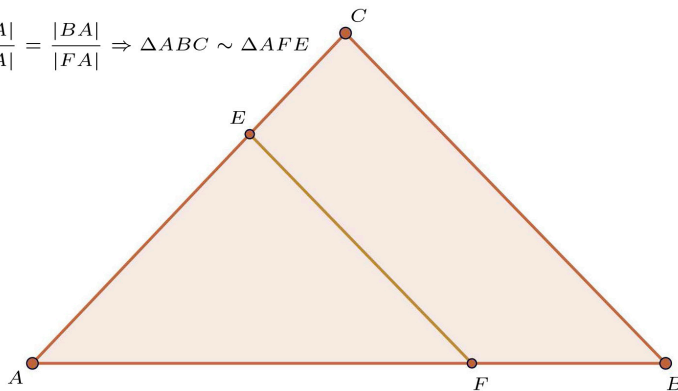
FIGURA 2. Dioptra padrão reconstruída no modo horizontal e vertical.

Quando está montada horizontalmente sobre um tripé, com a ajuda de uma junta giratória, é usada para projetar linhas retas em qualquer direção, para marcar o solo e, segundo Richard Talbert, também pode ser usada para traçar retas perpendiculares a retas já traçadas por meio de diâmetros em ângulo reto inscritos no disco. Ainda, segundo o autor, um quarto da borda é graduado em graus e foi usado para observações celestes, mas não para levantamentos terrestres.

No seu nível mais básico, o uso da dioptra consiste em traçar ângulos retos, projetar linhas pela mira através da alidade em ambas as direções e construir triângulos semelhantes a outros triângulos já construídos.

Sabe-se que, se uma reta é paralela a um dos lados de um triângulo e intercepta os outros dois lados em pontos distintos do vértice, então o triângulo que ela determina é semelhante ao primeiro (FIGURA 3). Assim, se dois triângulos têm lados correspondentes proporcionais, então eles são semelhantes — critério LLL. Este resultado será usado diversas vezes nos exemplos que serão vistos à frente.

$$\frac{|CB|}{|EF|} = \frac{|CA|}{|EA|} = \frac{|BA|}{|FA|} \Rightarrow \triangle ABC \sim \triangle AFE$$



10

FIGURA 3. Semelhança de triângulos.

Os exemplos do uso da dioptra, especialmente os de Heron, são em levantamentos de terras, obras de Engenharia e ainda mapeamento. Por exemplo, na guerra, o uso da dioptra é fundamental e típico. Um exército em marcha pode ver-se obrigado à necessidade de construir uma ponte se encontrarem um rio que lhes impede a passagem.

O peixe-zebra

Ondina Ribeiro^{*†}, Mónica Quelhas Pinto^{*}, Luís Félix^{†‡}, Sandra Mariza Monteiro^{†‡}, António Fontainhas-Fernandes^{†‡}, João Soares Carrola^{†‡}

^{*} UTAD

[†] CITAB/ UTAD

[‡] Inov4Agro

A libertação de poluentes tradicionais e emergentes nos ecossistemas aquáticos tem levado à contaminação da água e sedimentos, o que pode afetar a saúde dos animais selvagens, das suas populações e contaminar as cadeias alimentares com consequências na ecologia, mas também na saúde pública. Estes diversos compostos tóxicos (incluindo os lipossolúveis e persistentes) podem chegar aos ecossistemas através de diferentes vias e os seus efeitos da exposição aguda e/ou crónica nos organismos não-alvo ainda não são bem compreendidos. Assim, torna-se importante implementar medidas de monitorização da poluição aquática e de estudos ecotoxicológicos usando diversos organismos, desde algas, invertebrados e vertebrados, como por exemplo os peixes, para perceber quais os efeitos dos tóxicos emergentes em vários níveis de organização biológica. O peixe-zebra apresenta numerosas vantagens que o tornaram num modelo vertebrado fundamental, sendo muito utilizado em todo o mundo. Existem numerosos protocolos (desenvolvidos desde 1980), incluindo as Diretrizes 203 da OCDE publicadas a partir de 1992, que permitem avaliar a ecotoxicidade dos contaminantes em amostras de água, efluentes e sedimentos. Desta forma é possível investigar os efeitos no desenvolvimento (embriogénese/teratogénese), anatomia, biomarcadores (moleculares, bioquímicos, genéticos e histológicos), fisiologia, imunologia, reprodução, comportamento e bioacumulação etc.. Assim, a combinação das análises físico-químicas clássicas e o peixe zebra (embriões, larvas e adultos) pode fornecer informação valiosa do risco potencial dos tóxicos nos ecossistemas aquáticos, mas não devemos esquecer a implementação de testes que sejam ecologicamente relevantes, testes *in situ* e uso de espécies piscícolas nativas e/ou não tropicais.

A poluição aquática é um problema preocupante à escala mundial, em particular para os ecossistemas de água doce. Um elevado número de compostos químicos de vários tipos, exercem efeitos tóxicos nos organismos aquáticos, contaminando as cadeias alimentares

e afetando também os vários usos da água, como por exemplo irrigação na agricultura, recreação e água potável destinada ao consumo humano.

As análises químicas são indispensáveis para avaliar a contaminação da água, no entanto, é necessário estudar o impacto desses xenobióticos nos vários organismos vivos, de forma a estimar os efeitos ecotoxicológicos mais complexos a médio e longo prazo. Assim, a ecotoxicologia torna-se importante, na medida em que investiga os efeitos dos tóxicos (naturais ou sintéticos) nos microrganismos, na flora e na fauna, nomeadamente nos organismos selvagens e suas populações, comunidades, ecossistemas e biosfera. A ecotoxicologia visa implementar uma abordagem mais integrativa com o estudo da distribuição, destino dos tóxicos, e concentrações dos tóxicos nas cadeias alimentares incluindo a avaliação dos efeitos nocivos nos vários níveis de organização biológica. Para isto, são usadas diferentes metodologias, desde os estudos de campo, mesocosmos, microcosmos, até estudos mais controlados realizados em laboratório como testes *in vitro* e *in vivo* (FIGURA 1), seguindo as diretrizes dos testes da *Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico* (OCDE/OECD) e *Organização Internacional de Normalização* (OIN/ISO).

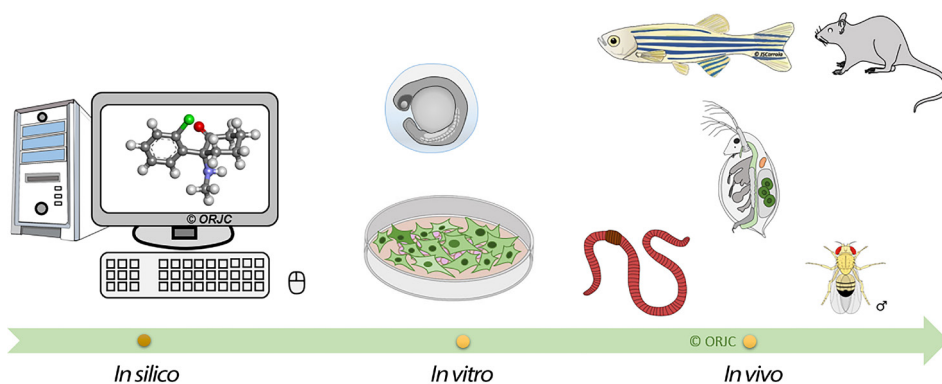


FIGURA 1. Esquema que representa as diferentes abordagens que podem ser utilizadas para estimar ou avaliar os efeitos ecotoxicológicos: estudos *in silico* usando técnicas computacionais; *in vitro* usando culturas de células ou embriões transparentes de peixe-zebra, e técnicas *in vivo* usando diversos organismos vivos como a drosófila, a dáfnia, a minhoca, o peixe-zebra e roedores.

Os testes *in silico* recorrem à bioinformática e inteligência artificial para estimar, numa primeira fase, os potenciais efeitos tóxicos de novas moléculas/substâncias recorrendo a programas informáticos sofisticados, reduzindo assim o uso de modelos animais.

Os ensaios *in vitro* correspondem a estudos realizados “fora” dos organismos vivos, em que se utiliza normalmente células, tecidos ou órgãos isolados em condições laboratoriais. Estes ensaios correspondem a um indicador inicial do efeito tóxico e reduzem consideravelmente o uso de modelos animais. Os ensaios *in vivo* são realizados com modelos animais criados em laboratório para realizar estudos mais específicos e que permitem avaliar a interação entre células, órgãos e sistemas com efeitos dinâmicos muito complexos. São

utilizados diferentes organismos vivos, com distintas complexidades metabólicas e neurológicas o que permite estudar efeitos farmacológicos, neurotóxicos, comportamentais, imunotóxicos, genotóxicos, oncológicos entre outros.

Bem-estar animal

Atualmente, a utilização de animais vivos deve ser reduzida o mais possível, em particular os animais incluídos na legislação. O uso de modelos animais para experimentação deve ser autorizada pelo *Órgão Responsável pelo Bem-Estar dos Animais* (ORBEA) da instituição respetiva e pela *Direção-Geral de Alimentação e Veterinária* (DGAV) e deve ser realizada por pessoas devidamente treinadas e com experiência nas espécies utilizadas. Além das autorizações pelos órgãos competentes, estes ensaios devem seguir as diretrizes e legislação em vigor sobre proteção dos animais (Diretiva da União Europeia 2010/63/EU), transcrita para a legislação nacional (Decreto-Lei n.º113/2013), que integra o conceito dos 3Rs — substituição (*Replacement*), refinamento (*Refinement*) e redução (*Reduction*). É importante definir os *human endpoints* no início de cada ensaio de forma a minimizar o sofrimento ou dor dos animais cumprindo com a legislação.

Avaliação dos efeitos dos tóxicos

É importante realizar estudos de campo, numa vertente de monitorização e biomonitorização, *in loco*, para detetar e quantificar a presença de tóxicos no solo, sedimentos, água e nos tecidos dos organismos bem como os efeitos nos organismos terrestres e aquáticos. Pode-se recorrer à recolha de amostras de água, sedimentos e/ou solo para análises físico-químicas. Pode-se ainda recolher amostras de fluidos (sangue ou urina) ou tecidos de animais, de forma a determinar a bioacumulação, bioconcentração (a concentração do tóxico ou toxina no bivalve é muito superior ao valor presentes na água) ou bioamplificação (aumento da concentração dos tóxicos ao longo da cadeia alimentar contribuindo para valor alto nos animais do topo) dos xenobióticos.

Complementarmente, em cada organismo podem ser estudados os efeitos dos xenobióticos em diferentes níveis de organização biológica tais como, ao nível molecular, celular, bioquímico, genético, imunológico, histológico, órgão, organismo (reprodução, desenvolvimento e comportamento), população, comunidade, etc. (FIGURA 2).

Os peixes são considerados bons bioindicadores do estado ecológico da água devido à sua importância ecológica (presa/predador), constante exposição aos compostos tóxicos presentes na água, sedimentos e alimentos, e à sua elevada sensibilidade nas fases iniciais de vida (ovos, larvas e alevins) e também como fonte alimentar vital para o Homem. Neste caso a ictiofauna é um elemento fundamental na biomonitorização o que permite ter uma perceção mais real do que acontece aos indivíduos e às populações nos ecossistemas onde vivem.

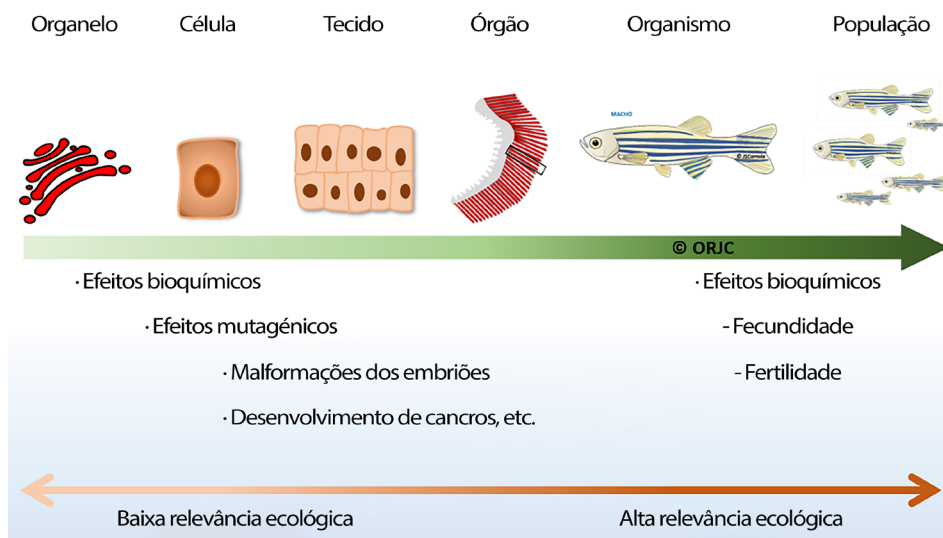


FIGURA 2. Esquema que mostra os vários níveis de organização biológica que podem ser afetados por contaminantes. Neste caso estão representados os vários níveis de organização biológica em peixes, expostos a tóxicos ou misturas complexas de tóxicos, desde a componente celular, tecido, órgão, organismo, população e comunidade. Esta abordagem pode ser implementada em dáfnias, minhocas, insetos, anfíbios, roedores, aves ou outros organismos que sejam relevantes para os ecossistemas.

Estes estudos são mais complexos tendo em conta as variáveis que afetam o peixe e por isso alguns estudos são complementados em laboratório.

Os estudos em laboratório permitem avaliar de forma controlada os efeitos de compostos tóxicos puros (misturas simples com 2 ou 3 compostos, ou de misturas complexas como efluentes de indústrias ou ETARs) e os seus efeitos em diferentes níveis de organização biológica. Neste contexto, existem determinadas espécies de peixes propostas para estudos de toxicologia e ecotoxicologia em laboratório, como a truta (*Oncorhynchus mykiss*), peixe-zebra (*Danio rerio*), medaka (*Oryzias latipes*), vairão-de-cabeça-gorda (*Pimephales promelas*), o esgana-gata (*Gasterosteus aculeatus*). Outras espécies podem ser utilizadas como a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e guppy (*Poecilia reticulata*).

Entre as espécies mais pequenas destaca-se claramente *D. rerio* por ser um modelo animal muito utilizado na maioria dos centros de investigação ligados à *ecotoxicologia aquática* e às ciências biomédicas. O interesse por esta espécie cresceu imenso nas últimas décadas tal como se pode verificar facilmente pelo número de artigos científicos publicados e atualmente é uma espécie de referência na toxicologia e é muito utilizada na ecotoxicologia. É de realçar que é importante realizar também testes com organismos endémicos de maneira a entender de forma mais realista quais os efeitos reais para estas espécies nativas o que pode afetar as cadeias alimentares e os ecossistemas contaminados.

Cianobactérias

Ana C. Sampaio

CITAB/ DeBA/ UTAD

Há cerca de $2,0 \times 10^9$ anos surgiram os primeiros Eucariotas. A teoria Endossimbiótica, formalmente apresentada pela microbióloga Lynn Margulis, postula que os Eucariotas atuais se formaram a partir de endossimbioses com bactérias, que permaneceram no interior das células ao longo do tempo, originando as mitocôndrias e cloroplastos — estes últimos há pelo menos $1,5 \times 10^9$. A descoberta de outra endossimbiose primária mais recente (90 milhões de anos) envolvendo uma cianobactéria similar a *Synechococcus* e o cercozoário *Paulinella* sp., e de outras associações de vários tipos envolvendo cianobactérias, além de mostrarem a sua capacidade de associação a uma elevada diversidade de hospedeiros filogeneticamente muito distantes, levantam importantes questões.

Em 1883 Andreas Schimper foi um dos primeiros a estudar e a descrever a potencial natureza endossimbiótica das células eucarióticas, após ter reparado que a divisão dos cloroplastos nas plantas era parecida com a das Cianobactérias de vida livre. No início do século XX, em 1905, Konstantin Mereschkowsky sugeriu a ideia da origem endossimbiótica dos plastídios. Em 1927, e em conjunto com Ivan Wallin, sugeriu que a célula eucariota era composta por microrganismos, hipótese rejeitada pela comunidade científica. Foram precisos quarenta anos para, em 1967, Lynn Margulis (1938-2011) recuperar essa hipótese arrojada e dar-lhe respeitabilidade científica. Esse hiato de tempo deveu-se não só à inércia face a uma ideia completamente revolucionária, mas também a limitações técnicas que não permitiam saber algumas características importantes de cloroplastos e mitocôndrias como a presença de ácidos nucleicos, de duas membranas com composições distintas e de ribossomas 70S. A invenção do microscópio eletrónico permitiu descobertas importantes nos anos 60 do século XX, entre elas a descoberta de DNA nos cloroplastos de *Chlamydomonas moewusii* (Ris e Plaut, em 1962) e nas mitocôndrias, (Margit Nass e Sylvan Nass em 1963-1964). Neste último caso, a descoberta foi corroborada por análises bioquímicas pelos investigadores Ellen Haslbrunner, Hans Tuppy e Gottfried Schatz.

Na atualidade, existem muitos factos que apoiam a teoria endossimbiótica na origem desses dois organelos celulares, sendo do consenso geral que mitocôndrias e cloroplastos tiveram origem, respetivamente, em ancestrais das bactérias α -púrpura (primeiro evento de endossimbiose) e das Cianobactérias (evento seguinte e restrito ao ancestral dos eucariotas fotossintéticos).

Numa relação endossimbiótica a transição de um endossimbionte para um organito permanente deve permitir que o hospedeiro ganhe controlo sobre o primeiro e envolve várias fases: a) uma relação predador-presa, do tipo fagotrófica, b) o estabelecimento de mecanismos de controlo de trocas metabólicas entre o hospedeiro e o endossimbionte e, c) a transformação do endossimbionte num organito que perdeu parte dos seus genes, tendo outros deles sido transferidos para o núcleo do hospedeiro (do inglês *endosymbiotic gene transfer* — EGT). As proteínas codificadas por esses genes continuam a funcionar nos plastídios, sendo marcadas pós-translação com um líder N-terminal, designado por péptidos de trânsito, que são reconhecidos pelos complexos proteicos nas membranas interna (TICs) e externa (TOCs) dos cloroplastos.

A endossimbiose primária dos plastídios deu origem aos cloroplastos das Glaucophyta, Rhodophyta (algas vermelhas) e Chlorophyta (algas verdes) que, em conjunto, constituem os Archaeplastida (FIGURA 1). Tanto os plastídios das algas vermelhas como os das algas verdes foram adquiridos, de modo independente e posteriormente, por outras linhagens heterotróficas, formando plastídios secundários rodeados por três, quatro ou mesmo cinco membranas.

A origem única ou múltipla dos plastídios primários das três linhagens tem sido bastante debatida, mas atualmente dados moleculares dos genes plastidiais suportam a origem monofilética dos plastídios primários, embora análises preliminares de proteínas citoplasmáticas codificadas pelo núcleo dos plastídios primários permitam duvidar dessa origem única. Se admitirmos a origem monofilética destes plastídios, teremos de colocar a questão: qual das linhagens surgiu primeiro? As árvores filogenéticas mais prováveis tendem a favorecer o filo Glaucophyta como o mais primitivo, ramificando-se nas Rhodophyta e Chlorophyta.

As Glaucophyta são um pequeno grupo de microalgas dulçaquícolas, com cerca de duas dezenas de espécies de ocorrência rara. Os seus plastídios, designados por cianelas, são únicos sendo frequentemente apresentados como um estágio intermédio entre um endossimbionte e um plastídio pois retêm a camada de peptidoglicano entre as duas membranas, apresentando como pigmentos fotossintéticos a clorofila a e as ficobilinas, organizados em ficobilissomas, como na maioria das Cianobactérias. As Rhodophyta constituem um grupo vasto e diverso de micro e macroalgas, presentes em ambientes de água doce e marinhos. Os plastídios deste grupo possuem como pigmentos clorofilas a e d, ficobilinas, também organizados em ficobilissomas. Por último, as Chlorophyta possuem plastídios com as clorofilas a e b, organizadas em tilacóides (FIGURA 1), constituindo um grupo de

diversidade elevada encontrado frequentemente em água doce. É pois considerado que os plastídios primários evoluíram a partir de um evento único.

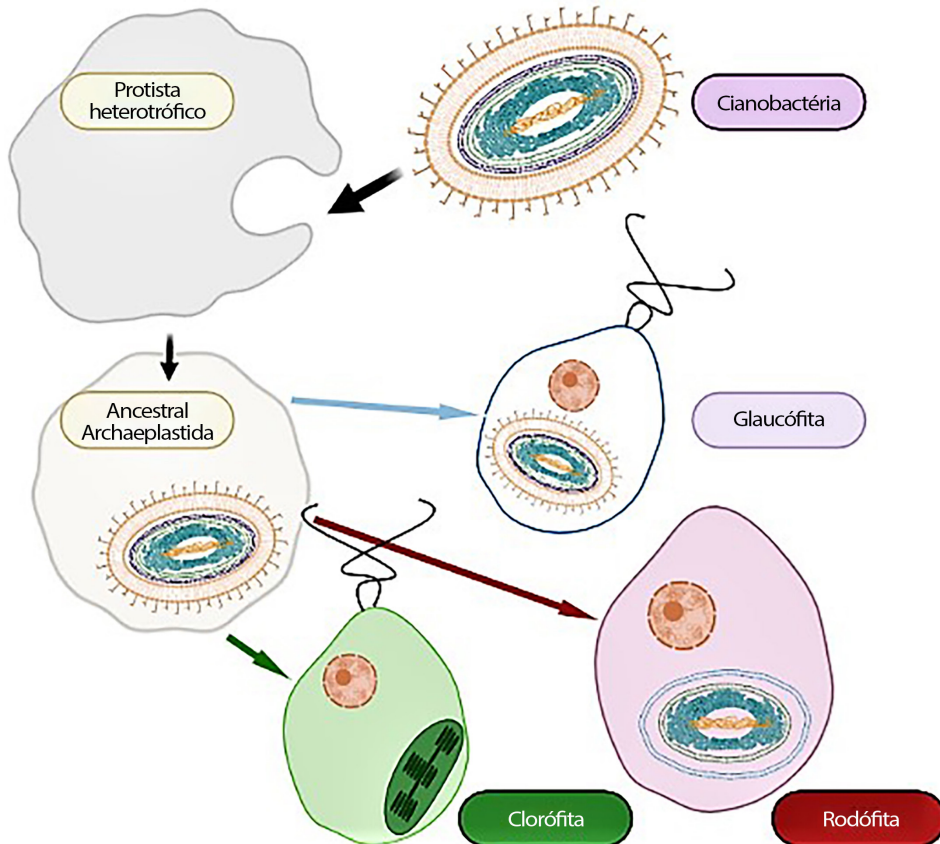


FIGURA 1. Cianobactéria, bactéria Gram-positiva com clorofila a e ficobilissomas, ancestral isolada é fagocitada por um protista heterotrófico, estabelece com ele uma endossimbiose primária, originando a linhagem dos Archaeplastida: Glaucófitas, com cianelas de duas membranas, peptidoglicano, clorofila a e ficobilinas organizadas em ficobilissomas; Rodófitas, com cloroplastos de duas membranas, clorofilas a e d, e ficobilinas organizadas em ficobilissomas; Clorófitas, cloroplastos com duas membranas, clorofilas a e b organizadas em tilacóides. Mais tarde as Rodófitas e as Clorófitas formam endossimbiontes de organismos heterotróficos de maior tamanho, entrando em endossimbioses secundárias.

Há no entanto três casos extraordinários, que requerem atenção e que envolvem os cercozoários *Paulinella chromatophora*, *P. micropora* e *P. longichromatophora*, amebas aquáticas que adquiriram dois plastídios, que na realidade são duas cianobactérias simbiotes (similares a *Synechococcus*) em forma de rim.

Isolada pela primeira vez pelo biólogo alemão Robert Lauterborn em 1894, *P. chromatophora* tem uma longa, mas intervalada e pontual história, na literatura científica, tendo sido colocado no centro da discussão da origem endossimbiótica dos plastídios. *P. chromatophora* é filogeneticamente próxima de *Paulinella ovalis*, desprovida de

endo-simbiontes, mas que se alimenta preferencialmente de *Synechococcus* spp., por pseudópodes, característicos destas amibas.

P. chromatophora não necessita de se alimentar, pois os seus hóspedes transferem-lhe produtos fotossintéticos. Curiosamente, os endo-simbiontes não podem ser cultivados independentemente e sincronizam a sua divisão com a do hospedeiro. Apesar dos endossimbiontes manterem o peptidoglicano (uma característica notavelmente similar a outra endossimbiose primária, a ocorrida nas Glaucophyta), o seu genoma foi reduzido significativamente, estimando-se que mais de 30 genes tenham sido transferidos para o núcleo do hospedeiro. *P. chromatophora* tornou-se um modelo da endossimbiose usado na investigação científica, sendo largamente aceite como o segundo evento de endossimbiose primária, com uma cianobactéria, evento que terá acontecido há pelo menos 90 milhões de anos.

Na maioria destes casos, as cianobactérias envolvidos em mutualismos e simbioses (cianobionte) pertencem aos géneros *Nostoc* e *Anabaena* (ordem *Nostocales*), espécies filamentosas com a capacidade de formar heterocistos, células especializadas na fixação do Azoto atmosférico em NH_3 . Nas simbioses, ambos os parceiros envolvidos beneficiam da associação: o cianobionte tem um contínuo aporte de nutrientes e é protegido pelo hospedeiro da desidratação e dos herbívoros e, em troca, fornece-lhe fotossintetizados, oxigénio e, no caso das cianobactérias diazotróficas, formas orgânicas de azoto, permitindo a este colonizar ambientes pobres neste nutriente.

As Cianobactérias estão envolvidas em simbioses com organismos filogeneticamente distintos como Fungos, Protozoários, Protistas, Plantas e mesmo Animais.

A floresta ripária

Verónica Ferreira

MARE/ Universidade de Coimbra

Os ribeiros de floresta e a floresta que os ladeia (floresta ripária) estão intimamente ligados, influenciando-se mutuamente. A floresta ripária determina em grande medida as características abióticas (por exemplo, morfologia, qualidade da água) e bióticas (comunidades e processos aquáticos) dos ribeiros. Assim, alterações na floresta ripária podem ter grandes impactos nos ribeiros. A floresta ripária nativa no centro e no norte de Portugal é tipicamente caducifólia e a sua substituição por monoculturas ou a sua invasão por espécies exóticas altera as características dos detritos vegetais produzidos e as características dos ribeiros e, conseqüentemente, as comunidades e os processos aquáticos. A magnitude destes efeitos depende em parte de quão diferentes são as espécies nativas daquelas que as substituem, sendo tanto maior quanto maiores forem as diferenças entre as espécies. A remoção da floresta ripária, como acontece frequentemente em contexto urbano ou agrícola, leva também a fortes alterações nas comunidades e nos processos aquáticos, com alteração da via trófica que passa de heterotrófica, ou seja, baseada nos detritos vegetais produzidos pela floresta ripária, a autotrófica, baseada na produção primária. A proteção da floresta ripária contribui para o bom estado ecológico dos ribeiros.

Floresta ripária, também designada de ripícola ou ribeirinha, é aquela que ladeia as linhas de água e que estabelece a transição entre o meio aquático e o meio plenamente terrestre (i.e., fora da zona de inundação). A largura da floresta ripária depende da largura da linha de água, da profundidade a que se encontra o lençol freático e do declive das margens, entre outros fatores. Por exemplo, ribeiros em zonas planas têm geralmente florestas ripárias mais largas do que ribeiros em vales mais fechados. A floresta ripária é um ecossistema composto por múltiplas comunidades vegetais (por exemplo, comunidades herbáceas, arbustivas e arbóreas), no entanto, é geralmente definida com base nas características do estrato arbóreo. A estrutura (i.e., a presença de indivíduos de diferentes idades, presença de vários estratos como o arbustivo e o arbóreo), e a composição (i.e., a identidade e diversidade de espécies) da floresta ripária dependem, por exemplo, de fatores climáticos e do hidrodinamismo das linhas de água, que vão determinar a disponibilidade de água. Assim, verificam-se diferenças na estrutura e na composição da floresta ripária à medida

que aumenta a distância à linha de água (sucessão), entre linhas de água permanentes e intermitentes (as que têm água o ano todo *versus* as que secam sazonalmente) e ao longo do gradiente latitudinal (norte — sul). Por exemplo, nas regiões centro e norte de Portugal, a floresta ripária nativa é naturalmente dominada por espécies arbóreas caducifólias como o amieiro (*Alnus glutinosa*), o freixo (*Fraxinus angustifolia*), o choupo-negro (*Populus nigra*), e os salgueiros (*Salix* spp.), que em geral são tolerantes à inundação e têm crescimento rápido (FIGURA 1). Estas características permitem a sua existência em ambientes potencialmente inundáveis e sujeitos a fortes perturbações (por exemplo, resultantes de cheias) como são as margens das linhas de  gua. No entanto, o amieiro e os salgueiros necessitam de humidade permanente, pelo que estão geralmente ausentes da floresta ripária em linhas de água intermitentes, onde dominam o freixo e o choupo. Nas regiões a sul do país, onde o stresse hídrico é relevante, a floresta ripária tende a ser dominada por espécies perenifólias arbustivas como o loendro (*Nerium oleander*) e a tamargueira (*Tamarix africana*).



FIGURA 1. Aspeto t pico de um ribeiro de montanha no centro de Portugal ladeado por floresta caducifólia nativa durante o outono/inverno (Ribeira da Cerdeira, Serra da Lousã, novembro de 2019). Notar a ausência de folhas em grande parte da vegeta o ripária.

Funções da floresta ripária

A floresta ripária é particularmente importante em ribeiros, que por terem dimensão reduzida (até poucos metros de largura) apresentam uma grande área de interface com o ecossistema terrestre em rela o ao seu volume. De facto, não   possível considerar um ribeiro sem considerar a sua floresta ripária, já que a segunda vai determinar grande parte das características do primeiro. A floresta ripária contribui para determinar a morfologia do ribeiro, as características físicas e químicas da água, a composi o das comunidades aquáticas, o tipo de processos aquáticos e a taxa a que ocorrem (FIGURA 2).

A floresta ripária, que frequentemente forma um dossel fechado sobre os ribeiros, provoca ensombramento ao intersetar a radiação solar (FIGURA 2). O grau de ensombramento depende (i) da composição da floresta ripária, já que espécies com copas mais esguias (por exemplo o choupo negro) conferem menor ensombramento que espécies com copas mais largas (por exemplo o amieiro), (ii) da sua estrutura, já que a forma e o tamanho da copa variam entre indivíduos jovens e maduros e (iii) da estação do ano, no caso de espécies caducifólias que não têm folhas entre o outono/inverno e a primavera. O ensombramento durante o verão impede que a temperatura da água aumente para valores prejudiciais à vida aquática. Adicionalmente, o mosaico de zonas ensombradas e de zonas onde a radiação solar atinge o leito do ribeiro permite que a cadeia trófica baseada na produção primária (por exemplo, microalgas e plantas aquáticas), que é consumida pelos invertebrados herbívoros e que depende da radiação solar (cadeia autotrófica ou "cadeia trófica verde") coexista com a cadeia trófica baseada nos detritos vegetais (por exemplo, folhas) produzidos pela floresta ripária, que são consumidos pelos invertebrados detritívoros e que é predominante em ribeiros de floresta (cadeia heterotrófica ou "cadeia trófica castanha"). A importância relativa de cada cadeia trófica ao longo do ano é, em parte, determinada pela fenologia das espécies caducifólias que dominam a floresta ripária, havendo uma tendência para a cadeia trófica verde adquirir algum protagonismo no início da primavera, altura em que a temperatura e a radiação solar começam a aumentar e as copas das árvores ainda não estão fechadas (no inverno as árvores não têm folhas, mas a produção primária é limitada pela baixa temperatura e pela reduzida radiação solar).

A floresta ripária é a principal fonte de alimento para os organismos aquáticos durante grande parte do ano (FIGURA 2). Em florestas caducifólias, a entrada de detritos vegetais nos ribeiros ocorre principalmente durante o outono/inverno (> 70% da entrada anual). As folhas compõem a maior parte dos detritos vegetais que entram nos ribeiros (> 60% da entrada anual), mas os ramos, flores e frutos podem também contribuir significativamente para os detritos vegetais dependendo da composição da floresta ripária e da altura do ano. Os detritos vegetais são usados por uma grande variedade de organismos aquáticos, desde microrganismos a invertebrados, muitos deles com o ciclo de vida sincronizado com a queda da folhada outonal. Os detritos vegetais são incorporados na cadeia alimentar castanha mediante um processo designado de decomposição, durante o qual os microrganismos decompositores e os macroinvertebrados trituradores (i) alimentam-se diretamente dos detritos vegetais, incorporando os nutrientes neles contidos na sua própria biomassa, (ii) provocam a libertação de partículas finas que são consumidas por invertebrados coletores e (iii) provocam a libertação de nutrientes na forma inorgânica que são usados pelos produtores primários e pela comunidade microbiana. A taxa a que os detritos vegetais são decompostos depende grandemente das suas características (por exemplo, dureza, concentração em nutrientes, defesas). Por exemplo,

as folhas moles e ricas em nutrientes do amieiro são decompostas mais rapidamente do que as folhas mais duras e pobres em nutrientes dos carvalhos (*Quercus* spp.) e as folhas, em geral, são decompostas mais rapidamente do que os detritos lenhosos, como ramos. Naturalmente, o processo de decomposição da folhada é preponderante durante o outono/inverno, mas os detritos mais recalcitrantes (por exemplo, folhas duras e materiais lenhosos) podem permanecer nos ribeiros por longos períodos garantindo alimento aos organismos aquáticos fora do período de queda da folhada. Também a entrada de detritos vegetais arrastados do solo da floresta pode acontecer ao longo do ano e assim contribuir para a manutenção da cadeia trófica castanha em épocas em que a queda de detritos vegetais é menor.



FIGURA 2. Algumas funções da floresta ripária: 1. Ensombreamento. 2. Produção de detritos vegetais (e.g., folhada; as setas curtas indicam invertebrados trituradores que se alimentam directamente das folhas). 3. Controlo da entrada de nutrientes via a) produção de detritos vegetais e b) libertação/ retenção de nutrientes ao nível das raízes. 4. Contenção das margens e retenção de sedimentos finos. 5. *Habitat* para organismos aquáticos. 6. Refúgio e alimento para espécies aquáticas.

A floresta ripária desempenha um papel crucial no controlo da entrada de nutrientes nos ribeiros, quer por via da produção (e decomposição) de detritos vegetais, quer por via da libertação ou retenção de nutrientes ao nível das raízes (FIGURA 2).

Polimorfismos em populações naturais de animais

Pedro Andrade
CIBIO-InBIO
BIOPOLIS

Um dos principais objetivos da biologia evolutiva é compreender os fatores que promovem o aparecimento e manutenção de variação em populações naturais. Quando dois ou mais grupos fenotípicos bem distintos (e geneticamente determinados) coexistem numa mesma população dá-se o nome de polimorfismo, algo já descrito em muitas espécies de animais. Estes polimorfismos estão frequentemente associados a diferenças em vários fenótipos em simultâneo, o que pode ser explicado por grandes grupos de genes cujos alelos não recombinam (supergenes), ou por efeitos pleiotrópicos de genes implicados em vários fenótipos. Avanços recentes em tecnologias de sequenciação de DNA têm permitido avanços muito importantes nesta área da biologia evolutiva.

Um dos objetivos mais importantes na biologia evolutiva é compreender os mecanismos que levam ao aparecimento e manutenção de variabilidade nos organismos. De forma geral, existem quatro mecanismos principais que levam ao ganho ou perda de diversidade nas populações: mutações genéticas e fluxo genético adicionam variabilidade, enquanto que a deriva genética e a seleção retiram variabilidade. Neste contexto são admiráveis os muitos exemplos conhecidos de populações naturais nas quais variedades bem definidas coexistem de forma razoavelmente estável ao longo do tempo. O estudo destes polimorfismos em populações naturais têm raízes em estudos sobre coloração em borboletas, em particular em espécies miméticas. Informação recolhida por vários investigadores do início do século XX sobre a biologia, distribuição geográfica e padrões de hereditariedade destas espécies serviram como base aos primeiros investigadores em genética estatística na discussão de ideias sobre o papel da seleção natural para explicar a variabilidade em populações naturais.

Apesar de nessa altura já se reconhecer a importância dos polimorfismos na genética evolutiva, nestes primeiros trabalhos isto era ainda feito sem uma boa definição. Esta falha foi colmatada pelo geneticista britânico Edmund B. Ford que, em 1940, definiu polimorfismo (independentemente do fenótipo considerado) como: “Um polimorfismo genético é a ocorrência numa só localidade de duas ou mais formas descontínuas de uma espécie, numa proporção tal que implique que a manutenção da forma mais rara não possa ser explicada unicamente por mutações recorrentes”.

Esta definição foi enunciada pela primeira vez num contexto taxonómico, mas rapidamente Ford expandiu-a para a incorporar num quadro conceptual baseado em genética evolutiva para estudar a origem e manutenção de fenótipos polimórficos em populações naturais. Segundo Ford esta definição exclui qualquer variação fenotípica que seja contínua, sazonal ou dependente de aspetos geográficos e implica um papel da seleção na manutenção do polimorfismo. Ford distinguiu entre dois tipos de polimorfismo, um que designou de transitório (que ocorre enquanto um novo alelo se expande numa população, a caminho de substituir o alelo original) e outro que designou de balanceado (quando os diferentes alelos são mantidos num equilíbrio estável ao longo do tempo). Os polimorfismos balanceados poderão ser considerados os melhores exemplos de verdadeiros polimorfismos; no entanto, como é difícil na prática determinar quando é que duas formas se encontram verdadeiramente estáveis, a distinção entre polimorfismos transitórios e balanceados pode muito bem ser apenas conceptual. Outro aspeto importante desta definição de polimorfismos é o implicar um mecanismo genético na sua base. Estes conceitos base têm sido elaborados e expandidos à luz de novas evidências, mas esta enunciação do conceito continua a ser uma boa definição operacional no estudo da coexistência de variantes discretas em populações naturais.

Podemos assim pensar no que poderão ser, ou não, exemplos de polimorfismos. Um dos mais bem conhecidos, e que é também um dos exemplos clássicos no ensino da biologia evolutiva, é o das mariposas *Biston betularia*, que possuem formas claras e escuras. Estas últimas tornaram-se mais abundantes como consequência do aumento de poluição durante a Revolução Industrial. Outros exemplos serão discutidos ao longo deste artigo. Há também bastantes exemplos de variação dentro de uma mesma espécie, mas que não constituem polimorfismos. As diferenças na cor de pele na espécie humana não são um exemplo de polimorfismo, já que a variação é marcadamente contínua e não discreta. A existência de formas aladas e não-aladas de gafanhotos migradores *Locusta migratoria* não constituem um polimorfismo, dado que apesar de serem formas discretas e coexistirem no mesmo local, não possuem uma base genética distinta, surgindo as diferenças por plasticidade fenotípica (o mesmo genótipo gera fenótipos diferentes consoante as condições ambientais). É necessário ter em atenção que a maioria dos exemplos referidos neste artigo referem-se a polimorfismos de cor. Isto acontece porque a cor é uma das classes de fenótipos mais fáceis de estudar, por isso, a literatura possui um claro enviesamento para

sistemas com variação na cor, mas naturalmente outras classes de fenótipos também podem possuir variantes discretas numa mesma população.

Algumas das razões principais pelas quais estes polimorfismos balanceados são o foco de muitos estudos incluem tentar perceber como é que vários alelos num mesmo *locus* são mantidos numa população, resistindo à deriva genética e como é que associações entre vários tipos de fenótipos distintos são mantidos sem que estas ligações sejam quebradas pela recombinação. De forma geral, conhecem-se quatro mecanismos principais que explicam a ocorrência de polimorfismos balanceados:

- Vantagem dos heterozigóticos (ou sobredominância), quando indivíduos portadores de ambas as formas alélicas (heterozigóticos) possuem maior *fitness* do que qualquer um dos homozigóticos de cada alelo. Um exemplo é a variabilidade associada aos múltiplos alelos do complexo maior de histocompatibilidade em vertebrados, que medeia a resposta imunitária a vários agentes patogénicos.
- Seleção negativa dependente da frequência, quando os alelos mais raros são favorecidos (a vantagem seletiva de um alelo tem uma correlação negativa com a sua abundância na população). Um exemplo clássico são os caracóis-riscados *Cepaea nemoralis* (FIGURA 1), que possuem uma grande variabilidade no padrão de manchas da casca — o morfo mais abundante é um alvo mais frequente de aves predadoras, que aprendem a reconhecer os caracóis mais abundantes como presas durante o seu desenvolvimento. Quando as formas mais raras se tornam as mais abundantes, reinicia-se o ciclo.



FIGURA 1. Um dos exemplos clássicos de polimorfismo em animais, o polimorfismo de cor da casca no caracol-riscado (*Cepaea nemoralis*). Este polimorfismo é mantido por seleção negativa dependente da frequência – os caracóis portadores do padrão mais abundante tornam-se presas mais comuns de aves como os tordos *Turdus* spp., sendo predados até que os padrões mais raros se tornam os mais abundantes, recomeçando o ciclo.

- Variação espaço-temporal na seleção, quando em situações de heterogeneidade ambiental os alelos atingem diferentes condições ótimas em nichos ligeiramente distintos. A variação espacial no *fitness* dos diferentes alelos não viola o princípio da coexistência geográfica de formas se o equilíbrio entre migração e seleção mantiver o fluxo génico, impedindo a divergência entre as formas. Um bom exemplo é dado pelos roedores *Peromyscus maniculatus* que habitam em regiões com cor de solo heterogéneo (basáltico *versus* arenoso) e que apresentam diferentes cores de pelo. Apesar de se manterem geograficamente separados com nichos locais, o fluxo génico entre as duas formas é comum, mantendo o potencial adaptativo na meta-população.
- Seleção antagonística (frequentemente antagonismo sexual) refere-se a casos em que um determinado genótipo fornece vantagens a alguns indivíduos mas reduz o *fitness* noutros, o que acontece frequentemente quando um genótipo é benéfico para os machos de uma espécie mas prejudicial para as fêmeas dessa mesma espécie (ou vice-versa). Por exemplo, já foi demonstrado em estudos laboratoriais com a mosca-da-fruta, *Drosophila melanogaster*, que fenótipos sexualmente antagonísticos estão associados a regiões genómicas com níveis de polimorfismo acima da média genómica.

Eletrólise da água na obtenção de H

João Gomes

DEQ/ ISEL

Nesta comunicação ressaltam-se os aspetos relativos ao conhecimento já existente em Portugal sobre a tecnologia da eletrólise da água que podem, em grande medida, ser incorporados nos desenvolvimentos tecnológicos que serão necessários fazer no âmbito do processo de descarbonização e produção de hidrogénio verde.

Em 1944 foi publicada a célebre Lei 2002 da Eletrificação do País, por ação do Prof. Eng. Ferreira Dias, que havia definido a etapa da eletrificação como primordial para se proceder à industrialização do país. Na sequência desta lei e da implementação das ações de eletrificação assistiu-se, desde então, à instalação de diversas unidades industriais com especial recurso à eletricidade como fonte de energia. Encontram-se, neste caso, as unidades nacionais de produção de hidrogénio eletrolítico destinadas ao fabrico de amoníaco e, posteriormente, adubos azotados, assim como as unidades de fabrico de cloro e soda, igualmente por técnicas eletrolíticas. Em 1946, verificou-se o arranque da unidade do Amoníaco Português, em Estarreja, produzindo 800 m³/h de hidrogénio, beneficiando dos empreendimentos hidroelétricos do Cávado e Douro, produzindo-se no mesmo local sulfato de amónio, a partir de ácido sulfúrico e amoníaco.

Em 1952 verificou-se o arranque da unidade da União Fabril do Azoto, em Alferrarede (Abrantes), beneficiando do arranque da barragem de Castelo de Bode (Zêzere) que produzia 34 t/dia de amoníaco, aumentando a sua capacidade para 48 t/dia em 1955 e, depois, para 55 ton/dia a partir de 1957. Esta unidade produzia apenas o amoníaco que era posteriormente enviado, por vagão cisterna, para o Lavradio (Barreiro), onde se fabricava sulfato de amónio e uma gama mais vasta de adubos azotados. Foram, precisamente, os custos de transporte do amoníaco, assim como a subida dos custos de energia elétrica, que vieram determinar o encerramento desta instalação durante a década de 60 do século passado, passando o amoníaco a ser fabricado no Lavradio, pelo processo Haber-Bosch, mas com o hidrogénio obtido pelo processo petroquímico de *cracking* de

nafta a partir de 1963, com uma capacidade inicial de 170 t/dia. Esta unidade encerrou em 1984, tendo sido substituída por outra, funcionando pelo mesmo processo, mas já com uma capacidade de 900 t/dia que esteve em produção durante muitos anos, até que a baixa de preço do amoníaco no mercado internacional ditou o seu encerramento e desmantelamento, já no início deste século.

A indústria química de síntese, quer inorgânica, quer orgânica, é um consumidor intensivo de energia, sendo que esta última, a ser cara, inviabiliza o seu desenvolvimento. Os casos das unidades anteriormente referidas de produção de hidrogénio eletrolítico são paradigmáticos de uma situação de consumo intensivo de energia elétrica que hoje poderia ser classificado como produção de hidrogénio “verde” e que foi abandonado, durante décadas, em Portugal e em outros países europeus, a favor de processos de produção de hidrogénio muitíssimo mais intensivos em carbono, já que recorre ao uso de energia fóssil (nafta), com uma pegada carbónica dificilmente sustentável nos dias de hoje.

Se bem que a subida dos preços de eletricidade para a indústria ditou, assim, o abandono de diversas unidades industriais, verificou-se o acumular de *know-how* específico sobre o funcionamento das mesmas, assim como ao conhecimento de inúmeros pormenores operacionais que permitiram, por exemplo, que a unidade de Alferrarede aumentasse a sua capacidade de produção em cerca de 30%, sem *revamping* significativo, após poucos anos de operação. Além disso, os técnicos que operavam estas unidades dedicaram-se, durante muito tempo, a tarefas de investigação industrial, que resultaram em importantes ganhos em otimização processual e integração energética que, anos mais tarde, originaram um modo de estar e de agir que se veio a traduzir, por exemplo, no *revamping* e na reconfiguração do complexo industrial de Estarreja, subtraindo-o (literalmente) a uma morte anunciada muitos anos antes.

Na verdade, a atual política europeia de descarbonização e o enveredar por uma economia baseada, em grande medida, no hidrogénio verde, leva ao revitalizar de técnicas e processos quase antigos, como é o caso da eletrólise, em que grande parte do conhecimento acumulado durante os anos em que as unidades industriais estiveram em operação em Portugal, podem fazer muito para ultrapassar problemas tecnológicos ainda existentes, mercê de investimentos que se consideram necessários em investigação e desenvolvimento nesta área.

A química do processo de eletrólise de água

A eletrólise de água é a reação química de oxirredução provocada pela passagem de corrente elétrica contínua, correspondente à dissociação da molécula de água nos seus constituintes, a saber, o hidrogénio e o oxigénio, na presença de um eletrólito, como se representa esquematicamente na FIGURA 1. A eletrólise de água foi descrita cerca de 1800 na

seqüência dos estudos de Alessandro Volta e Humphry Davy e, em 1869, o belga Zenobe Gramme desenvolveu a máquina de Gramme e o que foi considerado um processo de baixo custo de obtenção de hidrogénio.

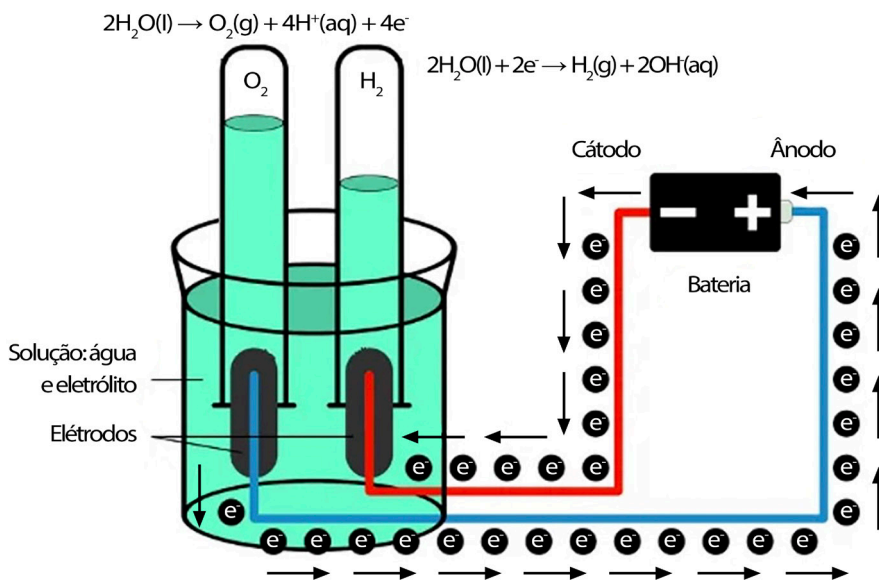
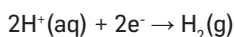
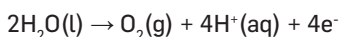


FIGURA 1. Representação esquemática do processo de eletrólise.

Considerando água pura, no cátodo, carregado negativamente, dá-se uma reação de redução com o fornecimento de elétrons para cátions de hidrogénio para formar o hidrogénio gasoso:



No ânodo, carregado positivamente, dá-se uma reação de oxidação, gerando oxigénio gasoso e fornecendo elétrons ao ânodo para fechar o circuito:



ou seja:

1. Redução no cátodo: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$
 2. oxidação no ânodo: $2\text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^-$
- de que resulta o processo global: $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

Em que é notório que o volume do hidrogénio produzido é o dobro do volume do oxigénio produzido. Como se sabe, a decomposição da água não é um processo favorável, em termos termodinâmicos, sendo que o potencial padrão de uma célula eletrolítica é de -1,229 V a 25 °C. Contudo, o processo é controlado cineticamente e existem resistências várias devidas à energia de ativação, difusão e mobilidade dos iões, resistência dos condutores, fenómenos de superfície que resultam na formação de bolhas e entropia, o que faz com que o potencial necessário para vencer estes fatores tenha que ser superior, o que se denomina por sobrepotencial. No que diz respeito a eletrólitos, prefere-se, geralmente, a eletrólise em meio alcalino por ser mais eficiente do que a eletrólise em meio ácido, utilizando potassa cáustica ou soda cáustica, sendo os elétrodos separados por um diafragma, o que permite a separação dos 2 gases obtidos, sendo ainda possível utilizar catalisadores para melhorar a eficiência.

De registar a existência das células PEM (*Proton Exchange Membrane*), introduzidas pela *General Electric*, em 1960, para obviar algumas desvantagens da eletrólise alcalina. As células PEM são células equipadas com um eletrólito sólido polimérico responsável pela condução de protões, separação dos produtos gasosos e isolamento elétrico dos elétrodos, como se representa na FIGURA 2.

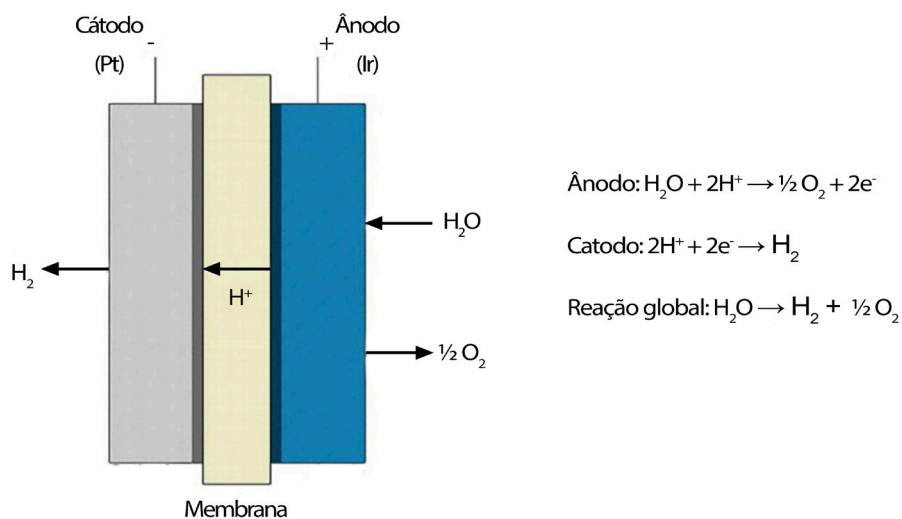


FIGURA 2. Representação esquemática de uma célula PEM.

Permite operar com altas densidades de corrente, reduzindo os custos de operação, principalmente em sistemas acoplados a energia eólica ou solar. A sua eficiência atual é de cerca de 80%, esperando-se vir a poder atingir 82-86% antes do ano 2030. A maior potência atual para unidades PEM é, em 2021, de 20 MW.

Big Bang

Cláudio Gomes

CFP/ Universidade dos Açores

A teoria do Big Bang corresponde ao modelo explicativo do início do Universo a partir de um ponto (singularidade) de elevada densidade e temperatura que começa a expandir-se, criando-se o espaço-tempo. Sendo seguido pelo período de inflação cósmica, um período dominado pela radiação e outro pela matéria (principalmente matéria escura) até ao momento atual, dominado por uma energia escura, permite explicar a história do nosso Universo observável. O modelo do Big Bang é bem testado observacionalmente através das previsões das abundâncias relativas dos elementos químicos primordiais e da existência da radiação cósmica de fundo.

Em 1922 e 1924, o matemático e engenheiro russo Aleksandr Friedmann avançou a ideia de um Universo em expansão, com base na Teoria da Relatividade Geral. Independentemente, em 1925, também o padre jesuíta belga Georges Lemaître propôs a ideia de um Universo em expansão a partir de um “átomo primordial” ou “ovo cósmico”, com base nas observações de Vesto Slipher relativas à galáxia Andrómeda e na Teoria da Relatividade Geral de Einstein. Ambas propostas remetem à possibilidade de, retrocedendo no tempo, se atingir um momento inicial — uma origem.

Já em 1929, Edwin Hubble publicou o culminar de um conjunto de observações astronómicas de galáxias próximas (então imprecisamente conhecidas como *nebulae*). Nesse trabalho, mostrava-se que a velocidade de recessão dessas galáxias era maior quanto maior a distância até nós, isto é, que quanto mais longe se encontrava uma galáxia em relação a nós, mais rápido ela se afastava. Esta relação é dada por meio de uma constante de proporcionalidade direta conhecida como constante de Hubble (na realidade, chama-se hoje parâmetro de Hubble por ser uma função do tempo) com um valor medido então de cerca de $70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}$, que representa que as galáxias a um megaparsec de distância se afastam de nós a uma velocidade de 70 km s^{-1} (FIGURA 1).

Notemos que os trabalhos teóricos de Friedmann e de Lemaître encontraram grande resistência por parte da comunidade científica, que até então considerava o Universo como algo estático, e por a ideia de um “átomo primordial” remeter a uma criação divina, precisamente avançada por um padre.

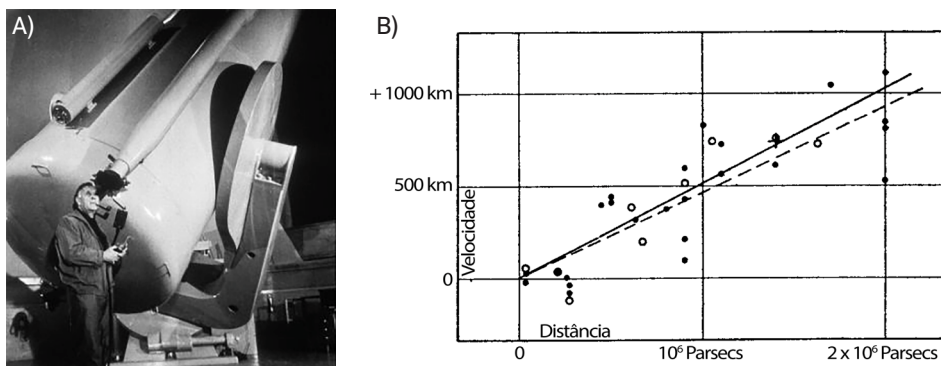


FIGURA 1. A) Encontramos Edwin Hubble a realizar observações astronômicas no telescópio Schmidt do Monte Palomar (Califórnia, EUA), em 1949. B) O conjunto de dados observacionais que recolheu e permitiu descobrir a relação entre a velocidade de recessão e as distâncias das galáxias em relação a nós, e que hoje tem o seu nome: lei de Hubble.

O próprio Einstein procurou introduzir uma constante nas suas equações de modo a prevenir a possibilidade de um Universo em expansão. Todavia, anos mais tarde e rendido às observações de Hubble, Einstein afirmou que essa constante tinha sido o maior erro da sua vida. Curiosamente, essa constante cosmológica, mas com outro valor, permite precisamente tentar dar resposta a um dos mistérios atuais: a energia escura.

Os desenvolvimentos teóricos de Friedmann e Lemaître e as observações de Hubble constituem os dois pilares da teoria do Big Bang, segundo a qual o Universo se cria a partir de uma singularidade inicial, ou seja, um ponto de elevadíssima densidade e temperatura que começa a expandir-se, criando o espaço-tempo. Essa designação de Big Bang surgiu num contexto bastante jocoso, no qual o astrónomo britânico Fred Hoyle rejeitou veementemente essa hipótese e a caracterizou como uma irrealista "grande explosão", propondo em 1948, em alternativa, a ideia de um universo estacionário. Importa referir que esta última ideia também foi proposta de forma independente pelos astrónomos Herman Bondi e Thomas Gold.

Mas a história da teoria do Big Bang não termina aqui. Na realidade, a proposta de Lemaître partia do pressuposto errado que o estado inicial do Universo era frio. Somente em 1948, surge a hipótese de George Gamow de que os elementos químicos teriam sido formados de partículas elementares primordiais num Universo quente. Consequentemente, surge a ideia de que persistiria nos dias de hoje uma radiação fóssil desta época do Universo na região dos micro-ondas e com uma temperatura de cerca de 5K (ou seja, $-268,15\text{ }^{\circ}\text{C}$): a radiação cósmica de fundo, proposta por George Gamow, Ralph Alpher e Robert Hermann. Mais tarde, em 1965, esta radiação foi detetada pelos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson. Esta descoberta merece umas breves palavras devido ao contexto curioso em que decorreu. Penzias e Wilson trabalhavam na Bell Telephone Laboratories, em New Jersey, com um detetor de micro-ondas para comunicações extremamente sensível, quan-

do detetaram um ruído surpreendentemente mais elevado do que estariam à espera obter. Procuraram limpar o “material dielétrico branco” deixado por pombos na antena, causa provável de tal sinal. Contudo, isso não aconteceu, e quando varreram várias regiões do espaço de observação, concluíram que o ruído não desaparecia nem dependia da posição para a qual apontavam a antena, pelo que a causa teria de ser externa à atmosfera terrestre. Adicionalmente, não dependia de ser noite ou dia, ou do momento do ano de observação, pelo que a fonte de tal radiação teria de provir de fora da galáxia. Paralelamente, os físicos da Universidade de Princeton, Bob Dicke e Jim Peebles, estavam a trabalhar nas ideias de Gamow-Alpher-Hermann sobre uma radiação cósmica de fundo. Após ficarem a saber dos trabalhos dos físicos de Princeton, Penzias e Wilson rapidamente perceberam que já haviam detetado essa radiação com uma temperatura não muito diferente da prevista: cerca de 2,7 K, muito próximo do zero absoluto. Essa descoberta valeu-lhes o Prémio Nobel da Física de 1978 (FIGURA 2).

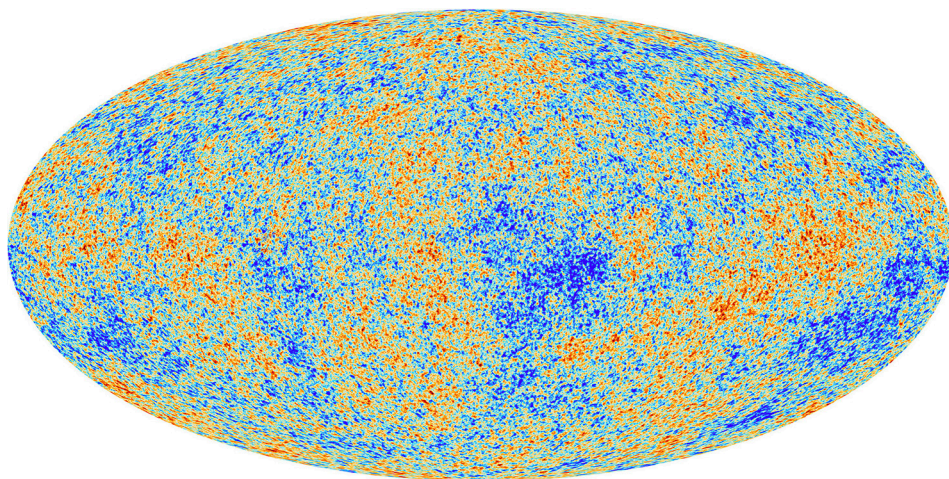


FIGURA 2. Anisotropias da distribuição de temperatura na radiação cósmica de fundo, com uma temperatura média de 2,74K, em que as diferenças entre regiões mais quentes (vermelho) e as regiões mais frias (azul) são da ordem dos 0,3 mK. Esta radiação é também o único corpo negro perfeito existente, utilizando a fórmula de Planck.

Também existem outras evidências que suportam a teoria do Big Bang. Por exemplo, a questão porque é que o Universo é escuro se existem estrelas mais ou menos uniformemente distribuídas por todas as direções? Este problema é conhecido como o paradoxo da noite escura, atribuído a Heinrich Wilhelm Olbers em 1826, embora tenha sido colocado também por Johannes Kepler (1610), Edmond Halley (1720) e Jean-Philippe de Chéseaux (1744) e tem como resposta para o céu noturno ser escuro o Universo não ser finito temporalmente, isto é, evoluir com uma expansão levando a que os fotões não cheguem todos até nós, caso contrário veríamos uma noite ofuscantemente iluminada. Assim, quanto mais longe se observam as galáxias, mais jovens elas são devido à luz que foi emitida há muito

mais tempo para chegar a nós. Acresce também o facto de as estrelas terem uma idade finita e de o Universo observável (região do Universo que pode enviar sinais luminosos e nós os conseguirmos detetar) ser finito.

A teoria do Big Bang é, portanto, a teoria atual mais amplamente aceite pela comunidade científica para explicar o Universo e a sua origem. Contudo, podemos indagar-nos acerca do centro a partir do qual o espaço-tempo se expandiu: qual o centro do Universo?

Para elucidar a nossa resposta, façamos uma analogia simples: o nosso Universo corresponde à superfície de um balão. Suponhamos agora que marcamos pintas no último e o insuflamos. O que notamos? As pintas afastam-se umas das outras, não porque se movam na superfície do balão, mas porque essa própria superfície se expande de igual modo em todas as direções. Então onde está o centro dessa expansão? Dentro do balão, pelo que não há centro na superfície, o que se traduz em não haver centro do Universo.

Também nos podemos indagar acerca do tempo e do espaço antes do Big Bang. Na realidade, estes conceitos só fazem sentido após aquele, como por exemplo, só faz sentido perguntar acerca do volume interior de um edifício quando este está construído. Todavia, esta limitação não impediu a conceção de novas ideias para resolver este problema, em particular, podemos destacar a ideia de que o instante zero corresponde à busca do polo Norte (ou Sul) com uma bússola: o instrumento deixa de ser útil neste ponto, ou seja, o tempo deixa de poder ser medido e passa a ser uma direção como as espaciais. Esta ideia deriva da proposta de “não fronteira” e é um exemplo da genialidade de Stephen Hawking e as suas contribuições para a Física Teórica. Outras propostas incluem as possibilidades de superestruturas como o Multiverso onde o nosso Universo seria apenas mais um elemento, ou os cenários de branas no qual a colisão de duas branas teria dado origem ao nosso Cosmos.

Geofagia

Celso de Sousa Figueiredo Gomes

Universidade de Aveiro

O homem ao longo dos tempos, inicialmente e atualmente ainda em certas regiões do planeta, foi verificando através da chamada Medicina Empírica que certos minerais tinham efeitos positivos na sua saúde. Tal é o caso da chamada geofagia, definida como a “deliberada e incontrolável necessidade de comer terra, em regra, solo argiloso ou argila, tanto pelo homem como por outros animais”, ou também como “a ingestão de preparações medicinais nas quais participam minerais”, prática ainda corrente em sociedades rurais tradicionais, proporcionava resposta benéfica a certas dietas tóxicas.

A geofagia ainda é comum nalgumas comunidades de certos países, particularmente de África (por exemplo, Nigéria, Tanzânia, Gana, Quênia, Uganda e África do Sul), da América do Sul (por exemplo no Perú e Bolívia) e da Ásia (particularmente na Índia e Bangladesh), para fins terapêuticos e religiosos, ou mesmo para matar a fome. 60-90% das crianças (5-14 anos) do Quênia praticam a geofagia consumindo, em média, 20g de solo/dia.

A geofagia foi relatada pela primeira vez por Aristóteles e é prática atual em mamíferos, pássaros e répteis. No caso do homem, a geofagia, prática milenar, já foi mais generalizada, mas ainda ocorre em algumas regiões do mundo. A geofagia foi posteriormente descrita por Dioscórides e Avicena em 40 d.C. e 1000 d.C., respetivamente.

Efetivamente a geofagia que é justificada em muitas culturas por razões terapêuticas, nutricionais e/ou religiosas, remonta aos tempos pré-históricos e está difundida em todo o mundo. A ingestão de solo argiloso ou argila é uma prática ancestral ainda corrente em várias regiões de todos os continentes, refletindo práticas culturais, crenças religiosas e necessidades fisiológicas, nutricionais ou terapêuticas.

O consumo direto das chamadas “terras comestíveis” para fins medicinais e espirituais ocorre em todo o mundo e está profundamente enraizado na chamada “medicina popular” e na religião.

O fator religião está bem representado em Chimayó, no Novo México, EUA, onde num terreno localizado na retaguarda do Santuário a argila é extraída de uma cova e ingerida pelos peregrinos, para cura física espiritual.

Embora a incidência de geofagia esteja diminuindo no mundo, a prática permanece comum em muitas culturas, com uma proporção significativa de mulheres (65,3%) praticando geofagia antes da gravidez e 46,7% durante o segundo trimestre gestacional.

Na maioria das culturas africanas, a geofagia é culturalmente aceita, especialmente entre crianças e mulheres grávidas. Na África, há países onde a prevalência de GiP (Geofagia na Gravidez) até 84% foi observada no Uganda, até 75% no Quênia (onde 70% das crianças em idade escolar são geofágicas), e até 50% na Nigéria, o país mais populoso na África. Os praticantes de geofagia podem consumir cerca de 30-50g/dia, e mais mulheres (particularmente durante a gravidez, acreditando que ajuda no alívio de náuseas e vômitos, e também, durante a lactação) do que os homens praticam a geofagia.

A geofagia é frequentemente associada ao transtorno alimentar denominado *Pica*, que pode ser perigoso porque o indivíduo viciado em substâncias terrosas não distingue as seguras das perigosas que podem conter elementos ou compostos químicos tóxicos e/ou microrganismos patogênicos (bactérias e fungos).

A *Pica* é definida como o consumo propositado de substâncias que o consumidor não identifica como alimento. A *Pica* engloba geofagia (comer terra), amidofagia (comer amidos crus) e pagofagia (comer gelo).

Várias etiologias da pica foram propostas, incluindo fome, deficiências de micronutrientes e desconforto gastrointestinal, assim como os riscos do aumento da exposição ou da suscetibilidade a microrganismos patogênicos.

A prática da geofagia permanece relativamente misteriosa e, embora ela seja documentada mundialmente por pelo menos dois milênios e estudada por vários séculos, as razões pelas quais os humanos consomem solo e argila ainda são uma questão de perplexidade para muitos e um assunto de pesquisa para alguns.

De facto, pesquisadores de campos tão diversos como química e geografia, medicina e geologia, sociologia e pedologia, história da religião e pedologia, nutrição e primatologia, investigaram os consumidores, os métodos e os produtos consumidos, e têm sido divulgadas informações interessantes sobre aspectos antropológicos, culturais, arqueológicos e biológicos da geofagia, bem como o estado atual e futuro da geofagia.

Solo rico em argila e argila comestível têm sido usados na prática tradicional chamada geofagia para compensar deficiências nutricionais.

O conceito e a função da "argila comestível" são mais limitados do que o conceito e a função de "argila curativa". Efetivamente, a função de "argila comestível" limita-se à aplicação interna por ingestão na forma, ou de bolacha ou biscoito preparado com mistura de argila/gordura animal/água potável, ou de suspensão da mistura argila/água potável (FIGURA 1).



FIGURA 1. Mulher do Haiti, em Port-au-Prince, país onde os alimentos são escassos e caros, preparando um conjunto de biscoitos feitos de argila, sal e gordura animal, para serem consumidos preferencialmente por mulheres grávidas.

No que diz respeito à interação argila/corpo humano, as partículas de argila podem adsorver e disponibilizar para incorporação por ingestão, tanto elementos bioessenciais quanto tóxicos (principalmente metais pesados); além disso, as partículas podem adsorver e disponibilizar para eliminação ou excreção quaisquer elementos tóxicos ou toxinas potenciais que tenham sido ingeridos ou produzidos metabolicamente.

Durante os séculos XVIII, XIX e XX massas de argila/água mineral foram profusamente utilizadas na Europa, particularmente em França, Alemanha, Itália e Espanha em aplicações tópicas com efeito terapêutico na forma de banho de lama e cataplasma de lama. Tradicionalmente, geofagia, lamaterapia e peloidoterapia ou peloterapia (em abreviado) eram, respetivamente, bons exemplos do uso de produtos baseados em argila-água mineral em cuidados de saúde sob a forma de aplicações internas e tópicas.

Solo argiloso e argila comestível (*edible clay*, em inglês) têm sido utilizados na prática tradicional denominada geofagia que se admite poder compensar deficiências nutricionais.

A geofagia é praticada ainda em muitos países de África, Ásia e América do Sul e tem sido descrita e divulgada por vários investigadores.

Há relatos duma viagem pela América do Sul entre 1799 e 1804 referindo que o barro era comido por elementos da tribo Otomac ao longo do rio Orinocco e que, no Peru, as mães davam aos filhos pedaços de barro para mastigarem e ingerirem porque isso os mantinha sossegados.

Admite-se que a geofagia pode proporcionar benefícios para a saúde humana através dos quatro mecanismos de ação seguintes: protetora, *buffer* (capacidade de manter o pH do sistema), antiácida, libertação e incorporação de elementos químicos bioessenciais, e recuperação de doença. Mas, a geofagia também pode acarretar riscos para a saúde.

Benefícios e Riscos da Geofagia

Por um lado, o uso interno de argila comestível é particularmente considerado como um meio benéfico de:

1. Suplementação alimentar de nutrientes minerais necessários à síntese de novos tecidos;
2. Combate à deficiência de ferro ou anemia;
3. Desintoxicação de compostos nocivos ou desagradáveis presentes na dieta alimentar;
4. Alívio de dores abdominais (azia) acompanhadas de vômitos;
5. Controlo da náusea e vômitos associados aos primeiros estádios da gravidez da mulher.

Por outro lado, a ingestão de argila comestível pode causar riscos à saúde, como obstipação, bem como redução da capacidade de adsorção de elementos químicos bioessenciais, como Fe, Zn, Mg, Ca, Se,..., ou de fármacos bioativos compostos existentes, por exemplo, em drogas, se quase simultaneamente ingeridos com a argila. Além disso, alguns metais e metaloides, como Pb, Hg, Cd, Cr, Sb, Ba, U, As e Se podem estar presentes na argila comestível em concentrações que podem torná-la tóxica e venenosa, principalmente devido à sua fácil assimilação e bioacumulação, ou seja, a acumulação gradual ao longo do tempo de um elemento químico ou composto em um organismo vivo.

A toxicidade depende muito da dose e frequência da ingestão de argila comestível e, naturalmente, da natureza das espécies químicas (estados de oxidação) e da biodisponibilidade dos metais e metaloides referidos.

Os possíveis efeitos na saúde humana da composição química, principalmente de metais pesados, causados por materiais geofágicos, têm sido discutidos por vários investigadores.

Há relatos dos riscos para a saúde de práticas geofágicas por mulheres grávidas do Bangladesh que vivem no Bangladesh e no Reino Unido, uma vez que são expostas a altas concentrações de As, Pb, Cd e Mn quando comem argila cozida chamada Sikor, também comprada em lojas no Reino Unido. E, relativamente ao As, para as residentes no Bangladesh, o efeito deletério do As na argila acumula ao efeito igualmente adverso do As na água potável consumida. É referida a importância da avaliação da biodisponibilidade do As e de outros elementos tóxicos, bem como a avaliação clínica dos efeitos adversos.

A matéria orgânica no sistema geológico

Carolina Fonseca*, Paula Alexandra Gonçalves[†]

* DCT/ EC/ Universidade do Minho

[†] ICT/ FC/ Universidade do Porto

O estudo da matéria orgânica dispersa em sedimentos e rochas sedimentares reflete a interação entre a biosfera e a geosfera. Conhecer esta interação é fundamental para a compreensão dos controlos ambientais responsáveis pela produção da matéria orgânica na biosfera, dos processos ecológicos e sedimentológicos que controlam a sua deposição e distribuição, dos fatores biogeoquímicos e geomicrobiológicos que influenciam a sua preservação, e dos processos geoquímicos e físicos que determinam a sua modificação durante a incorporação na geosfera. A caracterização da matéria orgânica sedimentar, baseada na integração de dados de microscopia e geoquímica orgânica, contribui para o avanço do conhecimento em diversas áreas como a biologia, geologia, ciências ambientais, entre outras, apresentando um carácter multidisciplinar.

Matéria orgânica: conceitos e definições

A matéria orgânica dispersa em sedimentos e rochas sedimentares é constituída por moléculas orgânicas derivadas direta ou indiretamente da parte orgânica dos organismos, sendo composta por carbono (C), hidrogénio (H), oxigénio (O), azoto (N) e enxofre (S), excluindo-se esqueletos, conchas, ossos, espinhos e dentes.

A matéria orgânica sedimentar inclui duas frações: o cerogénio (fração da matéria orgânica insolúvel em solventes orgânicos) e o betume (fração da matéria orgânica solúvel em solventes orgânicos). O cerogénio corresponde à matéria orgânica particulada (constituintes orgânicos das rochas sedimentares) e o betume à matéria orgânica molecular (compostos orgânicos moleculares: saturados, aromáticos e compostos NSO) (FIGURA 1). A sua quantidade e qualidade nos sedimentos é o resultado de um processo dinâmico que combina a influência da produtividade da biomassa, a degradação bioquímica e os processos deposicionais da matéria orgânica.

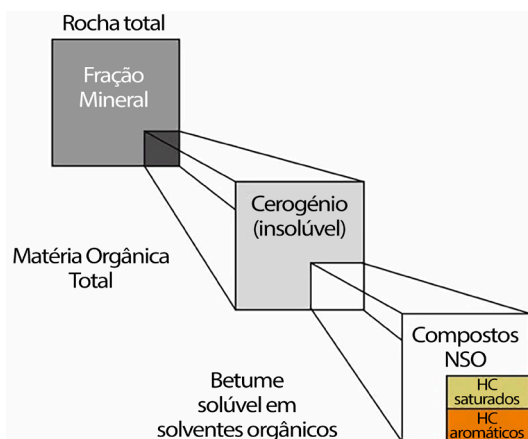


FIGURA 1. Composição da matéria orgânica dispersa em rochas sedimentares.

A fotossíntese constitui a base para a produção de matéria orgânica por organismos autotróficos. Neste processo a energia luminosa é absorvida e convertida em energia química que será utilizada pelas plantas, na presença de dióxido de carbono e água, para a produção de matéria orgânica na forma de hidratos de carbono (glicose, $C_6H_{12}O_6$) e oxigénio. A produtividade primária está condicionada pelo ambiente em que os organismos se desenvolvem, sendo controlada por fatores como a luz, humidade, temperatura, condições redox, entre outros. Em ambientes de livre acesso ao ar atmosférico, onde se encontram os vegetais superiores, a preservação da matéria orgânica é menor, devido à intensa ação bacteriana levando a uma taxa de decomposição maior e mais rápida. Em meios aquáticos, a principal fonte de matéria orgânica é o fitoplâncton (algas lacustres, algas marinhas, entre outros), sendo a sua produção condicionada, ainda, pela presença de nutrientes.

A acumulação de matéria orgânica em sedimentos é controlada por um número limitado de condições geológicas. Os principais fatores que controlam a sua acumulação incluem a produção da biomassa e os processos de degradação e transporte da matéria orgânica. A sua quantidade e qualidade num dado sedimento é basicamente o resultado da influência combinada da produtividade da biomassa, da degradação bioquímica e dos processos deposicionais. A acumulação está praticamente restrita a sedimentos depositados em ambientes aquáticos, os quais devem receber uma quantidade mínima de matéria orgânica. Em sedimentos subaéreos, esta é facilmente destruída pela oxidação química ou microbiana. O suprimento de matéria orgânica é elevado ao longo das margens continentais, devido à alta produtividade primária das águas costeiras e/ou do intenso fluxo de material alóctone derivado de plantas terrestres. Deste modo, a acumulação de matéria orgânica em sedimentos depende dos processos que a conservam e concentram e aqueles que a destroem e diluem na componente inorgânica. Entre

a produção da biomassa e a sua incorporação nos sedimentos ocorre a intervenção de um grande número de fatores físico-químicos e biológicos, os quais irão influenciar a sua estrutura química e determinar a sua distribuição espacial nas sequências sedimentares.

Transformação da matéria orgânica: maturação térmica

A transformação físico-química da matéria orgânica durante a história geológica das bacias sedimentares não pode ser considerada um processo isolado. Tal transformação é controlada pelos mesmos fatores que determinam as variações na composição da fração mineral (fase sólida inorgânica). Deste modo, as variações composicionais sofridas pela matéria orgânica nas rochas sedimentares durante o soterramento são impostas, num estágio inicial, pela atividade biológica e posteriormente por agentes termodinâmicos, como a temperatura e a pressão. A série contínua de processos sofridos pela matéria orgânica é denominada de maturação térmica e divide-se em estágios de evolução consecutivos (diagénese, catagénese e metagénese) caracterizados por diferentes processos químicos, sendo os seus limites gradacionais. Estes processos atuam no ciclo do carbono e causam progressivas e irreversíveis mudanças na composição da matéria orgânica sedimentar.

Os tecidos dos seres vivos são compostos por um conjunto de biomoléculas termodinamicamente instáveis. Quando essas moléculas são secretadas ou excretadas pelos organismos, ou mesmo depois da sua morte, tendem a perder a sua integridade, sendo transformadas em compostos estáveis mais simples (CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S , H_2O , etc.). Deste modo, as moléculas biológicas sofrem modificações, das quais resultam diversos produtos, sendo que a sua proporção e reatividade determinam o padrão geral da degradação, com os compostos mais metabolizáveis a desaparecer primeiro e a taxas mais rápidas. Durante o processo de maturação térmica da matéria orgânica, ocorrem diferentes tipos de reações químicas, tais como:

- Quebra ou remoção de ligações específicas C-C (molécula de clorofila dá origem a moléculas de porfirina e fitol);
- Redução de ligações C-C insaturados (grupos olefínicos formam alcanos saturados);
- Reações de descarboxilação (perda de CO_2), desmetilação (perda do grupo metilo), desaminação (perda de azoto), desidratação (perda de H_2O) e dessulfurização (perda de S ou H_2S);
- Reações de redistribuição de átomos de H nas moléculas;
- Reações de ciclização e aromatização;
- Reações de isomerização.

A composição química da matéria orgânica presente numa rocha sedimentar muda ao longo do tempo, em resposta ao aumento da temperatura e da pressão. Estas mudanças podem ser quantificadas e estão relacionadas com a qualidade da matéria orgânica. O grau de evolução térmica é consequência de uma série de variáveis que estão maioritariamente associadas ao soterramento, à tectónica e à história térmica da bacia.

Diagéneses

A diagéneses corresponde ao primeiro estágio da maturação térmica e compreende uma série de processos através dos quais o sistema tende a aproximar-se do equilíbrio em condições de baixo soterramento (centenas de metros), e a baixa temperatura (até 65°C) e pressão, durante o qual o sedimento se torna, normalmente, mais consolidado.

O termo diagéneses, quando aplicado à matéria orgânica, refere-se ao estágio inicial de alteração por meio do qual os restos orgânicos são alterados e/ou degradados por processos de transformação biológica e química a baixa temperatura. Tal processo ocorre na fase inicial da história do sedimento e estabelece a ligação entre a biosfera e a geosfera.

No início da diagéneses, a atividade microbiológica é um dos maiores agentes de transformação, sendo mais elevada na interface água-sedimento e a baixa profundidade de soterramento. Biopolímeros, tais como proteínas e hidratos de carbono, são inicialmente degradados por microrganismos em aminoácidos e açúcares simples, alguns dos quais utilizados como nutrientes pelos microrganismos. O resíduo não utilizado pelos microrganismos recombina-se através de uma série de reações, tais como, descarboxilação, desaminação, polimerização e redução, das quais resultam macromoléculas quimicamente mais definidas denominadas de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos ou huminas, dependendo da sua solubilidade em ácidos e bases (FIGURA 2).

A diminuição na concentração de ácidos fúlvicos e dos ácidos húmicos (por esta ordem) ocorre como resultado da combinação progressiva de reações durante o decorrer da diagéneses. Com o aumento progressivo do soterramento, as ligações heteroatómicas e os grupos funcionais são eliminados, bem como CO_2 , H_2O e alguns componentes pesados (N, S e O), levando à formação gradual do cerogénio. No final da diagéneses, a matéria orgânica tende para o equilíbrio e a formação do cerogénio é considerada completa (FIGURA 2). A proporção de cerogénio resultante da diagéneses depende da natureza da matéria orgânica original e do ambiente deposicional. O único hidrocarboneto formado durante esta etapa é o metano biogénico, formado pela atividade bacteriana.

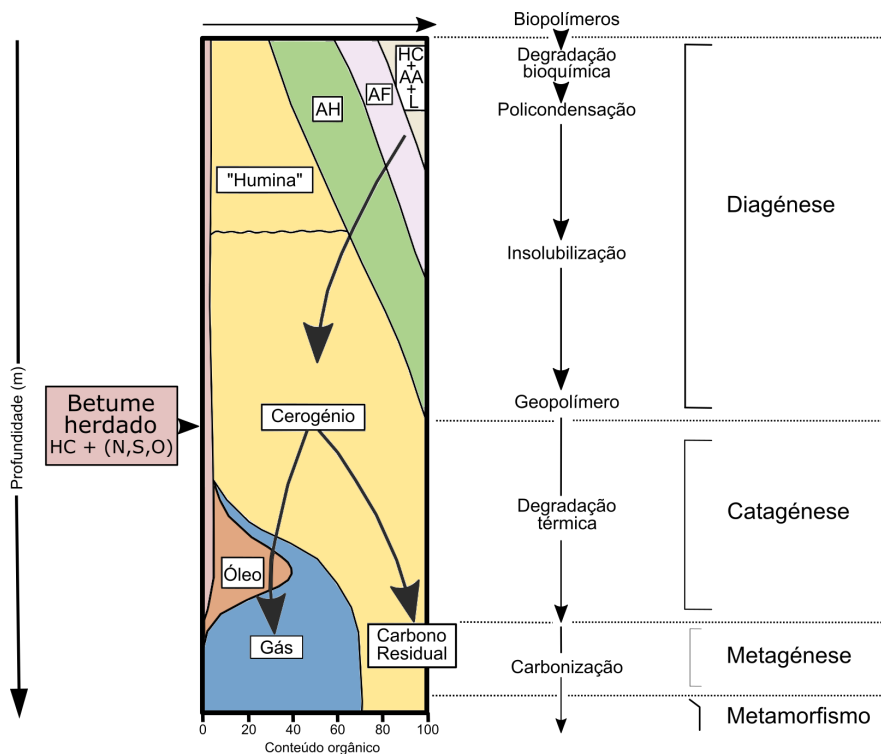


FIGURA 2. Estágios de evolução da matéria orgânica.

Catagénesis

A catagénesis é o estágio da maturação térmica que se segue à diagénese. Nesta fase, a matéria orgânica é sujeita a temperatura (65 a 150°C) e pressão (300 a 1500 bars) cada vez mais elevadas resultantes do aumento da profundidade de soterramento (alguns quilómetros) na subsidência da bacia sedimentar. Como resultado destas modificações, o sistema tende novamente para o desequilíbrio, resultando em novas mudanças na fração orgânica.

Durante a catagénesis, a matéria orgânica sofre uma série de reações químicas que levam ao craqueamento das moléculas de geopolímeros (compostos de elevada massa molecular) resultando a geração da maioria de hidrocarbonetos (compostos de baixa massa molecular), bem como a produção de um resíduo carbonoso (FIGURA 2). Assim, durante a catagénesis, parte do cerogénio é transformado primeiramente em óleo e, posteriormente, em gás ("gás húmido" e condensado). O fim deste estágio da transformação da matéria orgânica é atingido quando desaparecem as cadeias de carbono alifáticas do cerogénio e as ligações C=O.

A atividade microbiana no processo sedimentar

Luís V. Duarte*, Ana C. Azerêdo¹

* MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra

¹ DG/ IDL/ FC/ Universidade de Lisboa

A microbiologia trata do mundo que não se vê, como tal, invadido de espécies e espécimes de micro-organismos, onde se incluem bactérias, protozoários, fungos e algas mais minúsculas, e...os vírus. Os tais de que tanto se tem falado nos dois anos transatos, maléficos e controversos quanto à sua definição e posicionamento biológico. Se este é um lado conhecido da biologia, e ao mesmo tempo repleto de tantas interrogações, o que dizer sobre a ação e o papel dos micróbios ao longo das centenas de milhões de anos da história da Terra. Eles que terão sido os primeiros habitantes do planeta! Os registos que são hoje pesquisados em território marciano, desde a chegada do *rover Perseverance* ao dito planeta “vermelho”. Em clara ascensão, a geomicrobiologia tem como objetivo o estudo das estruturas desses micro-organismos, bem como o resultado da sua atividade nos complexos processos geoquímicos, que terão ocorrido ao longo da história da Terra. Uma área da ciência que interseja campos tão diversos como a metalogenia, a hidrogeologia e a contaminação ambiental. Apesar das múltiplas abordagens, é essencialmente no registo sedimentar que observamos, à vista desarmada, o resultado da influência da atividade microbiana, que permite interpretar histórias paleoambientais e paleoclimáticas de tempos remotos. Este texto tem como objetivo identificar e ilustrar, de modo muito sintético, algumas das principais tipologias litológicas, à escala macroscópica, resultantes da ação microbiana. Desde o Proterozoico (Pré-Câmbrico) ao Atual e com exemplos da geologia portuguesa e de outras partes do globo. Lugares e intervalos estratigráficos que foram objeto de observação *in situ*.

O imenso registo geológico de natureza sedimentar ostenta variadíssimos tipos de estruturas e acumulações/construções de natureza microbiana, bentónica, os chamados micro-

bialitos. Estes são depósitos e estruturas biossedimentares, que resultam ou resultaram da atividade metabólica de micro-organismos, associados à sedimentação, que induzem ou influenciam a precipitação química de diversos minerais, com especial ênfase de carbonatos. Uma atividade que também tem a particularidade de poder aprisionar, interligar e litificar outros tipos de sedimentos. Entre as diversas estruturas, e independentemente dos contextos deposicionais e das classificações mais ortodoxas, contam-se no registo sedimentar vários tipos de morfologias, onde se incluem os mais conhecidos estromatólitos. Por definição, depósitos microbianos laminados, estratiformes, em doma ou colunares. Acrescem outras tipologias, como os oncólitos (com estrutura laminada concêntrica) e as edificações não laminadas como os trombólitos (formados por agregados de partículas peloidais e grumosas), dendrólitos (morfologia filamentosa dendrítica) e os leiólitos (sem qualquer estrutura interna), algumas delas a ganharem maior importância na análise à escala microscópica.

É sabido que a vida na Terra terá começado no meio aquático, confirmada através da ocorrência dos primeiros estromatólitos. Corpos bioconstruídos, laminados, que resultaram da precipitação química carbonatada, génese associada à atividade de micro-organismos, dos mais "básicos" em termos celulares, onde se incluem as cianobactérias. Algo que poderá ter sido anterior aos mais que confirmados registos de Pilbara, de há cerca de 3,5 mil milhões de anos (Arcaico), na remota Austrália Ocidental. Este tipo de micro-organismos terá dominado os oceanos do planeta por muitas centenas de milhões de anos, sendo praticamente as únicas evidências de vida até se atingir a grande explosão fanerozoica. São vários os exemplos de registos sedimentares conhecidos por esse mundo fora, e que atravessam toda a tabela cronostratigráfica. Para além das primeiras ocorrências de Pilbara, sobressaem os exemplos atuais da vizinha Baía dos Tubarões, o clássico dos clássicos de entre os corpos estromatolíticos atuais. Mas, entre estes, destacam-se outros tipos de construções microbianas, em lugares tão diferentes do planeta, como a zona costeira do Abu Dhabi (Emirados Árabes Unidos) (FIGURA 1) e a Lagoa Vermelha, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil (FIGURA 2A)). Evidências de registos que, não sendo assim tão comuns, merecem ser sempre lembrados ao comum do cidadão pela singularidade e o seu importante significado (FIGURA 2B)). Com texturas, estruturas e contextos geológicos e mineralógicos algo diferenciados, mas com algumas características semelhantes comuns a todos eles: condições de nível de água muito raso, em ambientes margino-marinho, lagunar, supramareal ou lacustre e com um clima em geral árido a semiárido, resultado da muito baixa pluviosidade. Como são os casos da Baía dos Tubarões e das planícies de inundação de maré do Abu Dhabi, que mostram valores médios anuais abaixo, respetivamente, de 80 e 230 mm. A água do mar é por isso hipersalina (chegando a valores de salinidade acima de 40 g/kg), condicionando toda uma cadeia alimentar bastante restrita. No caso da Península Arábica, os tapetes microbiais (*algal mats*) inserem-se num contexto exce-

cional de sedimentação carbonatada, de tal modo que constituem um dos exemplos mais conhecidos no domínio da sedimentologia em ambiente hipersalino. O registo sedimentar e biológico é tão singular, à semelhança do da Baía dos Tubarões na Austrália, que ambos os locais têm a chancela de Património Mundial da UNESCO. No caso do Golfo Pérsico, as bactérias e a consequente matéria orgânica que se vai acumulando (FIGURA 1), mantêm-se preservadas dos predadores e que, perante ambiências tão inóspitas, até podem não existir. O resultado é uma acumulação contínua de sedimentos de natureza carbonatada (entre todos os aspetos faciológicos de plataforma marinha rasa), orgânica e evaporítica (esta última a circunscrever-se, preferencialmente, à zona supramareal).

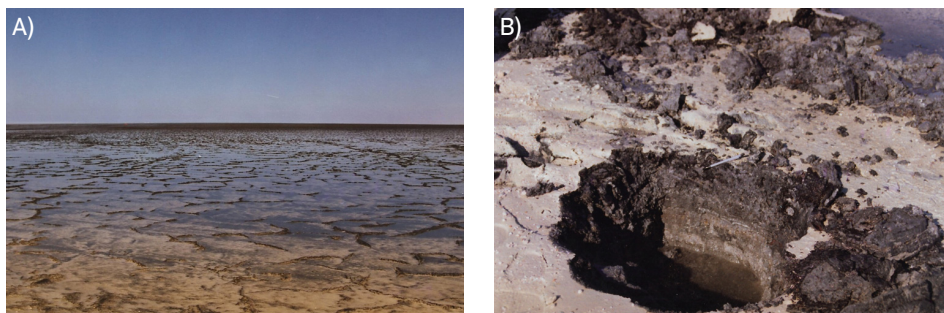


FIGURA 1. Tapetes microbianos (cianobactérias) na planície de inundação de maré holocénica de Abu Dhabi (Emirados Árabes Unidos). A) Zona intermareal, com a típica acumulação microbiana (*algal mats*). A forma poligonal corresponde a fendas de dessecação, que resultam da momentânea exposição subaérea. B) Aspeto da grande acumulação vertical de matéria orgânica de origem microbial.

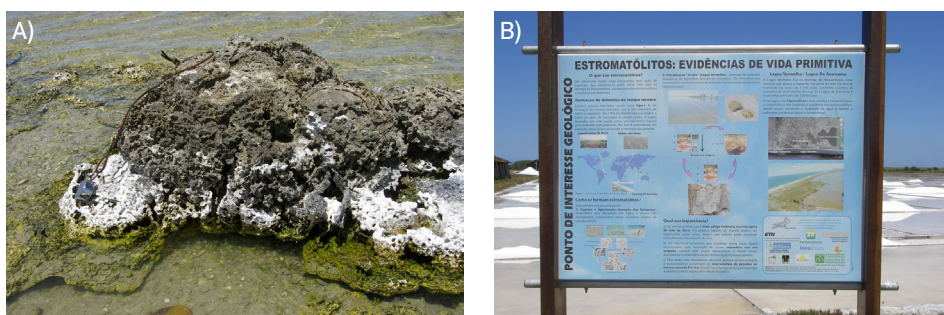


FIGURA 2. Sedimentação microbial holocénica da Lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro, Brasil). A) Aspeto macroscópico de doma estromatolítica. B) *Placard* divulgativo.

Importa referir que também se originam microbialitos e estruturas com influência microbiana significativa noutros contextos, mercê de condições particulares, aqui não abordados. Como é de fácil entendimento, dadas as restrições climáticas e considerando a diversidade de contextos geográficos e fisiográficos da Terra, exemplos como os acima retratados de ambientes atuais, não são assim tão frequentes. Como tal, constituem ver-

dadeiros templos para os geólogos sendo, por isso, um privilégio a sua observação *in situ*. Todavia, mais abundantes, e não menos fascinantes, são as estruturas microbianas do registo sedimentar antigo, que tendencialmente exemplificam as mesmas características paleoambientais dos seus análogos atuais. Um exemplo particularmente conhecido da história da Terra é o do final do Proterozoico, sinal de que estes micro-organismos sobreviveram ao fenómeno global conhecido como “Terra Bola de Neve”. A fase glaciária mais marcante de toda a tabela cronostratigráfica e que terá afetado grande parte dos ambientes previamente marinhos do planeta. Um lugar de referência mundial deste tipo de registo sedimentar glaciário é a Namíbia, sendo também os estromatólitos (Grupo Nama) que se lhes sobrepõem. Não tendo sido ainda possível observar *in loco* estas rochas, com cerca de 550 milhões de anos, podemos regressar à vizinha Angola, para revisitar as bioconstruções do Neoproterozoico da Serra da Leba e do Planalto da Humpata. Estromatólitos admitidos como sendo bastante mais antigos do que os acima citados da Namíbia. De natureza dolomítica, primária, e numa sucessão sedimentar dominada por uma cor escura devido à forte silicificação (FIGURA 3). As diferentes fácies e estruturas sedimentares da Formação da Leba sugerem, uma vez mais, um ambiente marinho raso e hipersalino.



FIGURA 3. Laminações microbiais e pequenas cúpulas estromatolíticas da Formação da Leba, datada do Proterozoico (Serra da Leba, Angola).

Mas, estando em Portugal, não é necessário ir tão longe para observar magníficos exemplares destas estruturas de origem microbial. É o caso da Praia Velha em São Pedro de Moel, onde se observa, possivelmente, dos melhores registos de cúpulas estromatolíticas.

Amonites

in casadasciencias.org/banco-imagens

Qualquer fóssil tem o poder de nos maravilhar. É um silencioso testemunho que atravessou o tempo para nos lembrar um velho e sábio princípio, que a vida é efémera mas deixa a sua marca.

A fossilização, tal como a fotografia, é um processo de fixação que imortaliza por um demorado instante uma fugaz realidade. Nas palavras de Marguerite Yourcenar, o tempo é o grande escultor. Ele, na sua lenta sabedoria, vai moldando o Mundo e, após o milagre de um lampejo de vida, continua o seu eterno trabalho, esculpindo em rocha a obra que nós agora apreciamos e que inexoravelmente retornará a pó estelar.

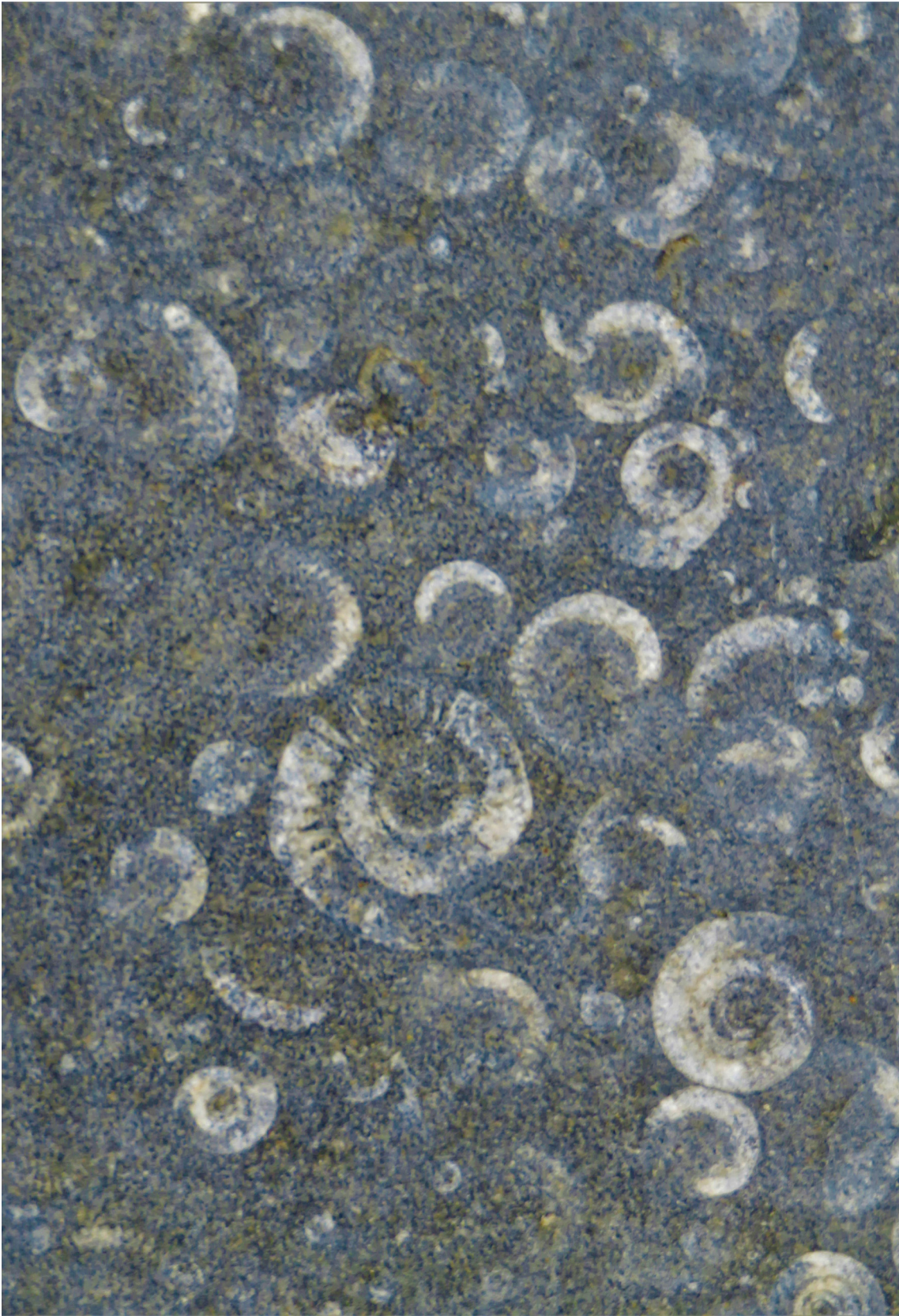
Esta colónia de seres, outrora vibrante, foi imobilizada em cornucópias de base calcária e possui a força de nos atrair numa voragem hipnotizante para um tempo jurássico misterioso. O próprio grão desta imagem esbate os contornos das formas e acrescenta um ambiente feérico ao conjunto.

Aproveitemos, portanto, a oportunidade de contemplar esta bela imagem enquanto a química a vai erodindo lentamente.

As amonites, cefalópodes que habitaram os ambientes marinhos da Terra, desde o Devónico ao final do Cretácico, são particularmente importantes na estratigrafia, já que os seus fósseis permitem datar as rochas/camadas em que se inserem. São considerados fósseis índice ou de idade, com enorme potencial no processo de correlação temporal, pelo facto de terem pertencido a um grupo taxonómico (Subclasse Ammonoidea) com elevada taxa de evolução, e com larga distribuição geográfica. A imagem (escala aproximada 1:1), mostra uma acumulação monoespecífica do género *Paltechioceras*, um fóssil que marca o final do Sinemuriano em Portugal, o segundo andar do Período Jurássico. Este registo paleontológico, inserido num calcário de grão fino e acumulado num ambiente marinho não muito profundo, é excepcional devido à abundância de exemplares, à sua disposição, e ao preenchimento calcítico, cristalino, dos fósseis, bem diferente do da rocha encaixante. É um sinal de que existiu toda uma história, bem complexa, após a morte dos organismos até à sua consequente fossilização.

Alexandre Lopes Magalhães
DQB/ Universidade do Porto

Luís Vitor Duarte
MARE/ DCT/ Universidade de Coimbra





CASA DAS CIÊNCIAS
EDULOG • FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO