

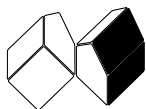
V13/03

REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR
CASA DAS CIÊNCIAS

SETEMBRO 2025



REVISTA DE CIÊNCIA ELEMENTAR



FICHA TÉCNICA

Rev. *Ciência Elem.*, V13(03)

Publicação trimestral
da Casa das Ciências

ISSN 2183-9697 (versão impressa)

ISSN 2183-1270 (versão online)

rce.casadasciencias.org

DEPÓSITO LEGAL

425200/17

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Alexandra Coelho

DESIGN

Rui Mendonça

PAGINAÇÃO

Raul Seabra

IMAGEM NA CAPA

Ginkgo brotero

Jorge Manuel Canhoto

© 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

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

CONSELHO EDITORIAL

Alexandre Lopes Magalhães (UNIVERSIDADE DO PORTO)

Jorge Manuel Canhoto (UNIVERSIDADE DE COIMBRA)

Paulo Ribeiro-Claro (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Cidade Mourão (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO)

Rute Coimbra (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

Sónia Gouveia (UNIVERSIDADE DE AVEIRO)

José Francisco Rodrigues (UNIVERSIDADE DE LISBOA)

João Lopes Santos (UNIVERSIDADE DO PORTO)

PRODUÇÃO e SECRETARIADO

Alexandra Coelho

Guilherme Monteiro

Raul Seabra

NORMAS DE PUBLICAÇÃO NA RCE

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

INFORMAÇÃO PARA AUTORES E REVISORES

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

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

SETEMBRO 2025

V13 / 03

Índice

- 02 AGENDA
- 03 NOTÍCIAS
- EDITORIAL
- 05 **Outonecer.**
Jorge Manuel Canhoto
- ARTIGOS
- 07 **A uva, o vinho e a saúde.**
Fernanda Borges, Lisa Sequeira
- 10 **Medronheiro e os serviços dos ecossistemas.**
João Martins *et al.*
- 14 **Anatomia radicular.**
Amanda Cristina Zanatta *et al.*
- 17 **Alelopatia.**
Paula Lorenzo
- 21 **Bactérias contra bactérias.**
Ana C. Afonso *et al.*
- 24 **Antibióticos.**
Catarina Alves Sofia Benfeito
- 27 **A problemática das cianotoxinas nos ecossistemas aquáticos.**
Ivo Pinto *et al.*
- 31 **Microplásticos.**
Catarina Guimarães *et al.*
- 35 **Um aperitivo à Computação Quântica.**
João Nuno Tavares
- 39 **Artifícios matemáticos para resolver problemas de estequiometria.**
João Nuno Tavares
- AOS OLHOS DA CIÊNCIA
- 42 **Paisagens argentinas – II.**
Luís Vítor Duarte
- IMAGEM EM DESTAQUE
- 48 **Biologia e Matemática.**
Jorge Manuel Canhoto

Quartas-feiras

Seminário Filosofia e História das Ciências

O ciclo de Seminários "[Filosofia e História das Ciências](#)" promovido pela Casa das Ciências, decorre quinzenalmente com participação livre e aberto a todos os interessados tem como objetivo de discutir temas de Ciência e Filosofia das Ciências.

Para participar via *online* a inscrição é obrigatória.

CASA DAS CIÊNCIAS

22/11 e 23/11⁽²⁰²⁵⁾

Conferência 100 anos da Mecânica
Quântica

Em 2025, celebra-se o centenário da Mecânica Quântica, tendo a ONU declarado 2025 como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas, reconhecendo o impacto da mecânica quântica na ciência, tecnologia, filosofia e artes.

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



07/07 a 09/07⁽²⁰²⁶⁾

XI Encontro Casa das Ciências

Marque já os dias 7+8 e 9 de julho de 2026 na sua agenda! O Encontro Casa das Ciências regressa à Cidade Berço para 3 dias de formação intensa! Estamos a preparar um programa aproveitando o facto de Guimarães ser Capital Verde em 2026. Esteja atento em [casadasciencias.org](#). Até ao final do ano haverá novidades!

GUIMARÃES

A Invenção da Biologia

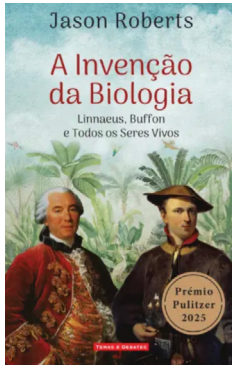


FIGURA 1. Livro "A Invenção da Biologia", de Jason Roberts.

Neste livro, editado pela Temas e Debates, Jason Roberts – autor norte-americano distinguido com um Prémio Pulitzer – conduz-nos, com rigor científico e um humor refinado, pelas vidas paralelas de dois gigantes da história natural: Lineu e Buffon. Tão geniais quanto opostos, o acaso fez com que os seus caminhos se cruzassem, e o resultado foi uma rivalidade deliciosa, marcada por ironias e pequenas vinganças botânicas. Como recorda o autor, Lineu chegou mesmo a batizar uma planta frágil com o nome genérico *Buffonia*, num gesto que pretendia sublinhar as ambições algo frágeis de Buffon em se tornar um botânico de renome. Ambos nasceram em 1707, mas o destino levou Lineu uma década mais cedo, em 1778. Médico de formação e católico fervoroso, acreditava na narrativa bíblica da criação. Buffon, pelo contrário, via os organismos como dinâmicos e em transformação – uma visão que talvez refletisse a sua própria impetuosidade e o gosto pela vida boémia. Entre festas, paixões e rixas, envolveu-se em vários duelos, especialmente em Angers, a universidade que escolhera por ser a

mais distante de Dijon, onde estudara direito na academia jesuíta. Lineu legou-nos o sistema binomial, que trouxe ordem ao caos da classificação dos seres vivos; Buffon, por sua vez, lançou as sementes do pensamento evolucionista que mais tarde inspiraria Lamarck e Darwin.

Museu do medronho



FIGURA 1. Museu do medronho.

O medronheiro (*Arbutus unedo* L.) é uma ericácea amplamente distribuída em Portugal, embora seja particularmente abundante na zona Centro – entre Coimbra e Castelo Branco – e nas serras algarvias de Monchique e do Caldeirão. Os frutos maduros, de um vermelho intenso, podem ser consumidos frescos, mas a sua principal utilização é na produção da aguardente de medronho. O medronheiro e o medronho têm um museu. Não fica no Algarve nem nas Beiras, mas sim em pleno Alentejo, junto à povoação de Alqueva, que dá nome à conhecida barragem. Melhor do que uma visita [online](#) é mesmo ir ao local, onde uma interessante exposição revela as particularidades da planta e do fruto, bem como as suas principais aplicações. É ainda possível assistir à produção da aguardente de medronho através de uma visita guiada à destilaria, e adquirir mel de medronheiro, conhecido pelo seu sabor “amargo” característico. Isto, para além de vários artigos alusivos ao medronheiro na respetiva loja. A

visita ao museu pode ser complementada com um passeio pelo montado, onde se pode desfrutar da vida selvagem típica da região e admirar imponentes sobreiros e azinheiras. Não muito longe dali fica a Vidigueira, bonita vila alentejana, conhecida pela produção de alguns dos melhores vinhos alentejanos – e, arrisca-se dizer, de Portugal.

logia florestal passando por aspectos culturais e socio-económicos. O projeto é uma iniciativa da *The Navigator Company*, tem a coordenação técnico-científica do *Raiz – Instituto de Investigação da Floresta e do Papel* e a coordenação editorial de Cristina Marques e Tânia Sofia Oliveira.

florestas.pt



FIGURA 1. florestas.pt.

Em Portugal temos várias épocas: caça, lampreia, banhar, futebolística, só para citar algumas e, claro, a época dos incêndios, onde jornalistas inebriados pelo fumo e cerebralmente encandeados pelas quentes e intensas luzes, disparam banalidades e comentários, que ultrapassam a velocidade (como eles dizem) do próprio fogo. É também por essa altura que centenas de especialistas em floresta despertam da letargia mental e inundam as televisões, jornais, rádios e redes sociais, quais drosófilas atraídas por fruta fermentada. Passada a época dos incêndios, designação que se não fosse trágica, seria no mínimo anedótica, talvez valha a pena visitar a página online da iniciativa florestas.pt. Aí pode encontrar informação atualizada e cientificamente validada sobre a floresta portuguesa, nas mais diferentes vertentes, deste a floresta de produção até à eco-

Outonecer.

Compramos livros por vários motivos: porque já conhecemos o autor, o tema nos interessa ou temos um amigo de quem gostamos e compramos milhares de exemplares para lhe encher o ego e ajudá-lo nas agruras da vida. Pessoalmente, também compro livros pelas capas e pelos títulos. Foi o que aconteceu com o livro do médico psiquiatra Júlio Machado Vaz, a quem roubei o título – *Outonecer* – para este texto. O título é fascinante. E o conteúdo também.

Quando este número da revista chegar aos leitores, estaremos em pleno outono, uma estação meio melancólica, perdida entre o verão e o Natal. Para os humanos, outonecer não é fácil, metafórica e literalmente. O outono parece só trazer aborrecimentos: acabam-se as férias, começam os sarilhos com a escola, os dias encolhem, com azar apanha-se mais uma gripe e o frio, vindo do Norte, começa a chegar – primeiro um pouco disfarçado pelo sol e, mais tarde, já pouco discreto, tolhe-nos os movimentos e empurra-nos para a lareira. Metaforicamente, outonecer é, sem dúvida, pior.

Mas, mesmo no outono, um pouco indiferente às idiosincrasias humanas, a natureza segue o seu caminho. É certo que as variações no clima a que vamos assistindo quase nos fazem acreditar que as meias-estações já não existem. No entanto, os sinais estão aí, e nada melhor do que as folhas para nos mostrar o que se avizinha. Primeiro, adquirem um tom verde-amarelado, sinal de que a clorofila começa a desaparecer; depois ganham tons laranja e vermelho, devido à predominância dos carotenoides e à síntese de antocianinas; e, finalmente, um castanho mais ou menos intenso, que anuncia a abscisão foliar. Em algumas zonas do globo, estas modificações na paisagem são tão intensas que motivam a deslocação de um grande número de pessoas, como acontece na costa noroeste dos Estados Unidos da América e no Canadá, onde os bordos (*Acer*) predominam, e em algumas zonas do Japão, onde as ginkgos e os bordos fazem as delícias dos viajantes e das populações locais. Também em Portugal, em zonas onde as espécies folhosas autóctones predominam e em muitos parques e jardins, é possível maravilhamo-nos com estas alterações outonais. A capa desta edição da revista mostra a beleza de uma ginkgo coberta pelas suas folhas douradas.

Nos climas temperados, o outono é também a época dos frutos. Nas plantas que florescem na primavera e no início do Verão, chamadas plantas de dia-longo (ou de noite-curta), os frutos amadurecem normalmente no outono. É o que acontece com as castanhas, as laranjas e as nozes, só para citar alguns exemplos. Quando o período de luz diário (fotoperíodo) se reduz, as plantas evitam florir, impedindo que as flores sejam danificadas pelas baixas temperaturas e, possivelmente, evitando que o menor número de insetos disponíveis comprometa o sucesso da polinização. No entanto, há exceções. O medronheiro floresce no outono, quando o fotope-

ríodo é mais reduzido, sendo por isso designado como uma planta de dia-curto (ou de noite-longa). Outras plantas, como as magnólias e as espécies do género *Prunus* (amendoeiras, cerejeiras, ginjeiras...), necessitam de um período de frio (vernalização) que estimule a floração.

E falta o vinho, claro. Embora cada vez se realizem mais cedo, as vindimas são, nos países com uma forte tradição vinícola, a fronteira entre o verão, em que chega o pintor (*veraison* – estas coisas ficam sempre mais bonitas em francês), e o outono, em que Dionísio e Baco fazem o seu trabalho: pelo São Martinho, prova o teu vinho.

Em mais um número da *Revista de Ciência Elementar*, fazemos uma viagem à Patagónia, onde o outono chega mais cedo; falamos de vinho e plantas (medronheiros incluídos), de bactérias e antibióticos; abordamos problemas ambientais, mostramos como a matemática pode simplificar a química e desvendamos a computação quântica.

Termino com um soneto de Florbela Espanca, apropriadamente chamado...*Outonal*.

Caem as folhas mortas sobre o lago;
Na penumbra outonal, não sei quem tece
As rendas do silêncio... Olha, anoitece!
– Brumas longínquas do País do Vago...

Veludos a ondear... Mistério mago...
Encantamento... A hora que não esquece,
A luz que a pouco e pouco desfalece,
Que lança em mim a bênção dum afago...

Outono dos crepúsculos doirados,
De púrpuras, damascos e brocados!
– Vestes a terra inteira de esplendor!

Outono das tardinhas silenciosas,
Das magníficas noites voluptuosas
Em que eu soluço a delirar de amor...

Outoneçamos, então.

Jorge Manuel Canhoto

Universidade de Coimbra

A uva, o vinho e a saúde.

Fernanda Borges, Lisa Sequeira

DQB/FC/U. Porto

O vinho faz parte da cultura humana há mais de 6000 anos. O deus romano Baco, retratado por Miguel Ângelo, com cabelos encaracolados sob a forma de cachos de uva e o deus grego Dionísio com os seus festivais de bebedeira e orgia foram amplamente referidos ao longo da história. O vinho está omnipresente nas festas, nos provérbios, nas lendas e superstições. Ao longo da história o vinho tornou-se tão nobre que até faz parte do mais místico ritual das igrejas cristãs.

Razões de ordem histórica relacionam o vinho com a saúde e a longevidade, uma relação dominante nos países mediterrâneos (Portugal, Espanha, França, Itália, Grécia). O vinho está integrado nos hábitos normais destes países quer pelo seu consumo nas refeições quer em celebrações. O vinho é assim sinónimo de alegria e com ele se brinda à saúde, ao amor e à felicidade.

A maioria dos consumidores bebe vinho pelo seu paladar complexo e agradável. Nesta última década o benefício do vinho para a Saúde tem sido alvo de diversos estudos os quais de um modo geral demonstraram que beber moderadamente pode ser uma mais-valia para a saúde.

O interesse científico na uva e no vinho ganhou nova dimensão em 1989, após a divulgação da análise efetuada pela *Organização Mundial da Saúde*, a qual permitiu apurar que as taxas de mortalidade por doenças cardiovasculares em França eram muito menores que em outros países industrializados, como o Reino Unido e os Estados Unidos da América, embora o consumo de gorduras saturadas e os níveis de colesterol plasmático fossem similares. A explicação para os dados observados foi estabelecida e relacionada com a dieta mediterrânea, rica em frutas, verduras e vinho. Este contexto é conhecido, nos domínios científicos, como o "Paradoxo Francês" (FIGURA 1).

A investigação efetuada até à data atribuiu o papel chave ao alto teor de compostos naturais do tipo fenólico existentes no vinho, os quais são hoje fundamentalmente, reconhecidos pelas suas propriedades antioxidantes.

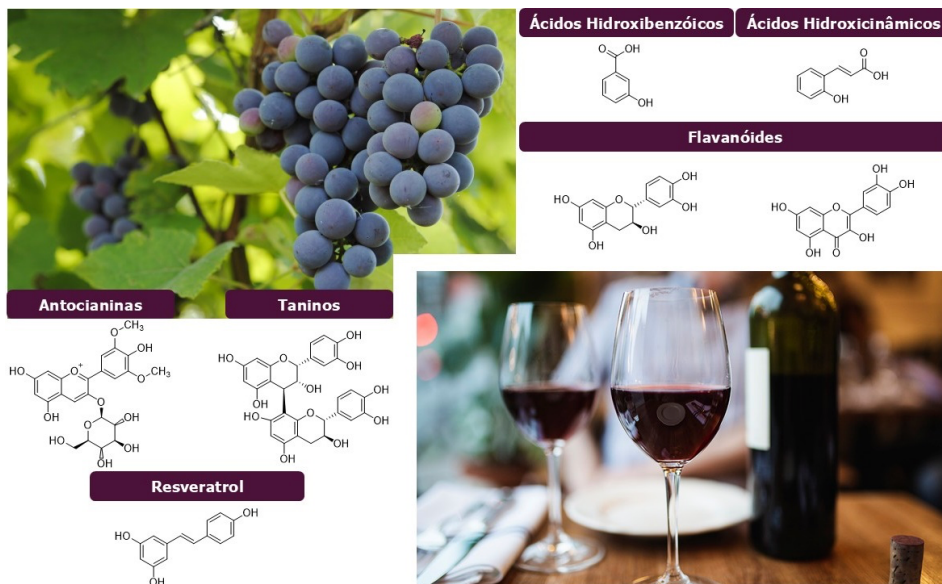


FIGURA 1. Exemplos de estruturas químicas de grupos de compostos fenólicos existentes na uva e no vinho.

Compostos fenólicos da uva e do vinho e a Saúde.

Os compostos fenólicos, existentes na uva e no vinho, constituem um dos grupos de compostos naturais com maior incidência de estudos na área da Saúde. Sabendo que em cada cálice de vinho há mais de 200 compostos fenólicos, ou seja, um *cocktail* de compostos fenólicos, não será de admirar que diferentes funções biológicas têm sido demonstradas e/ou propostas para este tipo de compostos das quais se salientam, devido ao extensivo estudo efetuado, a atividade em relação à proteção cardiovascular, à atividade anticancerígena e à atividade antimicrobiana.

Compostos fenólicos e as doenças cardiovasculares.

O consumo de vinho, e de outras bebidas alcoólicas, está atualmente associado a uma considerável redução no risco de doenças coronárias e outras doenças de foro cardiovascular. Existem atualmente evidências que permitem concluir que o consumo moderado de vinho reduz o risco de eventos cardiovasculares. A ação biológica referida relaciona-se fundamentalmente numa proteção do organismo em relação a eventos cardiovasculares, nomeadamente em relação ao desenvolvimento de coágulos no sangue traduzindo-se no aumento das lipoproteínas de alta densidade (HDL) e numa diminuição das lipoproteínas de baixa densidade (LDL). A modificação oxidativa das LDL está também implicada na formação da placa de ateroma nas artérias, estando esta relacionada com o aumentando do risco de doenças cardiovasculares.

O efeito protetor do vinho é parcialmente atribuído ao etanol, um dos componentes maioritário, mas principalmente à presença de compostos do tipo fenólico e propriedades antio-

xidantes associadas. Esta associação é mais relevante nos vinhos tintos devido ao seu teor em compostos fenólicos mais elevado, o qual inclui os flavonoides monoméricos, os ácidos fenólicos, os estilbenos (e.g. resveratrol), as procianidinas e taninos poliméricos, entre outros (FIGURA 1). Os compostos fenólicos da dieta, devido às suas propriedades antioxidantes protegem a oxidação das LDL.

Compostos fenólicos e o cancro.

A atividade antioxidante dos compostos fenólicos está também relacionada com os processos que causam a carcinogénese. Entre os diversos fatores salienta-se os que estão relacionados com a presença de radicais livres e os danos do tipo oxidativo, que produzem alteração nas biomoléculas, nomeadamente nos lipídios, nas proteínas e nos ácidos nucleicos.

A uva e os produtos a partir dela processados, como por exemplo o vinho, contêm diversos tipos de compostos fenólicos, como por exemplo os flavonoides, os ácidos cinâmicos e o resveratrol (FIGURA 1), cujas propriedades antioxidantes podem prevenir ou minimizar os danos oxidativos. A ação deste tipo de compostos na carcinogénese foi amplamente descrita na literatura.

Compostos fenólicos e as doenças infecciosas.

Aos compostos fenólicos existentes na uva e no vinho foram atribuídas diversas propriedades relevantes relacionadas com as doenças infecciosas. A atividade antibacteriana foi atribuída a derivados dos ácidos fenólicos e de flavonoides, a atividade antiviral a procianidinas e derivados de ácidos fenólicos e a atividade antifúngica a estilbenos (FIGURA 1) quer *in situ* na defesa ao ataque de patógenos quer a nível farmacológico.

Estudo efetuados relativos à relação Dieta-Saúde tem demonstrado que uma alimentação equilibrada pode ser a base para a prevenção da doença. Na verdade, as investigações efetuadas permitiram concluir que o vinho, como componente habitual da dieta pode contribuir para a prevenção de doenças do foro cardiovascular, como a arteriosclerose, a qual é uma das maiores causas de morte nas civilizações modernas. No entanto, será de realçar que esta temática é ainda hoje, alvo de controvérsia na comunidade científica.

Conclusão.

No entanto, o que se deve fazer? O conselho médico é que o consumo seja moderado...

E, para evitar o stress, nada melhor que uma roda de amigos, conviver e tomar uma boa taça de vinho...

Saúde! A clássica saudação que acompanha um brinde pode ser a mais pura expressão de verdade... Brinde à Saúde...

Medronheiro e os serviços dos ecossistemas.

João Martins, Jorge Canhoto, Cristina Canhoto

CEF/LAT/DCV/U. Coimbra

O medronheiro (*Arbutus unedo* L.), é uma pequena árvore mediterrânica, tolerante à seca e valorizado pelo seu potencial económico, particularmente os frutos. A valorização deste recurso promoveu a transição da colheita de frutos em populações selvagens para sistemas de produção organizados, o que permitiu o aumento da produção. Além do impacto económico nas comunidades rurais, o medronheiro é uma espécie-chave na zona mediterrânica para a qual contribui com vários serviços dos ecossistemas: suporta a biodiversidade, previne a erosão dos solos e promove a sua regeneração. Oferece ainda uma fonte de alimento (pólen, néctar e frutos) para insetos, aves e mamíferos no outono e inverno. A sua resistência e capacidade de regeneração após o fogo fazem do medronheiro uma espécie essencial na gestão florestal, assim como a sua capacidade de crescer em solos marginais, onde previne a erosão e promove a retenção de água e enriquecimento do solo em matéria orgânica.

O medronheiro é uma ericácea arbustiva ou arbórea de folha perene. É bastante tolerante a stresses abióticos, como a seca e amplitudes térmicas elevadas, e cresce de forma espontânea no sul da Europa, e em algumas regiões do Norte da África. Apresenta um grande potencial económico graças às suas diversas aplicações. Os seus frutos podem ser consumidos em fresco, mas são geralmente usados na produção de produtos tradicionais, tais como compotas, geleias, bolachas, pão, etc. No entanto, o produto mais valorizado é a aguardente de medronho. A vasta gama de compostos fenólicos, encerram um potencial biotecnológico interessante, com aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e alimentar. Assim, várias iniciativas têm surgido para promover e proteger a importância cultural e económica desta espécie. Um exemplo é a “Rota do Medronho”, promovida pela Comunidade Intermunicipal de Coimbra e que pretende dar a conhecer a região, posicionando o medronheiro como elemento-chave da identidade local e desenvolvimento económico.

A crescente procura pelo medronho e derivados, e a transição de colheita em populações espontâneas para pomares representa uma verdadeira mudança de paradigma na gestão e aproveitamento deste recurso. Além da sua relevância económica, o medronhal fornece outros serviços igualmente importantes (serviços dos ecossistemas). Como espécie nativa mediterrânica, suporta a biodiversidade providenciando alimento e habitat para polinizadores, aves e outros animais. Previne a erosão do solo e promove a retenção de água, sequestração de carbono e purificação do ar (FIGURA 1).

Fonte de alimento para a fauna.

O fruto, é uma pequena baga rica em nutrientes, que oferece uma importante fonte de alimento para pequenos mamíferos, aves e insetos. Ao longo do ciclo fenológico, é possível encontrar na planta flores e frutos maduros em simultâneo, durante o outono e início do inverno. Numa época do ano em que o alimento escasseia, as flores e os frutos do medronheiro representam uma fonte importante de alimento para a vida selvagem local contribuindo para a resiliência dos ecossistemas. As flores do medronheiro produzem pólen e néctar, atraindo abelhas (e.g., *Apis mellifera*), abelhões (*Bombus terrestris*) e outros polinizadores, num momento em que os recursos florais são limitados, uma vez que poucas espécies estão em floração, ajudando a sustentar as populações de insetos polinizadores durante a estação fria. Além disso, a borboleta do medronheiro (*Charaxes jasius*) alimenta-se exclusivamente de folhas desta espécie na fase de lagarta.

Resistência ao fogo e regeneração.

Pela sua reduzida dimensão e resistência ao fogo, esta espécie pode ser chave no controlo de incêndios florestais, podendo ser usada na criação de zonas tampão.

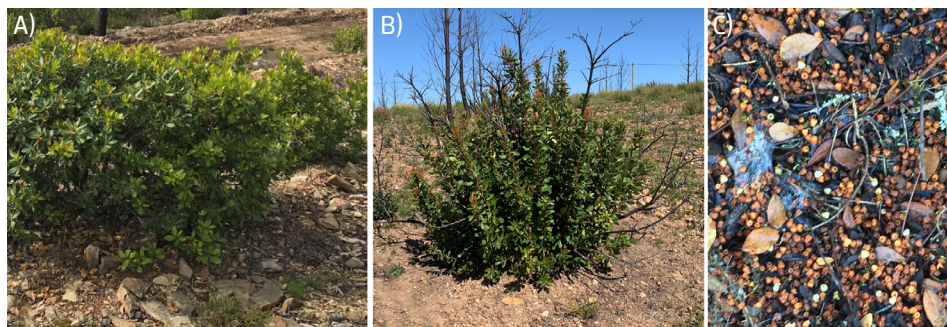
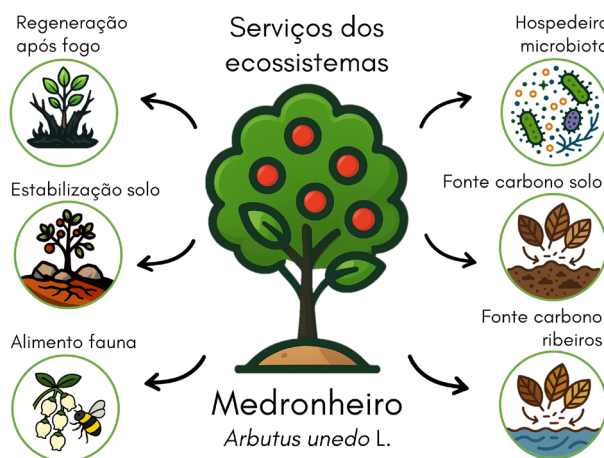


FIGURA 1. Serviços dos ecossistemas associados ao medronheiro. A) Medronheiros a crescer em solos rochosos.

B) Medronheiro a rebentar depois de um incêndio. C) Folhas e corolas de flores de medronheiro em decomposição no solo.

Por exemplo, a REN (Rede Elétrica Nacional) tem promovido a sua plantação por baixo de linhas de alta tensão, porque ao contrário de espécies de grande porte como o eucalipto e o pinheiro, representam um risco reduzido para estas estruturas em caso de incêndio. Além disso, pelo fato de possuir um tubérculo lenhoso (lignotúber ou lignotubérculo, FIGURA 2) entre o caule e a raiz, o medronheiro tem a capacidade de regenerar mesmo quando a parte aérea da planta é destruída pelo fogo (FIGURA 1 A)).

Estabilização de solos e retenção de água.

Devido à sua rusticidade consegue desenvolver-se em solos rochosos, pobres em matéria orgânica, e onde a água é escassa (FIGURA 1 B)). Além disso, apresenta um sistema radicular desenvolvido e profundo, o que contribuiu para a estabilização de terrenos instáveis, particularmente em zonas íngremes. A sua tolerância a metais pesados, permite também a sua utilização como fitoestabilizador, ou seja, a plantação em solos contaminados, contribuindo para evitar a mobilização de metais tóxicos, reduzir a erosão e promover a recuperação de áreas degradadas. Surge assim como uma solução viável e sustentável para a reabilitação de ecossistemas afetados por atividades mineiras ou industriais.



FIGURA 2. Lignotúber na base de uma planta de medronheiro.

Hospedeiro de microbiota.

A. unedo serve de hospedeiro a uma grande diversidade de microrganismos, tais como bactérias e fungos (incluindo espécies micorrízicas), que colonizam os seus órgãos (raízes, folhas). Estas associações microbianas desempenham um papel fundamental na saúde e funcionamento da planta, porque contribuem para a captação de nutrientes, resistência a doenças, e promovem a resistência a stresses abióticos. A presença de microrganismos tem também implicações ecológicas mais vastas, uma vez que as micorrizas não só beneficiam o medronheiro, mas criam uma rede subterrânea de comunicação entre comunidades de plantas. Ao

suportar esta diversidade microbiana, o medronheiro promove a saúde dos solos e contribui para a estabilidade e resiliência dos ecossistemas.

Fonte de matéria orgânica no solo e sistemas de água doce.

A sua folhada é uma fonte importante de carbono para o solo, contribuindo para a diversidade de microrganismos e invertebrados, que promovem a degradação das folhas e flores (FIGURA 1 C)). A senescência rápida de algumas folhas, uma espécie de folhas suicidas que senesce antes de atingirem a completa maturação (FIGURA 3), pode ser também importante para um rápido crescimento, pois os seus nutrientes podem ser canalizados para zonas do caule em crescimento ativo (dados não publicados). Apesar de o medronheiro não ser tipicamente associado a zonas ripícolas, a sua plantação em encostas com grandes declives, próximos de ribeiros, faz com que a folhagem chegue aos cursos de água. Ao contrário das caducifólias típicas dos sistemas ripícolas (e.g., amieiro, freixo, choupo e salgueiro) que perdem as suas folhas no outono, no medronheiro este processo ocorre durante todo o ano. As características das suas folhas maduras, incluindo uma cutícula espessa, a presença de ceras, dureza elevada e altas concentrações de fenóis retardam a decomposição, providenciando um recurso diferente das caducifólias, que de uma forma geral são mais facilmente degradáveis, o que pode contribuir para uma maior diversidade das comunidades de decompositores (microrganismos e invertebrados), quer em meio terrestre quer nos sistemas aquáticos. Comparando os sistemas de produção de medronheiro em monoculturas com outras espécies, como o eucalipto, que fornece uma folhada ao longo do ano com algumas características semelhantes (elevada dureza, compostos fenólicos), a folhada do medronheiro pode ter características ecológicas.



FIGURA 3. Folhas precocemente senescentes, de cor amarela, no meio das folhas verdes normais.

Mais relevantes, porque ao contrário do eucalipto a sua folha é muito pobre em óleos essenciais, o que facilita a colonização da folha por microrganismos e a torna mais palatável para invertebrados.

Anatomia radicular.

**Amanda Cristina Zanatta, Anelise Gabriela Grotto, Collini Cristina Pinheiro,
Fernanda Maria Cordeiro de Oliveira**

UFSC

As raízes desempenham funções essenciais, como fixação, absorção e armazenamento para as plantas vasculares, e são capazes de estabelecer associações simbióticas com outros organismos. Sua estrutura geral pode sofrer mudanças anatômicas para resistir a diversos fatores bióticos e abióticos, como restrição hídrica e salinidade. Neste artigo, serão apresentados os aspectos gerais da anatomia das raízes em crescimento primário, bem como sua notável capacidade de adaptação às condições ambientais em que as plantas estão inseridas.

Classificação morfológica das raízes.

A raiz é uma estrutura que desempenhou um grande papel na ocupação terrestre das plantas, não só auxiliando na absorção de água e minerais, como também desempenhando papel de fixação da planta ao substrato. Do ponto de vista morfológico, as raízes podem ser classificadas em dois grandes grupos: fasciculadas e apumadas (pivotantes PT-BR). Nas plantas com raízes fasciculadas, a raiz primária se desenvolve por um curto período e logo após se degenera. Então, novas raízes surgem diretamente do eixo caulinar, denominadas raízes adventícias. Neste grupo se enquadram grande parte das monocotiledóneas. Por outro lado, plantas com raízes apumadas (pivotantes- PT-BR) são caracterizadas pelo desenvolvimento de um único eixo radicular, com origem na radícula do embrião, a partir da qual todas as outras raízes laterais se ramificam. Este tipo é o sistema radicular mais comum nas eudicotiledóneas. Essas diferentes estruturas radiculares se adaptaram de forma eficiente contribuindo para sua sobrevivência e sucesso reprodutivo no ambiente terrestre.

TABELA 1. Diferenças morfológicas e anatômicas entre raízes das Monocotiledóneas e Eudicotiledóneas.

Características	Monocotiledóneas	Eudicotiledóneas
Morfologia	Predominam raízes adventícias	Predominam raízes apumadas (axiais PT-BR)
Endoderme	Geralmente com paredes espessadas em "U" ou em "O"	Geralmente com bandas de Caspary evidentes
Número de feixes de xilema primário	Em geral muitos feixes de xilema primário (raízes poliarcas)	Em geral até cinco feixes de xilema primário
Medula	Presente	Em geral ausente

Zonas de crescimento.

A organização dos tecidos vegetais nas plantas varia de acordo com a região analisada, taxon ou ambos. Na TABELA 1 estão elencadas as principais diferenças morfológicas e anatômicas entre raízes de Monocotiledóneas e Eudicotiledóneas. Comparada ao caule, a estrutura interna das raízes é considerada mais simples, principalmente devido à ausência de folhas, nós e entrenós. Em termos gerais, é possível identificar várias regiões distintas em uma raiz em secção longitudinal (FIGURA 1): a zona de ramificação, que é a parte mais velha da raiz ainda em crescimento primário, e de onde surgem as raízes laterais; a zona pilosa (zona de absorção ou zona pilífera PT-BR), onde se encontram os pêlos absorventes responsáveis por ampliar a área de absorção de água e nutrientes; a zona de crescimento, uma das regiões mais jovens da raiz, caracterizada por células alongadas e ausência de pêlos ou ramificações, sendo responsável pelo crescimento longitudinal da raiz; e, por fim, a zona meristemática, que apresenta células em intensa divisão celular na região apical e é protegida por uma estrutura em forma de capuz chamada coifa. A coifa desempenha um papel crucial na proteção do meristema e na facilitação do deslocamento da raiz através do solo.

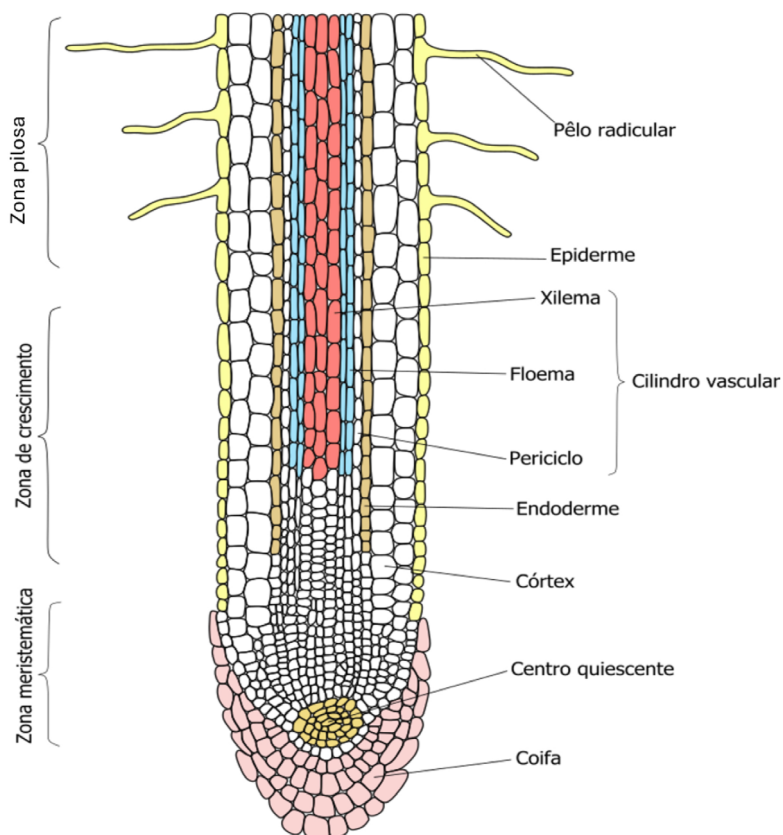


FIGURA 1. Desenho esquemático da anatomia radicular em crescimento primário, seccionada longitudinalmente. Notar que a zona meristemática é protegida pela coifa. Na zona de crescimento notar o início da maturação dos elementos vasculares do xilema e floema. Já na zona pilosa ou de absorção, notar a presença de pêlos radiculares que ampliam o contacto com as partículas do solo facilitando a absorção de água e nutrientes.

Para constituir a estrutura primária da raiz, os tecidos meristemáticos – protoderme, meristema fundamental e procâmbio – desempenham papéis específicos, resultando na formação da epiderme, do córtex e do cilindro vascular, respectivamente. A epiderme exerce um papel fundamental na proteção mecânica das raízes e no aumento da área de absorção através dos pêlos radiculares. O córtex representa a região entre a epiderme e o cilindro vascular, sendo constituído por células parenquimáticas. A camada interna do córtex é denominada endoderme, enquanto a camada mais externa é chamada de exoderme. Em monocotiledóneas a endoderme geralmente é bastante evidente, com células de paredes espessadas. O sistema vascular ocupa a região central das raízes, formando um cilindro sólido composto por células vasculares propriamente ditas, além de uma ou mais camadas de células não vasculares, incluindo o periciclo. É a partir do periciclo que surgem as ramificações ou raízes laterais na maioria das plantas com sementes. Essas ramificações desempenham um papel crucial na absorção de água e nutrientes, bem como na fixação da planta ao solo. O cilindro vascular é responsável pelo transporte de água, e diversas outras substâncias, como minerais e nutrientes orgânicos, através do xilema e do floema, garantindo o funcionamento adequado e o suprimento destes compostos para toda a planta. O cilindro vascular pode ser classificado de acordo com o número de feixes de xilema primário. Quando presente dois feixes, chamamos de diarcas, três de triarcas, quatro de tetraarcas e cinco de pentarcas. Raízes com mais de cinco feixes de xilema primário são comuns nas monocotiledóneas, sendo chamadas de poliarcas. No interior das raízes, a medula vascular (de origem no procâmbio) pode estar presente. Esta característica é comum nas monocotiledóneas.

Fatores bióticos e abióticos podem provocar mudanças anatômicas nas raízes.

As raízes interagem constantemente com fatores bióticos e abióticos que podem variar significativamente de acordo com o ambiente que estão inseridas. Esta variação pode resultar em condições extremas, desfavoráveis à sobrevivência da planta. As condições estressantes podem ser de seca, salinidade e falta de nutrientes. Para sobreviver nestas condições, as plantas alteram anatomicamente suas raízes em resposta ao stress às quais são submetidas, a fim de minimizar danos nas próprias raízes e/ou no restante da planta.

Mudanças anatômicas podem ocorrer na epiderme, córtex e cilindro vascular da raiz. Alterações na epiderme radicular ocorrem em condições de seca e salinidade. O aumento da densidade dos pêlos radiculares amplia a cobertura da área de absorção de água. Em solos salinos, dependendo da espécie, os pêlos radiculares podem ser reduzidos ou aumentados para evitar stress causado pelo sal. Além disso, epífitas, principalmente orquídeas, possuem epiderme pluriestratificada conhecida como velâmen. Este tecido com células com paredes espessadas, é responsável pela eficiente absorção e armazenamento de água. O córtex radicular também apresenta mudanças em condições estressantes. Em solos inundados ou secos, as raízes enfrentam baixa disponibilidade de oxigênio (hipóxia).

Alelopatia.

Interação química entre plantas e fonte de compostos naturais bioativos.

Paula Lorenzo

Colaboradora externa do CFE – SPP/ U. Coimbra

A alelopatia é um processo de interação química entre plantas, mas também entre plantas e outros organismos, pelo qual uma planta alelopática afeta diferentes processos fisiológicos de uma planta alvo através da libertação de compostos químicos (compostos alelopáticos ou aleloquímicos) no ambiente. A libertação dos compostos alelopáticos pode ocorrer a partir de qualquer órgão da planta e afetar direta ou indiretamente (via transformação microbiana no solo) as plantas alvo. A alelopatia tem um papel chave na coevolução de espécies dentro de um ecossistema e pode contribuir para o sucesso de espécies invasoras em áreas fora da sua área de distribuição nativa. As plantas alelopáticas são ainda fonte de compostos bioativos naturais com potencial, por exemplo, bioherbicida, bioinseticida, biofungicida e bioestimulante, relevantes para reduzir o uso de agroquímicos sintéticos e desenvolver práticas mais sustentáveis em áreas como a agricultura.

Definição de alelopatia.

A alelopatia foi inicialmente definida pelo botânico checo Hans Molisch em 1937 como tratando-se dos efeitos negativos ou positivos que uma planta exerce sobre outra, de forma direta ou indireta, através da libertação de compostos químicos. De acordo com esta definição, o fenómeno da alelopatia inclui a existência de uma planta alelopática (dadora) que liberta naturalmente compostos químicos (conhecidos como compostos alelopáticos ou aleloquímicos) no ambiente e de uma planta alvo (recetora) que ao receber estes compostos pode sofrer alterações prejudiciais ou benéficas na sua germinação, crescimento ou desenvolvimento fisiológico. Embora a alelopatia seja mais estudada nas interações planta-planta, o fenómeno alelopático também pode ocorrer nas interações planta-micróbio e planta-animal. Assim, a definição de alelopatia foi ampliada em 1996 pela Sociedade Internacional de Alelopatia (*International Allelopathy Society*) como um processo que envolve compostos alelopáticos produzidos por plantas, microrganismos, vírus e fungos que influenciam o crescimento e desenvolvimento de organismos em sistemas agrícolas e naturais. Aqui iremos focar-nos nas interações alelopáticas entre plantas.

Tipos de compostos alelopáticos e vias de libertação.

A maioria dos compostos alelopáticos nas plantas provem do metabolismo secundário – produção de compostos que não são essenciais à sobrevivência da planta mas são importantes na sua interação com outros organismos – e agrupam-se de acordo com a sua estrutura quí-

mica. Embora existam inúmeros compostos alelopáticos (alguns ainda por conhecer) os mais comuns pertencem aos grupos dos fenóis, ácidos orgânicos, terpenos (conhecidos como compostos orgânicos voláteis), flavonóides, alcalóides, cumarinas, glucosinolatos e quinonas.

As plantas alelopáticas podem libertar um ou mais tipos de compostos alelopáticos através da emissão de compostos voláteis, através dos lixiviados que se produzem quando a chuva arrasta os compostos presentes na folhagem depositada no solo e na superfície da planta, através da decomposição da folhagem depositada no solo e através dos exsudados radiculares (FIGURA 1).

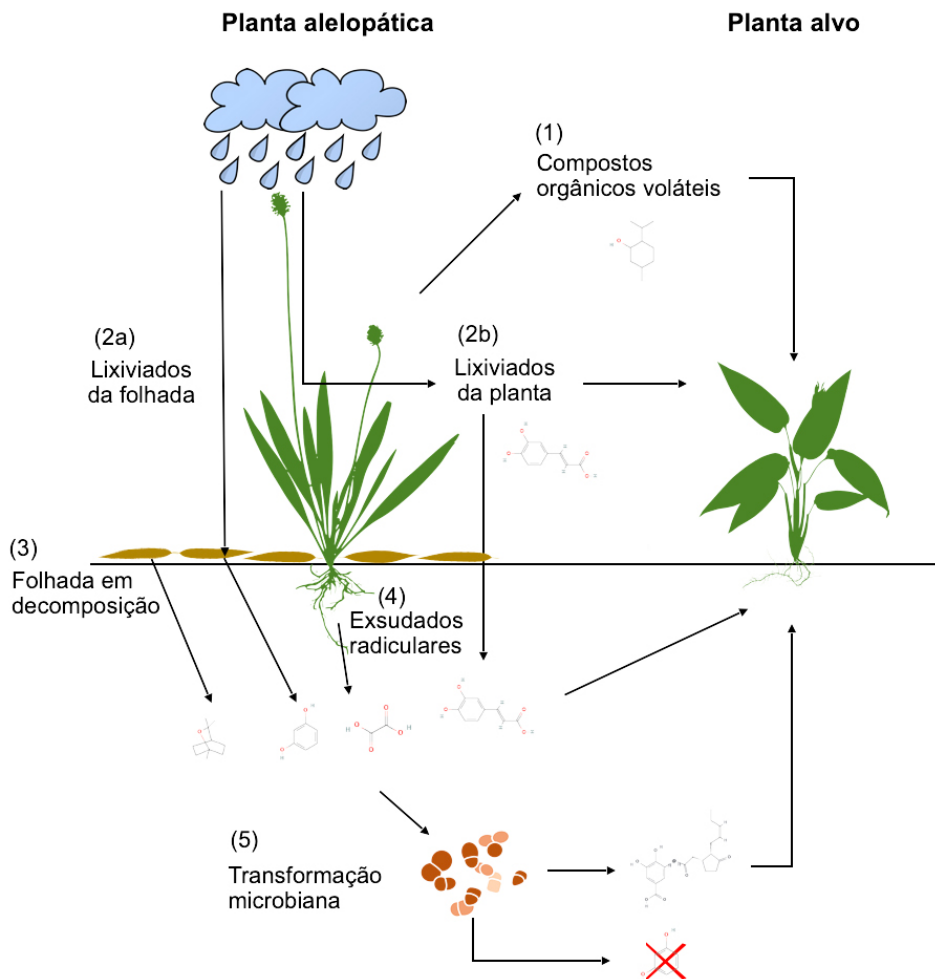


FIGURA 1. Representação esquemática das principais vias de libertação natural de compostos alelopáticos em plantas: (1) libertação de compostos orgânicos voláteis, (2a) libertação de compostos alelopáticos através dos lixiviados originados pela passagem de chuva pela folhagem, (2b) libertação de compostos alelopáticos através dos lixiviados originados pela parte aérea da planta, (3) libertação de compostos alelopáticos durante a decomposição da folhagem, (4) libertação de compostos alelopáticos através dos exsudados radiculares, (5) inativação ou transformação microbiana dos compostos alelopáticos no solo.

Uma vez libertados, os compostos alelopáticos podem interagir diretamente com as plantas alvo por contato direto (quer na parte aérea quer na parte radicular) ou indiretamente através da sua transformação pelos microrganismos do solo (FIGURA 1). Os microrganismos presentes no solo podem inativar os compostos alelopáticos, transformá-los em outros compostos também ativos ou transformar compostos sem atividade alelopática libertados previamente em novos compostos alelopáticos (FIGURA 1).

Tipos de efeitos alelopáticos.

O efeito e a intensidade dos compostos alelopáticos na planta alvo dependem do próprio composto alelopático, da quantidade em que o composto alelopático é libertado, do tipo e do estado fenológico da planta alelopática e da planta alvo e ainda das condições ambientais e climatéricas. Assim, o mesmo composto alelopático pode ter um efeito forte, fraco, ou mesmo não ter efeito, dependendo de condicionantes relacionadas com a planta e o ambiente. Também se tem observado que um composto alelopático pode ter um efeito positivo a baixas concentrações e negativo a altas concentrações quando ensaiado sobre a mesma planta alvo nas mesmas condições.

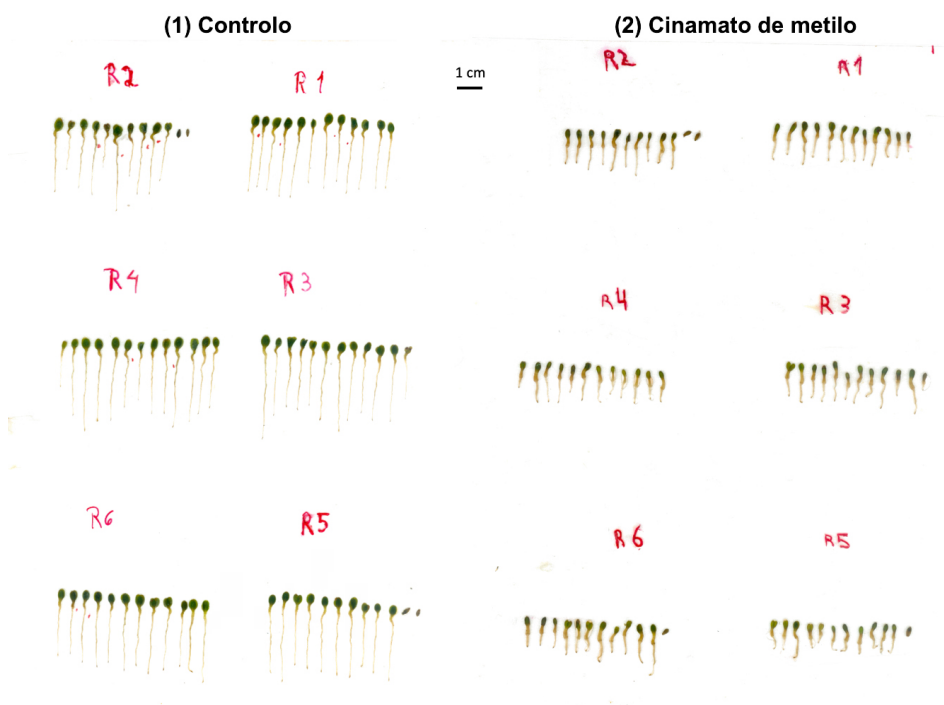


FIGURA 2. Efeito fitotóxico do composto alelopático cinamato de metilo (éster do ácido cinâmico que é um ácido orgânico) extraído das flores da mimosa (*Acacia dealbata* Link) sobre a germinação e crescimento radicular de alface (*Lactuca sativa* L., espécie modelo usada em testes laboratoriais) após uma semana de incubação em caixas de Petri em regime de 12 h luz / 12 h escuro a 20 °C. (1) Crescimento da alface na ausência do composto (0 mg L⁻¹), (2) crescimento da alface na presença do composto (500 mg L⁻¹). (R1 – R6 = repetições com 12 plântulas cada). Escala no topo dos painéis = 1 cm. Fotografia: Paula Lorenzo.

Ainda, o efeito alelopático pode ser o resultado de um só aleloquímico ou da ação conjunta de vários compostos alelopáticos que podem ter efeito sinérgico (quando um composto potencia o efeito do outro) ou antagônico (quando um composto reduz o efeito do outro). Também, uma mesma mistura de vários aleloquímicos podem produzir diferentes efeitos alelopáticos.

Os efeitos alelopáticos mais comuns estão relacionados com a inibição da germinação, a limitação do crescimento de plântulas, a alteração de processos fisiológicos (por exemplo a fotossíntese e a respiração), enzimáticos ou hormonais, e danos morfológicos. Geralmente, a germinação é menos sensível aos aleloquímicos que outros processos como, por exemplo, o crescimento das plântulas, especialmente o crescimento radicular (FIGURA 2).

Importância ecológica da alelopatia.

A competência interespecífica é uma interação ecológica que ocorre quando duas ou mais espécies de plantas competem pelos mesmos recursos limitados do ambiente, como a luz do sol, a água, os nutrientes do solo ou o espaço para crescer. As plantas produzem centenas de aleloquímicos para se adaptarem ao ambiente onde vivem e para competir com outras espécies. Estes aleloquímicos têm um papel chave nas dinâmicas ecológicas e evolutivas das plantas e dos ecossistemas. Assim, a alelopatia é um fenômeno natural que ocorre em qualquer ecossistema e que orienta as relações coevolutivas entre as espécies que o integram. Isto é, as espécies de um ecossistema estão adaptadas aos aleloquímicos das outras espécies presentes nesse ecossistema porque têm um histórico de coevolução conjunta, estabelecendo-se um equilíbrio⁶. Esta é a razão pela qual as interações alelopáticas passam despercebidas na maioria dos ecossistemas bem estabelecidos.

No entanto, a alelopatia pode tornar-se evidente quando uma espécie de planta invasora chega a um novo ecossistema fora da sua área de distribuição nativa, onde contribui para lhe conferir vantagem competitiva. Este fenômeno, pode ser explicado pela hipótese das novas armas (*Novel Weapons Hypothesis*) que postula que algumas plantas podem transformar-se em invasoras em novas áreas de distribuição porque libertam compostos químicos que afetam negativamente com maior intensidade as plantas das novas áreas invadidas (com as quais não coevoluíram) que as suas vizinhas na área natural de distribuição (com as quais coevoluíram). Os compostos alelopáticos que a espécie invasora liberta no novo ecossistema podem ter um maior efeito sobre as espécies presentes neste ecossistema uma vez que estas espécies não estão adaptadas aos aleloquímicos da planta invasora, o que pode resultar no desaparecimento de parte da biodiversidade do ecossistema que está a ser invadido. Assim, a alelopatia de uma espécie invasora pode contribuir para a formação de florestas dominadas por essa espécie ou o desaparecimento das espécies nativas no sub-bosque dos ecossistemas invadidos. Contudo, nem todas as plantas alelopáticas são invasoras e nem todas as espécies invasoras demonstram uma forte componente alelopática.

Bactérias contra bactérias.

Nova arma na proteção da água potável.

Ana C. Afonso*, Daniela Dias*, Lúcia Simões‡, Maria José Saavedra†, Manuel Simões*

*LEPABE, ALICE/U. Porto | †DB/U. Minho | ‡CITAB, Inov4Agro / U. Trás-os-Montes e Alto Douro

A formação de biofilmes em sistemas de distribuição de água potável representa um desafio significativo para a saúde pública. Esses biofilmes podem abrigar bactérias patogénicas e resistir aos tratamentos de desinfecção convencionais. Uma abordagem inovadora para controlar esses biofilmes envolve a utilização de bactérias específicas para inibir o crescimento de microrganismos indesejados através de um processo conhecido como coagregação bacteriana. Este artigo explora como a manipulação das interações bacterianas pode ser usada para melhorar a qualidade da água potável, destacando as vantagens e os desafios desta estratégia biotecnológica.

Quantas vezes já ouvimos e lemos notícias sobre praias ou piscinas que foram interditas a banhos devido à contaminação bacteriana? Ou, então, daquela vez que fomos de férias e ficamos doentes porque bebemos água contaminada? A segurança da água potável é essencial para a saúde pública, mas a presença de bactérias na mesma pode levar a diversos problemas indesejáveis e, em alguns casos (por exemplo, países em desenvolvimento), à morte. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2020, 5,8 mil milhões de pessoas já utilizavam serviços de água potável geridos de forma segura, enquanto 2 mil milhões recorriam a serviços básicos. No entanto, cerca de 771 milhões de pessoas ainda não tinham acesso sequer a um nível básico de serviço, destacando-se os 122 milhões que continuavam a recolher água diretamente de rios, lagos e outras fontes superficiais. Estas situações não ocorrem apenas em zonas rurais, mas também em áreas urbanas, especialmente em bairros informais ou ilegais, de baixos rendimentos.

As bactérias, tal como outras formas de vida, gostam de viver em comunidade, em estruturas designadas por biofilmes. Biofilmes são comunidades complexas de microrganismos que aderem a superfícies e que estão envolvidas por uma matriz polimérica extracelular (EPS) de aspeto gelatinoso. Estas comunidades, além de abrigarem muitas vezes bactérias patogénicas, são ainda resistentes à desinfecção, devido à presença desta capa protetora gelatinosa e à existência de uma dinâmica de sobrevivência comunitária. Células em biofilmes podem ter uma resistência a antibióticos 1000 vezes superior às das mesmas células em estado planctónico.

Os biofilmes bacterianos estão presentes em diferentes ecossistemas, incluindo nos sistemas de distribuição de água, onde continuam a ser um desafio. Os biofilmes formam-se quando bactérias aderem a superfícies, em particular as tubagens e reservatórios de água, protegendo os microrganismos colonizadores de condições adversas e dos tratamentos de desinfecção convencionais. Estes biofilmes não só dificultam a eliminação de bactérias indesejadas como também podem deteriorar o sistema de distribuição (por exemplo, corrosão induzida pela presença de microrganismos) e a qualidade da água (por exemplo, sabor, odor, aspeto, etc.), representando um risco para a saúde pública.

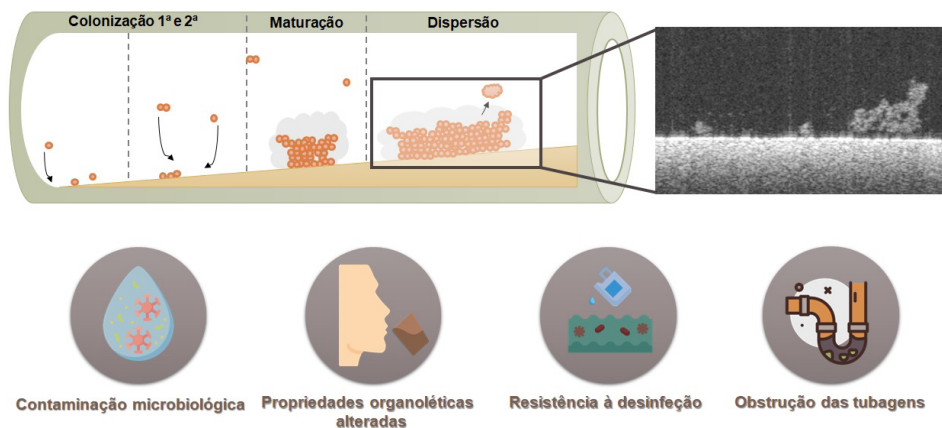


FIGURA 1. Formação de biofilme e problemas associados. A formação de biofilmes começa com adesão inicial à superfície da tubagem e ao estabelecimento da colonização primária, seguida do transporte de células planctónicas para a superfície. Os microrganismos aderidos começam a crescer, formam microcolónias e excretam substâncias poliméricas extracelulares, iniciando a formação da matriz do biofilme. A produção dessa matriz permite que a comunidade bacteriana desenvolva uma estrutura tridimensional complexa, que leva à maturação do biofilme e conseqüente crescimento dinâmico (contrabalançado com fenómenos de dispersão de biofilme). Alguns dos problemas associados à formação de biofilmes nos sistemas de distribuição de água incluem a redução da qualidade da água, alterando o seu sabor, odor e cor, e conferem os microrganismos colonizadores uma elevada tolerância a desinfetantes, dificultando a eliminação de patógenos que possam existir nesse ecossistema. Outro problema é a obstrução das tubagens, reduzindo o escoamento da água e comprometendo a resiliência do sistema distribuição.

Os microrganismos foram as primeiras formas de vida coletiva a surgir na Terra e desempenham um papel fundamental na saúde humana, animal e ambiental. São responsáveis por regular processos vitais, como os ciclos biogeoquímicos, a dinâmica do carbono e a emissão de gases com efeito de estufa. Além disso, contribuem para a nutrição e para a proteção contra agentes patogénicos. Assim, tendo em conta a importância destas funções, a utilização consciente de bactérias poderá beneficiar significativamente a vida no planeta. De facto, os microrganismos têm sido apontados como uma abordagem promissora no combate à crise climática nas suas diversas formas (por exemplo, captura de carbono, biorremediação, produção de bioenergia, etc.).

E se pudéssemos controlar os biofilmes formados em sistemas de distribuição de água potável usando (outras) bactérias? Esta abordagem inovadora, baseada na coagregação bacte-

riana, surge como uma solução promissora para manter a água potável segura. A coagregação bacteriana é o processo pelo qual estirpes geneticamente diferentes interagem para formar agregados. Essa interação acontece por meio de estruturas específicas na superfície celular, como proteínas de adesão e polissacarídeos, que funcionam como “chaves e fechaduras” moleculares (FIGURA 2). Diferente da auto-agregação, onde células geneticamente idênticas se juntam entre si, na coagregação há uma espécie de “cooperação tática” entre estirpes, muitas vezes com funções complementares dentro de um biofilme. Este processo é comum na natureza – por exemplo, na cavidade oral, algumas bactérias como *Fusobacterium nucleatum* são conhecidas por formar parcerias com outras espécies, ajudando a organizar os complexos biofilmes orais.

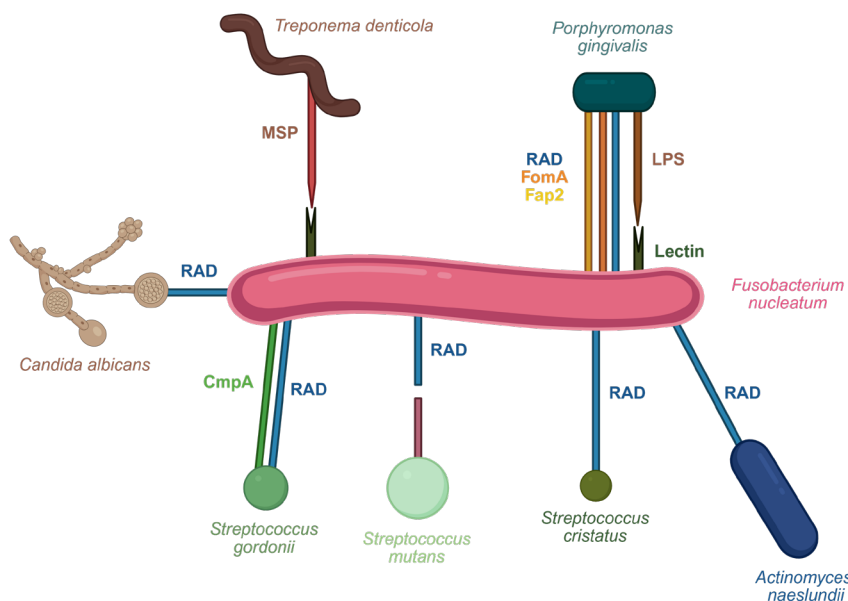


FIGURA 2. Coagregação como um processo “chave-fechadura” entre espécies microbianas. A bactéria *Fusobacterium nucleatum* atua como uma ponte central na formação de biofilmes orais, estabelecendo ligações com múltiplos microrganismos, incluindo bactérias e fungos. Essa interação é mediada por proteínas adesinas específicas (como RadD, Fap2, CmpA, entre outras), que funcionam como “chaves moleculares” capazes de reconhecer “fechaduras” específicas na superfície de outras espécies. Este mecanismo seletivo permite que *F. nucleatum* coagregue com microrganismos muito distintos, como *Streptococcus* spp., *Porphyromonas gingivalis*, *Candida albicans* ou *Treponema denticola*, promovendo a organização estrutural e funcional do biofilme.

Algumas bactérias têm a capacidade de coagregar com outras espécies, influenciando diretamente a formação, composição e estabilidade dos biofilmes. Em certos casos, atuam como pontes biológicas, permitindo a adesão de espécies que, isoladamente, não conseguiriam integrar o biofilme. Um exemplo bem documentado é o da bactéria *Acinetobacter calcoaceticus*, que funciona como “bactéria ponte”, facilitando a integração de outras bactérias em biofilmes de água potável.

Antibióticos.

Da Descoberta aos Mecanismos de Ação.

Catarina Alves*, Sofia Benfeito*‡

*DQB/FC/U. Porto | ‡MedinUP|DB/FM/U. Porto

As doenças infecciosas provocadas por bactérias continuam a ser uma das principais causas de mortalidade e morbidade em todo o mundo. O uso excessivo e indiscriminado de antibióticos ao longo dos anos levou ao desenvolvimento de diversos mecanismos de resistência por parte das bactérias, comprometendo, assim, a sua eficácia. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a resistência antimicrobiana (RAM) representa atualmente uma das maiores ameaças à saúde pública. A erradicação completa das infeções bacterianas revela-se uma meta inatingível, uma vez que a elevada densidade de microrganismos e o seu rápido ciclo de geração favorecem o aparecimento de mutações que lhes permitem contornar os mecanismos de ação dos antibióticos. Assim, o surgimento de resistências é inevitável. A contenção da RAM exige, portanto, uma abordagem racional e responsável na utilização dos antibióticos, baseada em critérios clínicos rigorosos e sustentada por evidência científica, de forma a evitar o seu uso inadequado e excessivo. No entanto e apesar de todos os esforços, não existe uma solução terapêutica eficaz para combater a RAM, que continua a aumentar globalmente.

As doenças infecciosas são causadas por microrganismos com capacidade patogénica como bactérias, fungos, vírus e parasitas, que podem ser transmitidos entre pessoas e animais. Entre as doenças infecciosas, as infeções bacterianas destacam-se como a maior ameaça à saúde pública, tanto em contextos comunitários como hospitalares. Em 2017 a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou uma lista de agentes patogénicos prioritários resistentes aos antibióticos na qual estão incluídas as bactérias *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae* e *Enterococcus faecium*. Os tratamentos para estas infeções bacterianas são geralmente prolongados e exigem o uso de antibióticos de amplo espectro. Embora possa ser inicialmente eficaz, esta abordagem também afeta bactérias benéficas, desregulando o microbiota natural. Como resultado, as bactérias patogénicas e oportunistas desenvolvem mecanismos para contrariar a ação dos antibióticos, contribuindo para o aumento da resistência bacteriana aos antibióticos e limitando as opções terapêuticas para infeções graves.

As bactérias patogénicas podem ser divididas em dois grandes grupos, as bactérias de Gram-positivo e as bactérias de Gram-negativo (FIGURA 1). A diferenciação das bactérias

é realizada por meio da técnica de coloração de Gram, que permite classificá-las com base na composição e nas propriedades físico-químicas das suas paredes celulares. Essa técnica utiliza um corante específico que, dependendo da estrutura da parede celular, possibilita distinguir entre os diferentes tipos de bactérias. De facto, as bactérias Gram-positivo possuem uma única membrana celular composta por uma espessa camada de peptidoglicanos enriquecida com ácido teicóico. Por outro lado, as bactérias Gram-negativo apresentam uma camada mais fina de peptidoglicanos e uma membrana externa adicional composta por lipopolissacarídeos. Contudo, ambas têm na sua composição uma membrana interna constituída por proteínas e fosfolípidos.

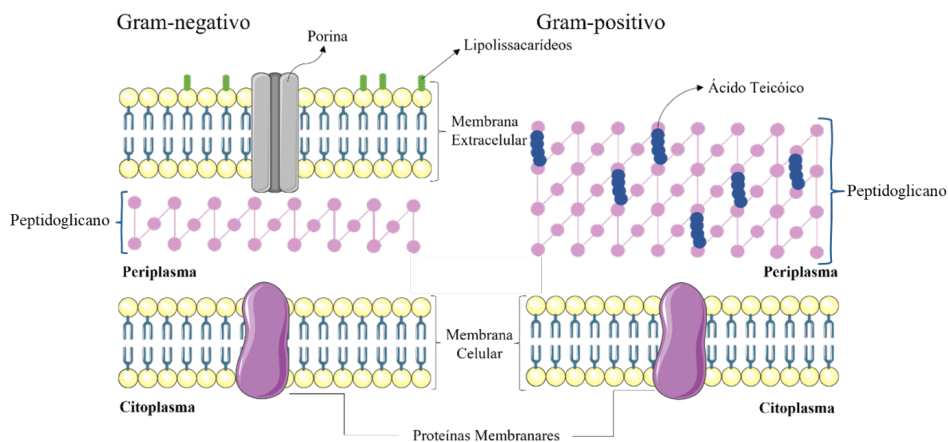


FIGURA 1. Estrutura da parede celular das bactérias Gram-negativo e Gram-positivo.

Esta diferenciação é muito importante a nível hospitalar na medida em que permite monitorizar a infeção e determinar os tipos de tratamentos mais convenientes. Pelas diferenças de cada tipo de bactéria é de esperar que as bactérias de Gram-negativo sejam mais resistentes aos antibióticos tendo em conta a complexidade da parede celular.

Ao longo dos anos foram implementadas diversas diretrizes para combater a resistência antimicrobiana (RAM), incluindo estratégias para o uso racional de antibióticos, maior seletividade na escolha do tratamento com base no agente patogénico, campanhas de consciencialização e a redução do uso de antibióticos em animais. No entanto, até o momento, os avanços no desenvolvimento de novos antibióticos têm sido limitados. A descoberta do primeiro composto sintético, o Salvarsan, ocorreu em 1910 por Ehrlich. Alguns anos depois começaram a ser introduzidos outros agentes antibacterianos sintéticos como a proflavina e o prontossil. Este último, pertencente à classe das sulfonamidas, desempenhou um papel crucial durante a Segunda Guerra Mundial, sendo amplamente utilizado no tratamento de soldados feridos. Vinte anos depois, teve início uma nova era conhecida como a “Era Dourada”. Esta designação deve-se à descoberta do primeiro verdadeiro antibiótico, a Penicilina, por Alexander Fleming

em 1928. Esse marco revolucionou a ciência e impulsionou a descoberta de uma vasta gama de antibióticos.

Os antibióticos englobam compostos naturais, semi-sintéticos e sintéticos com atividade antibacteriana, ou seja, capazes de inibir a proliferação bacteriana (bacteriostáticos) ou provocar a morte de bactérias (bactericidas). Atualmente, existem diversas classes de antibióticos, categorizados com base na sua estrutura química, o que determina diferentes mecanismos de ação e, conseqüentemente, distintos alvos terapêuticos.

A classe dos β -lactâmicos, que inclui a penicilina e a cefalosporina foi a primeira a ser descoberta e continua a ser uma das mais amplamente utilizadas na terapêutica antimicrobiana. Estes antibióticos têm como mecanismo de ação a inibição da síntese da parede celular das bactérias, um processo essencial para a viabilidade e integridade estrutural das bactérias, tendo como principais alvos a enzima transpeptidase e as β -lactamases. As enzimas transpeptidases, também conhecidas como PBPs (*penicillin-binding proteins*) estão localizadas na membrana citoplasmática das bactérias e catalisam a etapa final da síntese do peptidoglicano, promovendo as ligações cruzadas entre cadeias de glicano, essenciais para a rigidez e estabilidade da parede celular. Os antibióticos β -lactâmicos (penicilina C, cefalosporina C, carbapeninas e monobactamas) mimetizam a estrutura da extremidade terminal do substrato natural (D-Ala-D-Ala) e ligando-se covalentemente ao sítio ativo da transpeptidase inibem irreversivelmente a sua atividade. Esta inibição compromete a síntese da parede celular, levando à lise e, conseqüentemente, à morte bacteriana. Por outro lado, as enzimas β -lactamases são enzimas produzidas por alguns microrganismos como mecanismo de resistência aos antibióticos β -lactâmicos. A sua ação consiste na hidrólise do anel β -lactâmico, estrutura essencial para a atividade destes antibióticos, resultando na sua inativação antes que possam alcançar e inibir as PBPs. Nas bactérias Gram-negativo, estas enzimas estão localizadas no espaço periplasmático, onde interceptam os antibióticos que atravessam a membrana externa. Por sua vez, nas bactérias Gram-positivo, as β -lactamases são secretadas para o meio extracelular, onde atuam de forma preventiva, degradando os antibióticos antes que estes consigam atingir a membrana citoplasmática. Para contornar esta forma de resistência, foram desenvolvidos inibidores de β -lactamases, como as oxapeninas e sulfoxapeninas, que possuem uma estrutura β -lactâmica, ligando-se de forma covalente e irreversível ao centro ativo das β -lactamases. Dessa forma, impedem a degradação dos antibióticos β -lactâmicos administrados, restaurando a sua eficácia contra estirpes bacterianas produtoras de β -lactamases.

A problemática das cianotoxinas nos ecossistemas aquáticos.

Ivo Pinto*, Luísa Azevedo*‡, Sara C. Antunes*

*U.Porto | †ITR

As cianobactérias são bactérias gram-negativas capazes de realizar fotossíntese oxigénica, de coloração verde-azulada resultante da combinação dos pigmentos ficocianina e clorofila, e apresentam ampla diversidade morfológica e metabólica. Em águas eutróficas, frequentemente formam florações (*blooms*), que alteram os ecossistemas podendo produzir cianotoxinas, compostos tóxicos como neurotoxinas (saxitoxina, anatoxina-a), hepatotoxinas (microcistina, nodularina) e dermatoxinas (lipopolissacarídeos). Estas toxinas afetam os organismos aquáticos, como zooplâncton e peixes, induzindo alterações na reprodução, crescimento e comportamento. Reconhecida a toxicidade e os impactos ecológicos destes *blooms* cianobacterianos, a sua monitorização é de extrema importância para a preservação dos ecossistemas, para a segurança ambiental e para o bem-estar humano e de outras espécies.

As Cianobactérias.

As cianobactérias são organismos procariontes microscópicos, reconhecidos pela coloração verde-azulada, atribuída à presença da clorofila (verde) e do pigmento ficocianina (azul). Embora historicamente denominadas “algas verde-azuladas”, na verdade, trata-se de bactérias gram-negativas com capacidade de realizar fotossíntese oxigénica. Estes organismos colonizam uma ampla gama de ambientes, desde ecossistemas aquáticos, terrestres e subaéreos, além de poderem ocorrer também em condições extremas, como regiões polares, desertos e fontes termais. As cianobactérias exibem notável diversidade morfológica, fisiológica e metabólica, destacando-se, entre os géneros de água doce mais comuns: *Microcystis*, *Cylindrospermopsis*, *Planktothrix*, *Synechococcus*, *Anabaena*, *Anabaenopsis*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Nostoc* e *Synechocystis* (FIGURA 1).

As cianobactérias podem ocorrer de forma isolada ou organizadas em colónias/biofilmes, onde a densidade populacional está relacionada com o estado trófico da massa de água. O

estado trófico de um ecossistema aquático reflete as condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de microalgas, e de cianobactérias. Processos de eutrofização que se caracterizam por apresentar altas concentrações de nutrientes, elevados valores de temperatura, pH e condutividade promovem o crescimento elevado de fitoplâncton, nomeadamente das cianobactérias. Esse fenómeno, conhecido como florações ou *blooms* de cianobactérias, pode atingir densidades populacionais bastante expressivas, inclusive formar uma película na superfície da água (*scum*), induzindo alterações significativas nas condições ecológicas dos ecossistemas (FIGURA 2).

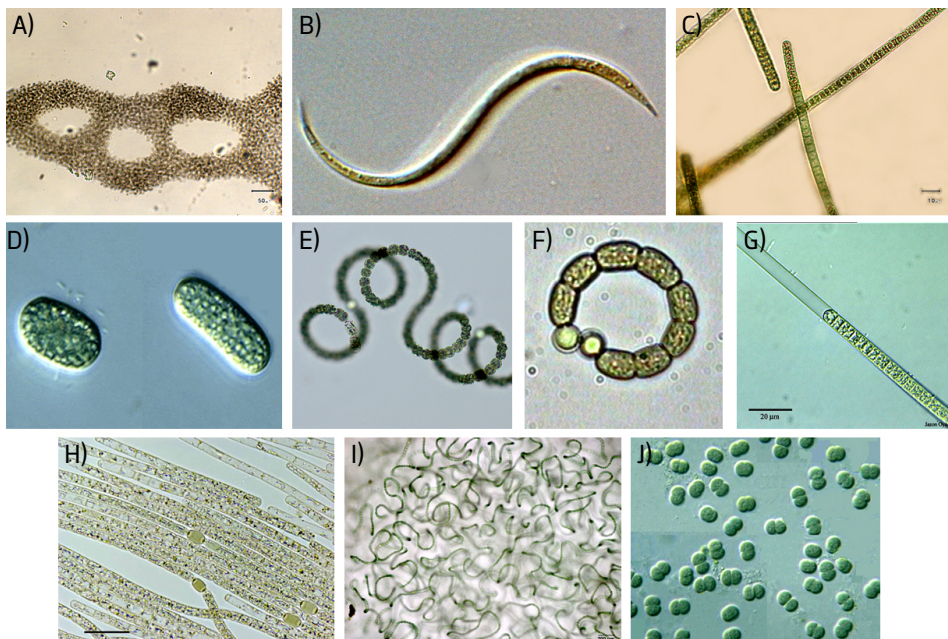


FIGURA 1. Fotografias de alguns géneros de cianobactérias mais comuns em água doce. A) *Microcystis* sp. B) *Cyndrospermopsis* sp. C) *Planktothrix* sp. D) *Synechococcus* sp. E) *Anabaena* sp. F) *Anabaenopsis* sp. G) *Lyngbya* sp. H) *Aphanizomenon* sp. I) *Nostoc* sp. J) *Synechocystis* sp.

Algumas cianobactérias são capazes de produzir compostos que alteram o sabor e o odor da água, comprometendo o uso deste recurso hídrico. Além disso, muitas dessas bactérias produzem uma ampla variedade de metabolitos tóxicos, conhecidos como cianotoxinas, que exercem impactos significativos sobre a biota aquática. Os efeitos incluem a contaminação da água potável, prejuízos para a irrigação, podem ainda levar a restrições de atividades recreativas e em casos graves, a morte de espécies como peixes e invertebrados aquáticos.

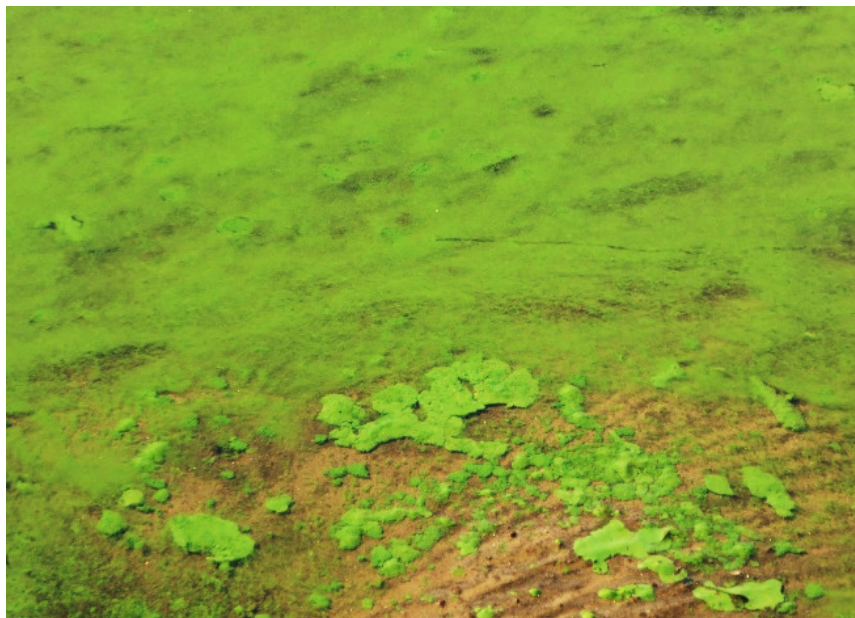


FIGURA 2. Florescência de cianobactérias ("scum") em albufeiras portuguesas.

O que são Cianotoxinas?

Regra geral, as cianotoxinas são classificadas como neurotoxinas, hepatotoxinas e dermatotoxinas, de acordo com o modo de ação nos organismos (TABELA 1). No ecossistema aquático, com exceção da cilindropermopsina, as cianotoxinas encontram-se predominantemente no interior das células das cianobactérias, mas podem ser libertadas para o meio em altas concentrações, especialmente durante a morte celular.

TABELA 1. Diferentes grupos de cianotoxinas e respetivos organismos com capacidade de produção.

Cianotoxinas		Géneros com capacidade de produção
Neurotoxinas (atuam sobre o sistema nervoso)	Saxitoxina	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Cylindrospermopsis</i> e <i>Planktothrix</i>
	Anatoxina-a	<i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Cylindrospermum</i>
	Homoanatoxina-a	<i>Planktothrix</i>
	Anatoxina-a(S)	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> e <i>Lyngbya</i>
Hepatotoxinas (atuam sobre o fígado)	Microcistina	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaenopsis</i> , <i>Hapalosiphon</i>
	Nodularina	<i>Nodularia</i>
	Cilindropermopsina	<i>Cylindrospermopsis</i> , <i>Umezakia</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Raphidiopsis</i>
Dermatotoxinas (atuam sobre a pele)	Lipopolissacarídeo	Cianobactérias em geral

As neurotoxinas formam um amplo grupo de alcaloides, divididos em subgrupos como saxitoxina, anatoxina-a, homoanatoxina-a e anatoxina-a(S). Essas toxinas são produzidas por diferentes espécies de dinoflagelados e por várias cianobactérias (TABELA 1). Embora os mecanismos de ação sejam diferentes, entre as neurotoxinas, todas compartilham a capacidade de interromper a transmissão normal de estímulos nervosos aos músculos, resultando em paralisia muscular e, potencialmente, morte por falência respiratória, num intervalo de tempo que pode variar de poucos minutos a algumas horas.

As hepatotoxinas, por sua vez, são compostos cíclicos que incluem peptídeos com cinco (nodularina) ou sete aminoácidos (microcistinas) ou um alcaloide guanidínico cíclico (cilindrospermopsina). Assim como as neurotoxinas, essas substâncias são produzidas por várias espécies de cianobactérias (TABELA 1), e as microcistinas destacam-se como as cianotoxinas mais frequentemente detetadas em ecossistemas de água doce em Portugal. Como o nome sugere, as hepatotoxinas têm o fígado como principal órgão-alvo, causando a destruição da sua estrutura interna, o que pode levar a hemorragia intra-hepática, choque hipovolêmico e morte. Além disso, estas toxinas podem afetar o funcionamento de outros órgãos, como rins, pulmões, timo e coração.

As dermatotoxinas produzidas por cianobactérias incluem compostos com diferentes mecanismos de ação. A principal toxina com efeitos dermatológicos é a lingbiatoxina, um alcaloide produzido principalmente por espécies do género *Lyngbya*, que pode causar dermatite de contato intensa, inflamação e lesões cutâneas. Além disso, lipopolissacarídeos (LPS) presentes na membrana externa de muitas cianobactérias, embora tenham baixa toxicidade, podem atuar como agentes irritantes, provocando reações alérgicas leves na pele e mucosas após contato com água contaminada. Em geral, os efeitos dermatológicos cessam com a interrupção da exposição.

Efeitos das cianotoxinas na comunidade aquática.

A maioria dos estudos sobre os efeitos das cianotoxinas em organismos aquáticos concentra-se na observação dos impactos da exposição a toxinas isoladas em ensaios laboratoriais. Contudo, no ambiente natural, os organismos estão expostos a misturas complexas de cianotoxinas sejam elas por exposição direta ou indireta.

Estudos científicos têm demonstrado que o aumento de temperatura e da concentração de nutrientes na água impulsiona alterações na composição fitoplânctônica. Estes fatores favorecem o desenvolvimento de cianobactérias, em particular, os géneros que frequentemente formam florescências e que são conhecidos como produtores de toxinas (por exemplo, *Microcystis* e *Aphanizomenon*: FIGURA 1 A) e 1 H)). As cianobactérias apresentam temperaturas ótimas de crescimento superiores a 20 °C e competem com outros grupos de fitoplâncton, como Bacillariophyta, Cryptophyta e Dinoflagellata, que possuem temperaturas ótimas de crescimento mais baixas.

Microplásticos.

Pequenos Poluentes, Grandes Problemas.

Catarina Guimarães, Ivo Pinto, Sara Rodrigues, Sara C. Antunes

U. Porto

Os microplásticos são pequenas partículas plásticas que podem resultar da fragmentação de plásticos maiores ou serem produzidas intencionalmente para uso comercial. O descarte inadequado, aliado à ineficácia dos sistemas convencionais de tratamento da água na remoção destes poluentes, contribui para a sua acumulação no ambiente, sobretudo nos ecossistemas aquáticos. Devido à sua ampla distribuição e persistência, os microplásticos podem causar impactos negativos nos ecossistemas e na biodiversidade, além de representar um potencial risco para a saúde humana, tornando-se assim uma preocupação ambiental emergente.

A poluição, nas suas diversas formas, é um problema ambiental que afeta ecossistemas terrestres e aquáticos em todo o mundo. Entre os poluentes mais preocupantes da atualidade destacam-se os plásticos. Estes apresentam características particulares como versatilidade, flexibilidade, resistência e baixo custo, o que leva a que sejam produzidos e utilizados diariamente em grandes quantidades em todo o mundo. A produção em massa dos plásticos teve início em 1950, tendo sido produzidas mundialmente 1,5 milhões de toneladas nesse ano. Porém, com o crescente aumento populacional e conseqüente procura por estes materiais, também a sua produção sofreu um crescimento exponencial, tendo-se atingido, em 2023, 413,8 milhões de toneladas de produção de plástico a nível mundial. No entanto, esta crescente produção e utilização não foram acompanhadas de estratégias sustentáveis de reutilização e reciclagem. Estima-se que de todo o plástico produzido até hoje, apenas cerca de 9% tenha sido reciclado. O restante plástico, uma vez descartado, tem vindo a acumular-se no ambiente, passando por diferentes processos de degradação (por exemplo, mecânica, química e/ou biológica). Destes processos de degradação e fragmentação resultam partículas plásticas cada vez mais pequenas, denominadas microplásticos, com tamanho entre 0,001 e 5 mm (FIGURA 1). Como a quantidade de plástico descartada no ambiente é muito superior à capacidade de eliminação, os resíduos plásticos, especialmente na forma de microplásticos, têm vindo a acumular-se, sobretudo nos ecossistemas aquáticos, produzindo um tipo de poluição irreversível.

Os microplásticos que resultam da fragmentação de plásticos de maiores dimensões podem ser classificados como secundários quanto à sua origem (FIGURA 1). No entanto, também exis-

tem microplásticos produzidos intencionalmente com tamanho entre 0,001 e 5 mm para fins comerciais, como os utilizados em abrasivos de produtos de limpeza, esfoliantes e pellets, sendo estes classificados como primários. Os microplásticos podem ainda ser classificados com base na sua tipologia e cor (FIGURAS 1 e 2). Em relação à tipologia, esta refere-se ao formato das partículas que podem ser classificadas como fibras, fragmentos, filmes, pellets, espumas ou tintas (FIGURAS 1 e 2). Quanto à cor, os microplásticos podem ser de uma cor (por exemplo, preto, azul, vermelho, verde, branco, entre outras), transparentes ou multicoloridos (FIGURA 1).

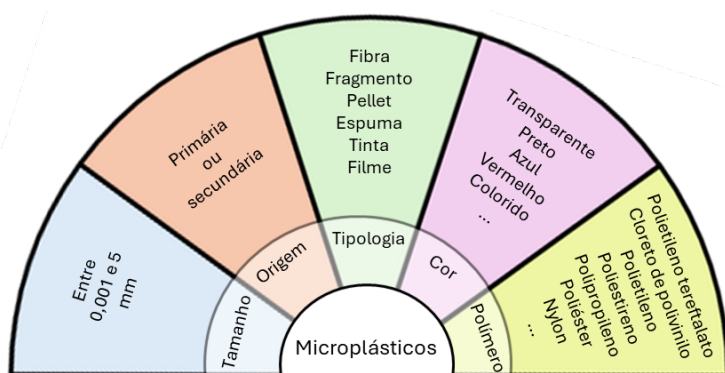


FIGURA 1. Classificação de microplásticos conforme o tamanho, origem, tipologia, cor e tipo de polímero. (Adaptado de Rani-Borges et al.).

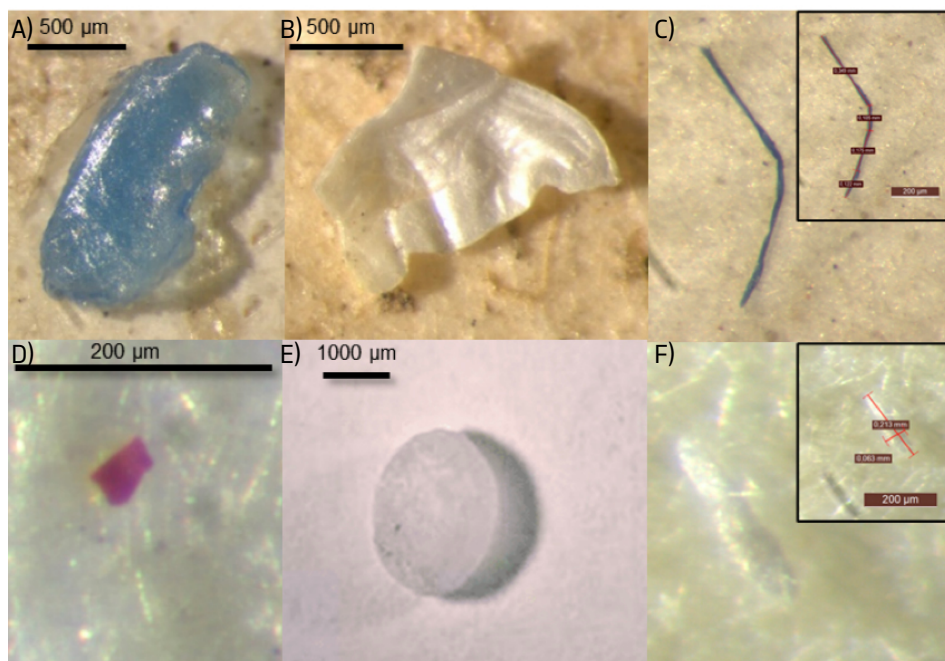


FIGURA 2. Diversidade de microplásticos. A) Fragmento azul. B) Filme branco. C) Fibra azul. D) Fragmento de tinta vermelho. E) Pellet branca. F) Espuma branca, e diferentes formas de medição das partículas com software de análise de imagem.

Adicionalmente, conforme a sua composição química, as partículas podem corresponder a diferentes tipos de polímeros (FIGURAS 1 e 3). Atualmente, a técnica *Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (ATR-FTIR) é uma das mais utilizadas para identificar o tipo de polímero em macro e microplásticos. Esta técnica consiste em direcionar radiação infravermelha através de um cristal com alto índice de refração, como o diamante, que está em contato direto com o plástico. Quando a luz infravermelha incide no cristal, gera uma onda evanescente que penetra na superfície do plástico, interagindo com as vibrações atômicas das moléculas e produz um espectro de absorção/transmitância (FIGURA 3).

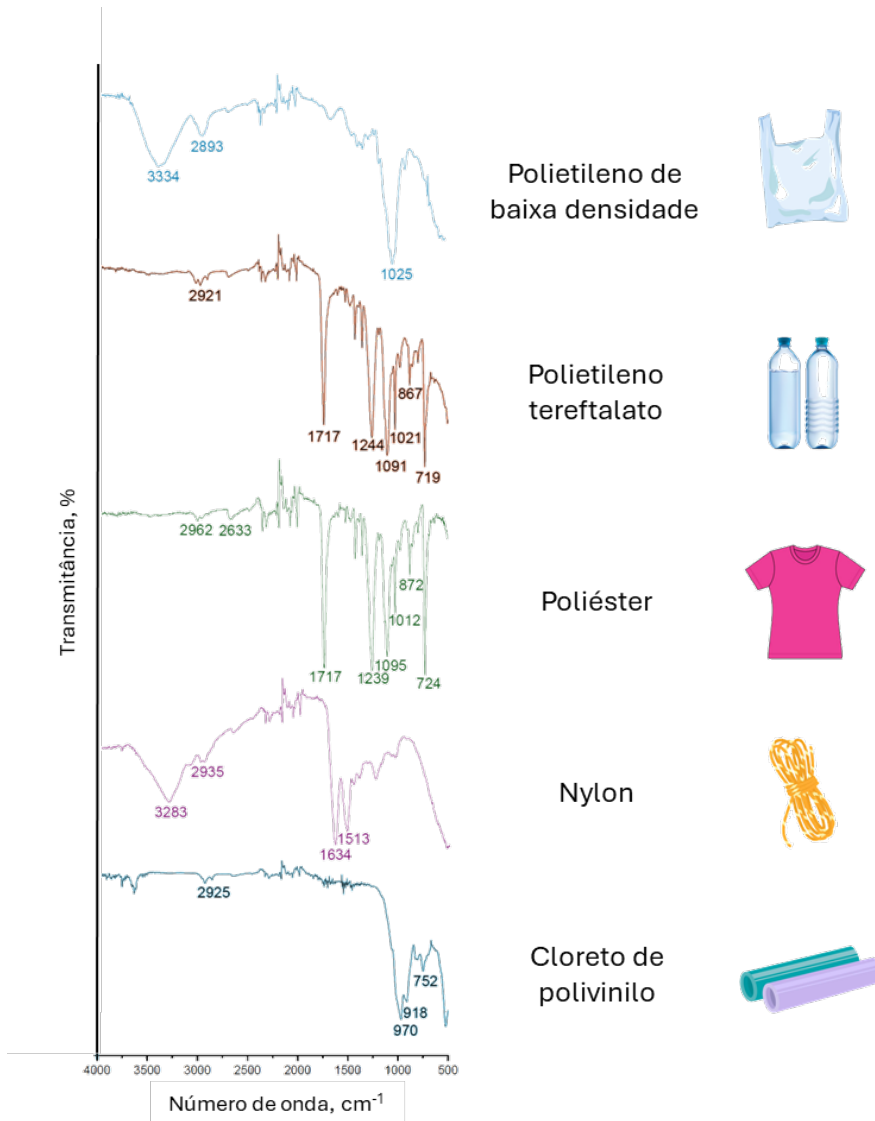


FIGURA 3. Espectro ATR-FTIR de diferentes polímeros de plástico e exemplos de algumas aplicações.

Observando os polímeros, cada tipo possui um espectro único, o que permite a sua identificação por comparação de espectros. No entanto, é preciso garantir que o cristal ATR cobre completamente o plástico a analisar, sendo importante considerar o tamanho das partículas de plástico para garantir a produção de um espectro sem interferências. A identificação do tipo de polímero permite relacioná-lo com as suas possíveis fontes, uma vez que diferentes polímeros são utilizados para fabricar diferentes materiais (FIGURA 3). Além disso, o tipo de polímero influencia a densidade das partículas, o que pode afetar o seu destino e distribuição no ambiente (por exemplo, no meio aquático, influencia se ocorrerá deposição nos sedimentos ou se as partículas permanecerão suspensas na coluna de água).

Os microplásticos podem ser libertados para o ambiente através de diversas fontes, tanto terrestres como aquáticas, sendo que, na maioria dos casos acabam por acumular-se nos ecossistemas aquáticos (FIGURA 4).

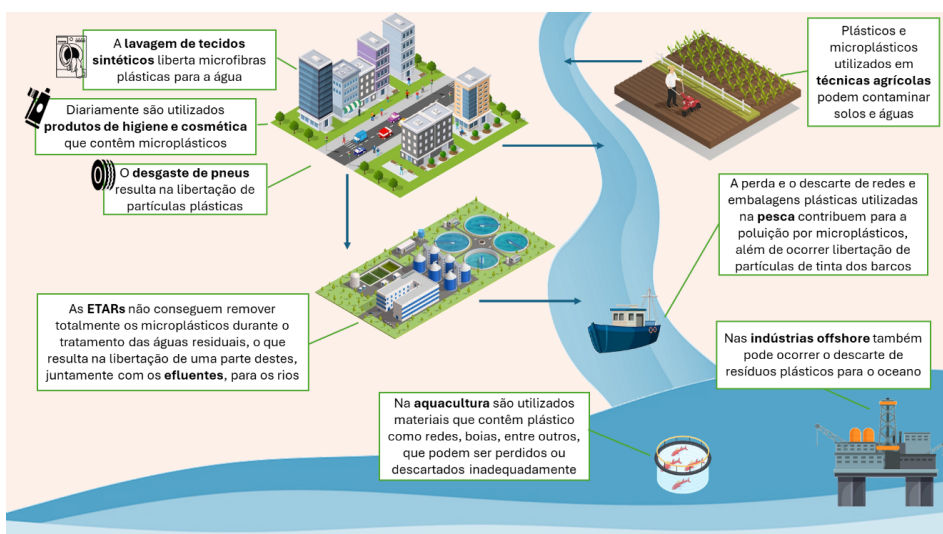


FIGURA 4. Diferentes fontes de microplásticos no meio terrestre e no meio aquático.

Entre as fontes terrestres, a indústria cosmética e a indústria de produtos de higiene destacam-se como setores que mais utilizam microplásticos (por exemplo, cremes, esfoliantes faciais e pastas de dentes). Também a indústria têxtil utiliza fibras sintéticas, como poliéster, nylon e acrílico, que são continuamente libertadas durante as lavagens do vestuário. Uma vez que as estações de tratamento de água residuais (ETARs) convencionais não conseguem reter na totalidade estes poluentes, uma percentagem de microplásticos acaba por ser descarregada juntamente com os efluentes nos ecorreceptores ambientais, nomeadamente em rios. Além disso, a limpeza de navios, realizada com abrasivos que contêm partículas plásticas, promove também a libertação de fragmentos de tinta, classificados também como partículas de microplásticos, especialmente em ecossistemas aquáticos de transição.

Um aperitivo à Computação Quântica.

João Nuno Tavares

U. Porto

ARTIGO

35

Imagine um mundo onde os computadores podem resolver problemas que hoje parecem impossíveis. Por exemplo, ajudar a descobrir remédios milagrosos, criar moléculas que destruam cancros, criar materiais inovadores, proteger comunicações de forma totalmente segura, etc. Essa é a promessa da computação quântica, uma tecnologia que começou como uma ideia ousada e, aos poucos, se transformou numa corrida global pelo futuro da ciência e da inovação.

Tudo começou na década de 1980, quando alguns dos maiores físicos e teóricos sonharam com a possibilidade de usar as leis estranhas e fascinantes da física quântica para criar uma nova forma de computação. Um deles foi Richard Feynman, que percebeu que a física quântica poderia tornar os computadores muito mais poderosos do que os clássicos, capazes de simular formas que nunca imaginamos.

Assim nasceu a ideia de um computador quântico – uma máquina que utiliza partículas em sobreposições e entrelaçamento para realizar cálculos. Nos anos 2000, esse sonho começou a ganhar forma. Os cientistas criaram os primeiros *qubits* físicos, controlando iões, partículas supercondutoras ou átomos, e realizando experiências que mostravam que era possível manipular esses pequenos “blocos” de informação de maneiras novas e impressionantes.

No entanto, esses primeiros dispositivos ainda eram frágeis, com poucos *qubits* e muita instabilidade. Então, veio o grande passo em frente: em 2019, a equipa da *Google* anunciou uma conquista histórica. Com o seu computador quântico, chamado *Sycamore*, realizaram uma tarefa que, dizem, somente um computador quântico poderia fazer em poucos minutos – algo que levaria milhares de anos para um supercomputador convencional. Chamaram-lhe “supremacia quântica”, um momento que marcou o início de uma nova era.

Desde então, países e empresas em quase todo o mundo aceleraram os seus esforços. A *IBM* disponibilizou livremente uma plataforma na internet chamada *IBM Quantum*, onde qualquer pessoa pode experimentar e aprender. A China avançou com os seus próprios computadores e até testou uma rede de comunicação quântica via satélite, considerada um grande avanço estratégico. Países da Europa investiram milhões para criar centros de investigação

e desenvolver tecnologia. Hoje, os cientistas trabalham para aperfeiçoar esses dispositivos. Tentam fazer com que eles fiquem mais estáveis, mais rápidos e mais capazes de resolver problemas reais, de otimização, simulação de moléculas complexas e muitos outros.

A promessa é que, num futuro próximo, computadores quânticos com milhares ou milhões de *qubits* possam revolucionar setores inteiros da ciência, tecnologia e segurança. A história da computação quântica é uma história de coragem, imaginação e competição mundial, movida pelo sonho de transformar o mundo com o poder das leis mais profundas do universo. Se cada avanço é uma pequena conquista, o que nos espera no horizonte ainda é incerto – mas certamente empolgante!

Se o leitor estiver interessado em entrar neste mundo fascinante, certamente que, primeiramente, colocará a pergunta seguinte:

O que preciso de saber sobre mecânica quântica (MQ)?

Não muito!... Pelo menos neste nível introdutório. Até porque este artigo é um mero aperitivo para um assunto que é complexo e continua a ser objecto de investigação recente. Mas para compreender as ideias principais da Computação Quântica (CQ), não precisamos de muito “background” em mecânica quântica.

Começemos então com o indispensável para que, após esta introdução, possamos entender um exemplo de algoritmo quântico – o algoritmo de Grover, que será descrito na seção final deste artigo.

Sobreposições quânticas. Bits e qubits.

Nos computadores clássicos, o *bit* é a unidade de informação mais básica – representa um estado lógico com um de dois valores possíveis. Esses valores são, em geral, representados como “0” ou “1”, mas outras representações como verdadeiro/falso, sim/não, ligado/desligado ou +/-, também são muito usadas.

Em computadores quânticos, os valores 0 e 1 são substituídos, respetivamente, pelos vetores $|0\rangle$ e $|1\rangle$, usando a chamada notação de Dirac, que é usual em mecânica quântica. O termo *bit* é substituído por *qubit*, ou seja, *bit* quântico. A diferença radical para o *bit* clássico, é que o *bit* quântico, ou *qubit*, $|q\rangle$ pode ser uma sobreposição (ou combinação linear) dos vetores $|0\rangle$ e $|1\rangle$, ou seja, pode ser da forma:

$$\text{qubit} \rightarrow |q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C} : |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad (1)$$

O *qubit* $|q\rangle$ é pois uma sobreposição linear dos vetores $|0\rangle$ e $|1\rangle$, com amplitudes complexas α e β , tais que $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. Portanto, $|q\rangle$ é um vetor de um espaço vetorial complexo 2-dimensional, onde $\{|0\rangle, |1\rangle\}$ formam uma base ortonormada, chamada a base computacional. Note que o estado $|0\rangle$ não é o vetor nulo, mas simplesmente o primeiro vetor da base.

As representações matriciais dos vetores $|0\rangle$ e $|1\rangle$ são geralmente dadas por

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^2 \quad (2)$$

de tal forma que o *qubit* $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ pode ser escrito na forma

$$|q\rangle = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \in \mathbb{C}^2$$

Em mecânica quântica, os vetores são sistematicamente chamados estados, designação que usaremos de aqui em diante.

Medição.

A interpretação física da sobreposição $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ é a seguinte: o estado $|q\rangle$ coexiste simultaneamente em dois estados, $|0\rangle$ e $|1\rangle$, bem como em qualquer sobreposição destes. O estado $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, pode armazenar uma grande quantidade de informação nos seus coeficientes α e β . No entanto, esta informação "vive" no nível quântico, que é microscópico (à escala de Planck). Para extrair informação clássica da informação quântica, temos que medir o *qubit* $|q\rangle$.

A mecânica quântica diz-nos que o processo de medição perturba inevitavelmente o estado do *qubit*, produzindo um colapso não determinístico de $|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, ou no estado $|0\rangle$, com probabilidade $|\alpha|^2$, ou no estado $|1\rangle$, com probabilidade $|\beta|^2$.

$$|q\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \xrightarrow{\text{medição}} \begin{cases} |0\rangle & \text{probabilidade} = |\alpha|^2 \\ |1\rangle & \text{probabilidade} = |\beta|^2 \end{cases}$$

Produto de qubits. Multi-qubits.

Os *qubits* podem ser multiplicados (formalmente, através do chamado produto tensorial) para formar *multi-qubits* ou *n-qubits*, onde n é um inteiro ≥ 2 .

Assim, por exemplo, os *qubits* $|0\rangle$ e $|1\rangle$, quando multiplicados formam o *2-qubit*

$$|0\rangle|1\rangle \stackrel{\text{def}}{=} |01\rangle \in \mathbb{C}^4$$

Mais geralmente, os *qubits* $|q_1\rangle, |q_2\rangle, \dots, |q_n\rangle \in \mathbb{C}^2$, podem ser combinados para formar o *n-qubit*:

$$|Q\rangle = |q_1 q_2 \dots q_n\rangle \in \mathbb{C}^{2^n}$$

Observe que este produto de *qubits* é não comutativo e, por isso, a ordem deve ser preservada.

Entrelaçamento Quântico (EQ).

Quando consideramos computadores quânticos com (pelo menos) 2-qubits, um fenómeno muito interessante e surpreendente pode ocorrer. Consideremos então dois 1-qubits, o primeiro no estado.

$$|q_1\rangle = a|0\rangle + b|1\rangle$$

e o segundo no estado

$$|q_2\rangle = c|0\rangle + d|1\rangle$$

O estado composto

$$\begin{aligned} |Q\rangle &= |q_1q_2\rangle \\ &= |(a|0\rangle + b|1\rangle)(c|0\rangle + d|1\rangle) \\ &= ac|00\rangle + ad|01\rangle + bc|10\rangle + bd|11\rangle \end{aligned} \quad (3)$$

é um 2-qubit, obtido pelo produto (tensorial) dos dois 1-qubits $|q_1\rangle$ e $|q_2\rangle$.

Como se viu antes, um 2-qubit genérico é do tipo

$$|Q\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle \quad (3)$$

e será da forma (3), se e só se

$$\alpha = ac, \quad \beta = ad, \quad \gamma = bc, \quad \delta = bd$$

o que implica que

$$\alpha\delta = \beta\gamma$$

Se esta condição é violada o 2-qubit $|Q\rangle$ não é separável (ou factorizável) como produto de dois 1-qubits.

Concluindo: um 2-qubit não é necessariamente o produto (tensorial) de dois 1-qubits.

Por exemplo, o estado

$$|B_{00}\rangle = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

é um estado válido para um computador quântico de 2-qubits, embora não possa ser escrito como um produto de dois 1-qubits (verifique).

Estes estados, que não são produto de dois ou mais 1-qubits, são chamados de estados entrelaçados, e este fenómeno é designado por *Entrelaçamento Quântico*.

Artifícios matemáticos para resolver problemas de estequiometria.

Sebastião Junior Teixeira Vasconcelos

IFCE

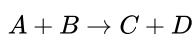
O artigo discute uma alternativa para simplificar os cálculos estequiométricos através da utilização de relações matemáticas diretas. Partindo de uma relação fundamental baseada nos coeficientes estequiométricos das reações químicas, é possível obter relações mais abrangentes através da combinação das equações da massa, do volume de soluções e do volume de gases. A utilização desta alternativa permite simplificar significativamente os cálculos estequiométricos, ao diminuir o número de etapas envolvidas em problemas típicos. O método não se propõe a ser superior ao tradicionalmente utilizado (isto é, aquele que emprega diversas etapas mais restritas), mas sim constituir uma opção que utiliza artifícios matemáticos simples e de fácil compreensão.

Uma introdução estequiométrica.

As quantidades de substâncias participantes numa reação química constituem o principal objeto de estudo da Estequiometria, um ramo da Química dedicado ao estudo das relações entre substâncias nas reações. O nome deriva do grego *stoikheion* e *métron*, significando, literalmente, “medida dos elementos”.

Fundamentado na lei da conservação das massas e na lei das proporções definidas, o cálculo estequiométrico envolve proporções e operações matemáticas simples. Excetuando os casos de reações químicas ou substâncias mais complexas, a dificuldade do tema reside quase exclusivamente na interpretação dos dados dos problemas e na execução correta de passos simples.

Suponhamos que pretendemos determinar a massa de uma substância A que reage com uma massa definida de uma substância B , conforme uma reação ainda não balanceada.



Trata-se de uma variação de problemas relativamente comuns em Estequiometria: determinar a massa de uma substância a partir de outra conhecida numa reação. O organograma da FIGURA 1 fornece um guia passo-a-passo útil para este tipo de situação.

Embora os cálculos sejam simples, existe um número significativo de etapas que tende a aumentar à medida que a complexidade do problema cresce.

- 1 Balanceie a equação e encontre os coeficientes estequiométricos
 $aA + bB \rightarrow cC + dD$
- 2 Estabeleça a relação molar desejada entre as substâncias de interesse
 $a \text{ mol de A} : b \text{ mol de B}$
- 3 Converta a proporção de quantidade de substância para massa. Multiplique pela massa molar correspondente.
 $a \times M_A : b \times M_B$
- 4 Use a proporção em massa recém descoberta para relacionar as substâncias de interesse
 $m_A : m_B$
- 5 Verifique a ocorrência de reagente limitante e fixe-o nos cálculos
- 6 Faça o cálculo desejado respeitando a proporção em massa encontrada
 $m_A \text{ ————— } m_B$
 $x \text{ ————— } y$

FIGURA 1. Etapas para determinação da massa de substância em uma reação química.

Lidar com tantas etapas para um simples cálculo da massa de um reagente numa reação nos faz parecer um malabarista, tendo de equilibrar adequadamente um número grande de detalhes e este é o principal ponto de dificuldade na Estequiometria. A FIGURA 2 é uma ilustração bem-humorada das dificuldades que o cálculo estequiométrico pode acarretar.

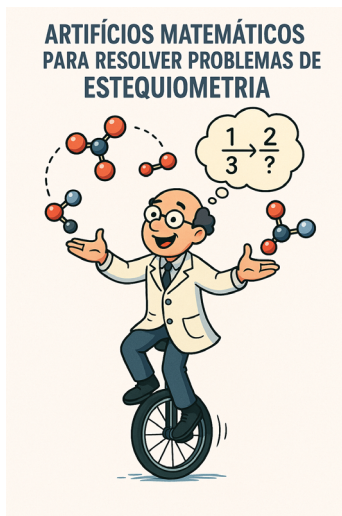


FIGURA 2. As diversas etapas do cálculo estequiométrico tendem a dificultar a sua execução correta.

Fonte: Gerado por OpenAI® em 01/06/2025.

A relação entre mole e massa das substâncias é quase sempre necessária no cálculo estequiométrico. Esta relação já foi discutida em detalhes anteriormente. Note-se que, para reações estequiométricas (ou seja, aquelas cujos reagentes se encontram na proporção exata para reagirem completamente), o número de etapas reduz-se a cinco, dado que não é necessário verificar a existência de reagentes limitantes.

Considere-se o seguinte exemplo: determinar a massa de gás H_2 que reage estequiométricamente com exatos 10,0 g de gás O_2 para formar água. Por se tratar de uma reação estequiométrica, são necessárias cinco etapas para resolver este cálculo, as quais se encontram resumidas no quadro seguinte.

TABELA 1. Resolução de um problema estequiométrico simples.

Etapa	Cálculo
1 – Balanceamento	$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$
2 – Relação molar entre H_2 e O_2	$H_2 : O_2 = 2 \text{ mol} : 1 \text{ mol}$
3 – Conversão para massa	$H_2 : 2 \text{ mol} \times 2,02 \text{ g mol}^{-1} = 4,04 \text{ g}$ $O_2 : 1 \text{ mol} \times 32,00 \text{ g mol}^{-1} = 32,00 \text{ g}$
4 – Relação em massa H_2 e O_2	$H_2 : O_2 = 4,04 \text{ g} : 32,00 \text{ g}$
5 – Limitante	Não há
6 – Cálculo desejado	$H_2 \quad \quad O_2$ 4,04 g --- 32,00 g x --- 10,0 g x = 1,26 g

Salienta-se que o exemplo dado anteriormente é muito simples. Diversos fatores complicadores podem estar presentes, como o facto de as substâncias se encontrarem em diferentes estados físicos, a maior complexidade da reação ou essa não ser estequiométrica. Nesses casos, o cálculo torna-se mais extenso devido ao maior número de etapas.

Toda a estequiometria está fundamentada em relações matemáticas muito simples, das quais se podem obter outras relações mais elaboradas, mas extremamente úteis para realizar os cálculos. Trata-se de uma outra abordagem, que evita uma sequência de etapas e se foca num cálculo direto. A proposta deste artigo é discutir essa forma alternativa nos cálculos estequiométricos com foco nas relações fundamentais.

$$\frac{m_{H_2SO_4}}{M_{H_2SO_4}} = \frac{m_{NaOH}}{2M_{NaOH}} \quad (6)$$

Paisagens argentinas – II.

Da geologia de Mendoza aos glaciares da Patagónia

Luís Vítor Duarte

U. Coimbra, DCT e MARE

O prometido é devido e, assim, voltamos à Argentina. Depois das paisagens quentes e áridas de Salta, deslocamo-nos mais para sul, sem nos desviarmos tanto da mesma longitude. Permanecemos no bordo ocidental do país, junto à fronteira com os Andes e o Chile. Por aqui, entre a diversidade, a geologia é da mais complexa que se possa imaginar. Começamos na famosa região vinícola de Mendoza, com epílogo no Aconcágua. E depois, damos um novo salto, até à Patagónia, onde nos resumiremos a El Calafate, com o soberbo Perito Moreno à cabeça (FIGURA 1). *La Tierra del Fuego*, também de Francisco Coloane, ficará para outras núpcias. Se acontecerem. Menos coloridas, relativamente a Salta, as paisagens são, como sempre, de encher as medidas.

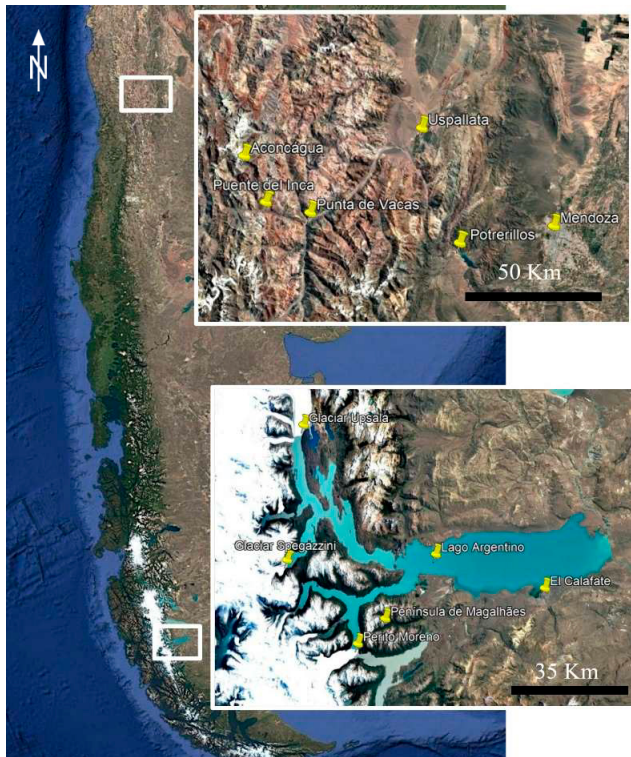


FIGURA 1. Localização dos pontos de visita na região de Mendoza e El Calafate-Lago Argentino. Imagens do Google Earth.

Mendoza é a capital da província argentina que tem o mesmo nome. Amplamente conhecida além-fronteiras pelos seus vinhos afamados, com as suas castas igualmente globais. Mas não estamos aqui para comentar sobre os Malbecs ou, até, pelo distinto Pinot Noir, que leva um nome de um dinossauro encontrado no registo cretácico de Neuquén, já na Patagónia. Está visto que, se há uma relação estreita, essa é a das vinhas com os solos, e estes com as rochas. Mas, o nosso objetivo é conhecido: as paisagens e as suas leituras. Nesse sentido, nada melhor do que seguir a rota da *field trip* "Sedimentation and tectonics across the Andes", enquadrada no âmbito do *18th International Sedimentological Congress*, realizado em 2010 na cidade de Mendoza. Uma excursão geológica de apenas um dia, concretizada a meio do *meeting*. Como o título era mais que sonante, sedimentólogos de todos os cantos do mapa mundo, não hesitaram, e responderam à chamada, preenchendo logo dois autocarros (FIGURA 2). Afinal, era a oportunidade de ter sedimentologia e tectónica, em unísono, num dos locais estruturalmente mais complexos da Terra. Explicada por quem sabe, e tem de se saber muito, pois a geologia muda radicalmente num espaço muito curto. Assim, melhor do que nos livros. E o problema, por esta zona do globo, é mesmo o de discernir a estratigrafia, mesmo a da película mais superficial. Há que lembrar que estamos na placa litosférica Sul-Americana, de natureza continental, muito próximo do contacto com a placa NASCA.



FIGURA 2. Aglomeração de sedimentólogos durante uma das paragens da *field trip* "Sedimentation and tectonics across the Andes", realizada no âmbito do *18th International Sedimentological Congress*.

E a consequência está à vista, para onde quer que nos viremos. Mudanças complexas de litologia, entre unidades magmáticas (granitos e vulcânicas para todos os gostos), sedimentares e metamórficas, sobrepostas por falhas inversas, cavalgamentos, a “torto e a direito”, uns em cima dos outros, respeitando muito pouco ou nada o Princípio da Sobreposição. Uma combinação perfeita entre as duas geodinâmicas, a externa e a interna. Tudo isto, observado entre as unidades morfoestruturais designadas de Precordilheira e as Cordilheiras Frontal e Principal da parte central dos Andes. O Maciço Hespérico e as Orlas Mesocenoicas portuguesas lá do sítio, estas de muito mais fácil entendimento. Com evidências predominantemente compressivas neste lugar das Américas, na sua história geológica são igualmente evidentes marcas distensivas, como no Triássico. Mas, isso ficará para os especialistas.

Independentemente da matéria dada, aqui ficam alguns *highlights*, capazes de não deixar indiferentes o leitor, e que foram muito para além do *script* da referida *field trip*. O objetivo é chegar ao sopé do Aconcágua. Exatamente o ponto mais alto do hemisfério sul e de todas as Américas, com os seus 6961 metros acima do nível do mar, que nem está assim tão distante. Circulando pela estrada internacional 7, a principal ligação terrestre ao Chile, seguindo paralelamente ao rio Mendoza, e passando por lugares tão relevantes como Vale de Potrerillos, Uspallata, Punta de Vacas, Los Penitentes, Puente del Inca, até às imediações do Aconcágua, bem junto à fronteira. Cronologicamente, circulamos entre o Carbonífero e o Quaternário, com unidades geológicas que são, por vezes, um “susto”, pela noção que dão de estarmos completamente perdidos. Sim, dos próprios geólogos. Isso acontece, por exemplo, com o Grupo Choiyoi, uma unidade datada do Pérmico, que é um saco de rochas siliciclásticas, vulcanoclásticas e subvulcânicas. Mesmo ao lado, poderão aflorar granitos quase da mesma idade. A leitura da vasta bibliografia atesta bem a complexidade de análise estratigráfica e, em particular, cronostratigráfica.

Aquela que foi a primeira paragem, só mesmo com superentendidos na matéria, espelha bem o lugar por onde andamos. Não sendo nada fotogénica, prescindimos da nossa imagem, mas o que simboliza é muito para lá do espetacular. Um aficionado pela geologia fará facilmente o corte geológico: uma falha que põe em contacto, imagine-se, uma unidade do Pliocénico terminal, completamente verticalizada, com sedimentos do vizinho Plistocénico, muito ligeiramente inclinados. Estaremos a reportar-nos de algo que não chega, no seu conjunto, aos 3,5 milhões de anos mais recentes da história da Terra. E até a unidade mais recente já não está horizontal. Começamos logo com uma situação extrema dos efeitos das movimentações compressivas, resultantes deste lugar de interseção das duas placas litosféricas atrás referidas. Mais à frente, em Potrerillos, contrariamente à morfologia irregular circundante, que envolve uma das unidades vulcanoclásticas do Pérmico, acima supracitada, é possível observar uma sucessão bastante certinha, tabular, composta por sedimentos siliciclásticos, com alternâncias marcantes entre níveis mais grosseiros e mais finos, e onde domina a cor vermelha (FIGURA 3). Um *déjà vu*, avistado em tantos outros lugares, ainda mais, sendo a unidade aqui datada do Triássico. A apetên-

cia do primeiro dos períodos do Mesozoico, para a precipitação de óxidos de ferro. A organização litológica aqui observada, que se inclui na Formação do Rio Mendoza do Grupo Cacheuta, corresponde ao preenchimento basal da estreita Bacia do Cuyo, formada em contextos tectónicos diametralmente contrários aos atuais, ou seja, em contexto de rifte. Os paleoambientes terão sido dominados pelos ambientes fluviais, do costume. Não esquecer que, pelos 250 milhões de anos, e pelas convenções conhecidas, esta região estaria na extremidade ocidental da grande Pangea. Um dos grandes supercontinentes da história da Terra.

Mas, em matéria de sedimentologia, o percurso ao longo da referida estrada que liga Mendoza ao Chile, e que bordeja o rio Mendoza, é simplesmente um livro em termos de processos e de dinâmica sedimentar atual. Desde os terraços do rio, impressionantes quanto à sua dimensão e extensão (FIGURA 4), mais os leques (ou cones) aluviais que os cruzam, frequentemente, nos sopés das diferentes morfologias que se observam no horizonte, materializadas por rochas coloridas do substrato antigo. O exemplo da FIGURA 5 poderia constar no melhor dos compêndios de Sedimentologia sobre ambientes continentais. E, ainda mais, não esquecendo a grande altitude da região, apesar da latitude em torno dos 35°S ser mediana, são férteis as evidências dos mecanismos e depósitos glaciários associados. Em certas posições, os próprios terraços são uma combinação entre mecanismos fluviais e glaciários. Mais as moreias, os depósitos de vertente. Uma “fartura”!



FIGURA 3. Sucessão siliciclástica de cor vermelha datada do Triásico. Embora em contextos geológicos muito diferentes, são notórias as semelhanças com as rochas da mesma idade aflorantes em Portugal.



FIGURA 4. O leito do rio Mendoza a correr no sentido do fotógrafo (norte), nas imediações de Uspallata. De realçar o impressionante terraço fluvial que se desenvolve no lado esquerdo da imagem, bem como a diversidade de rochas e de cores, das vulcânicas às sedimentares, dispostas sem grande organização geométrica. Significa que a movimentação tectónica terá sido bem marcante.

Em Punta de Vacas, de repente, entre a geologia complexa, desenha-se um lindíssimo vale, onde está encaixado o rio Tupungato, que combina nos seus flancos diversas unidades do final do Paleozoico, entre granitos e rochas sedimentares detríticas, por vezes metamorizadas. Por cima destas unidades, mais uns cones de dejeção. Por vezes é tanta a “confusão”, ao olhar para os afloramentos, que a própria bibliografia não é uníssonas. E compreende-se esse facto, pois esta região é exigente em termos de leitura e obriga a investigações de detalhe. O que é certo, e independentemente de toda a tectónica, é que a parte mais próxima do vale mostra uma feição claramente glaciária, e onde não faltam alguns blocos erráticos, que aqui terão ficado a “fossilizar” desde a última glaciação plistocénica. Mais ainda, parte do lugar de Punta de Vacas encontra-se sobre uma moreia. Um ótimo *spot* para os aficionados da geomorfologia glacial. Convém realçar que Punta de Vacas é um lugar de confluência dos dois rios já mencionados, Mendoza e Tupungato, com o rio Las Cuevas. Na realidade, serão apenas dois cursos de água, sendo o Mendoza “filho” dos outros dois “progenitores”.

E está na hora de entramos na chamada Cordilheira Principal dos Altos Andes, onde sobressaem sucessões sedimentares do Mesozoico e do Cenozoico. Mudamos ligeiramente de rumo, embora não tenhamos saído da estrada de sempre, circulando agora paralelamente ao rio Cuevas, no sentido da sua nascente.



FIGURA 5. No seguimento da imagem anterior, este bellissimo registo de cone aluvial, a intersear o depósito de terraço do rio Mendoza, sobre rochas do Grupo Choiyoi. São imagens que se perpetuam na margem direita deste rio.

Passamos por Los Penitentes, onde poderíamos fazer mais umas observações, mas o foco é Puente del Inca. Designações demasiadamente sonantes e conhecidas a nível mundial. Um lugar que deve a sua originalidade a uma ponte natural, exatamente isso, feita pela natureza, sobre o rio Cuevas. Esta “puente” não é mais do que uma acumulação rochosa que deve a sua origem a fenómeno hidrotermal, de uma nascente de água termal, não muito longe dos processos que vigoraram e vigoram em Pamukkale, quando andámos pela Turquia. Cada um com os efeitos à sua maneira. Litologicamente, tratam-se, basicamente, de travertinos, onde não faltam morfologias como estalactites, acumulações de origem carbonatada e que resultam da supersaturação de carbonato dissolvido na água. O de sempre, segundo as leis da química. Aqui, realça-se o aspeto colorido da formação rochosa, dominado por um amarelo torrado, entre outras cores do espetro do visível, que resulta de toda uma atividade microbiana, que ajuda a precipitar uma série de minerais. Esta é mesmo uma particularidade geológica, muito, muito recente, no tempo. Parece ser do Plistocénico tardio, a envolver igualmente o Holocénico.

Esta particularidade geológica contrasta com a sucessão sedimentar que domina na margem direita do rio Cuevas, e que regista o melhor Mesozoico da região, destacando-se o intervalo entre o Jurássico Médio e o Cretácico Superior, acumulação de sedimentos diversos, onde parecem não faltar registos de amonites.

Biologia e Matemática.

in casadasciencias.org/banco-imagens

Embora não seja muito comum, usamos algumas flores na nossa alimentação. Não se trata daquelas pétalas que aparecem nos pratos *gourmet*, nem de especiarias como o cravinho (*Syzygium aromaticum*) ou o açafão (*Crocus sativus*), mas sim de flores de algumas variedades de couve (*Brassica oleracea*), como a couve-flor, os bróculos ou a couve-romanessa. Nestas crucíferas, a seleção artificial e a consequente modificação genética das plantas, praticadas pelos humanos há milhares de anos, conduziram à seleção de características ligadas a uma floração contínua. Noutras couves, a seleção foi no sentido de promover folhas grandes (couve-galega) ou meristemas axilares (couve-de-Bruxelas).

Nestes três exemplos de flores (na verdade, inflorescências) comestíveis, a base genética das modificações é a mesma, mas a forma como o meristema inflorescencial funciona é diferente. Na couve-flor, o meristema prolifera, mas a diferenciação floral não é completa, formando-se uma massa compacta de meristemas de cor branca, devido à falta de diferenciação das peças florais e consequente ausência de clorofila ou de outros pigmentos. Pelo contrário, nos bróculos, a inflorescência origina um conjunto de flores em que a diferenciação das peças florais é completa. Já na couve-romanessa, o processo é intermédio, com a formação de um padrão regular de flores fechadas. Nesta variedade, a disposição das flores segue um padrão regular de distribuição em espiral, que se orienta quer no sentido dos ponteiros do relógio, quer em sentido contrário. O número de espirais em cada direção (8 e 13, respetivamente) segue números consecutivos de uma série de Fibonacci, o que ocorre devido à disposição consecutiva das flores à volta do meristema inflorescencial, obedecendo a um ângulo de $137,5^\circ$ (o chamado ângulo dourado).

A couve-romanesco não apresenta apenas séries de Fibonacci; é também um fractal natural. Cada pequena flor é uma miniatura da inflorescência, e, à medida que ampliamos a observação, vemos estruturas em espiral cada vez mais pequenas.

Importa referir que estas organizações particulares das inflorescências se devem principalmente a três genes: *AP1* (*APETALA1*), *CAL* (*CAULIFLOWER*) e *TFL1* (*TERMINAL FLOWER 1*), cujos nomes são, em grande parte, autoexplicativos.

Quem disse que não pode haver beleza na Matemática?



Conferência

100 anos da Mecânica Quântica

22-23
OUTUBRO **2025**

FCUP



**CASA DAS
CIÊNCIAS**

FUNDAÇÃO BELMIRO DE AZEVEDO