

Boletim da Sociedade
Portuguesa de Química

5,00 € - Distribuição
gratuita aos sócios da SPQ

janeiro-março
Vol. 49 | N.º 176 | 2025
Publicação Trimestral

Química

Química

Boletim da Sociedade Portuguesa de Química

janeiro-março | Vol. 49 | N.º 176 | 2025

Q



Editorial | 2

Direção | 3

Perspetiva

4

Terras Raras... Tão Faladas e Tão Desconhecidas! | 4

Notícias | 6

Biografia

19

António Joaquim Ferreira da Silva (1853-1923) | 19

Atualidades Científicas | 23

Ongoing

27

Holy Bodies: Um Atlas dos Corpi Santi em Portugal | 27

Teses | 28

28

Chalcogen-Doped Luminescent Zeolites for Near-Infrared Applications | 28

Artigos

29

O Papel das Macroalgas Marinhas na Melhoria da Qualidade da Água: Uma Solução “Natural” | 29

O Paradoxo do Vidro: Muito Além da Fragilidade | 39

Riluzol - Um Surto de Luz para Pacientes com ELA | 45

Novas Velhas Maneiras de Ensinar Técnicas Laboratoriais: o Exemplo do Ensino Musical | 50

Nas Redes | 57

Química Entre Nós | 58

Espaço dos Mais Novos | 59

Destaques | 61

Agenda | 63



Vivemos num mundo em que a sustentabilidade ambiental deixou de ser uma opção e passou a ser uma necessidade. A urgência climática, a escassez de recursos e a poluição ambiental continuam a exigir mudanças na forma como produzimos, consumimos e gerimos materiais e energia.

A transição para uma economia circular e de baixa pegada carbónica depende fortemente da química. Esta ciência central promove avanços como o desenvolvimento de materiais biodegradáveis, catalisadores eficazes, solventes ecológicos e a otimização de processos industriais para reduzir o consumo de energia e as emissões de carbono. Estas soluções encontram-se alinhadas com as políticas europeias

como o *Green Deal* e a Estratégia para a Sustentabilidade dos Produtos Químicos.

Universidades, unidades de investigação e empresas desempenham um papel crucial na criação de soluções tecnológicas e na colaboração com decisores políticos para garantir um equilíbrio entre o desenvolvimento económico e a proteção ambiental. Este desafio torna-se ainda mais premente num contexto global marcado por questões geopolíticas e incerteza económica. A dependência de combustíveis fósseis e de matérias-primas estratégicas vindas de regiões instáveis reforça a urgência de investir em alternativas sustentáveis e em cadeias de produção mais resilientes. Um exemplo paradigmático desta realidade é a questão das Terras Raras, tão faladas nos últimos meses, essenciais, nomeadamente, para a produção de baterias, catalisadores, *lasers* de elevada eficiência e na promoção de tecnologias verdes, como se poderá ler em dois textos desta edição, e cujo fornecimento global está altamente concentrado em poucos países.

A Química Verde surge como abordagem essencial para a sustentabilidade, priorizando processos menos agressivos para o meio ambiente. Os seus Princípios incluem o uso de reagentes menos tóxicos, eficiência na utilização de recursos e minimização de resíduos. Métodos inovadores, como a catálise enzimática, a química supramolecular e a síntese em meio aquoso, demonstram potencial para tornar a indústria química mais sustentável.

A necessidade de soluções químicas inovadoras para os desafios ambientais é também evidenciada na problemática da garantia de água limpa, um dos temas abordados nesta edição. A ineficácia dos métodos convencionais de tratamento de algumas águas residuais exige abordagens mais eficientes e sustentáveis, pelo que a utilização de macroalgas marinhas na biossorção de corantes industriais, por exemplo, demonstra como a química pode contribuir para soluções ecológicas e inovadoras para a preservação dos recursos hídricos.

A sustentabilidade também envolve a formação de uma nova geração de químicos comprometidos com práticas responsáveis. As escolas e as universidades desempenham um papel essencial na introdução de conteúdos programáticos que preparem os futuros profissionais para os desafios neste domínio. Neste contexto, importa destacar a relevância do Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade que, em Portugal, enquadra a educação ambiental desde o pré-escolar até ao ensino secundário.

A transição verde exige um esforço coletivo e integrado, onde a colaboração entre a academia, a indústria e sociedade desempenha um papel determinante. A química, enquanto ciência da transformação, tem uma responsabilidade inegável na criação de alternativas sustentáveis para materiais e processos. O compromisso com a inovação, a eficiência e a segurança ambiental permitirá que a química continue a ser uma força motriz na construção de um futuro mais equilibrado e sustentável para as próximas gerações.

>

Paulo Mendes

BOLETIM DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA

PROPRIEDADE DE SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA

NIPC: 501 139 265

ISSN 0870 – 1180

Registo na ERC n.º 125 525

Depósito Legal n.º 51 420/91

Publicação Trimestral

N.º 176, janeiro-março 2025

REDAÇÃO, EDIÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

Av. da República, 45 – 3.º Esq. – 1050-187 Lisboa

Tel.: 217 934 637 • Fax: 217 952 349

bspq@uevora.pt • www.spq.pt

Diretor: Paulo Mendes

Diretores-adjuntos: Ana Paula Esteves, Bruno Machado, Maria José Lourenço, Pedro S. F. Mendes, Vasco D. B. Bonifácio

Comissão de Aconselhamento Editorial:

Augusto Tomé, Helder T. Gomes, João Paulo R. F. André, Joaquim L. Faria, Jorge Morgado, Mário N. Berberan-Santos

ESTATUTO EDITORIAL

Disponível em:

www.spq.pt/boletim/estatuto_editorial

PUBLICIDADE

Sociedade Portuguesa de Química
secretariado@spq.pt

DESIGN GRÁFICO E PAGINAÇÃO

Rodrigo Nina

www.rodrigonina.com

rodrigo.pnina@gmail.com

Tel.: 964 819 822

IMPRESSÃO E ACABAMENTO

Sersilito, Empresa Gráfica, Lda.

Travessa Sá e Melo, 209, Apartado 1208

4490-116 Gueifães, Maia

+351 229 436 920

administracao@sersilito.pt

Tiragem: 1.450 exemplares

As colaborações assinadas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores, não vinculando de forma alguma a SPQ, nem a Direção do QUÍMICA. São autorizadas e estimuladas todas as citações e transcrições, desde que seja indicada a fonte, sem prejuízo da necessária autorização por parte do(s) autor(es) quando se trate de colaborações assinadas. As normas de colaboração e as instruções para os autores podem ser encontradas no sítio web da SPQ.

PUBLICAÇÃO SUBSIDIADA PELA

FCT Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia

Apoio do Programa Operacional Ciência, Tecnologia,
Inovação do Quadro Comunitário de Apoio III

Oito Anos de Aprendizagens Essenciais – Tempo de Avaliar?

As Aprendizagens Essenciais (AE) foram introduzidas em 2017 como documentos complementares aos programas e às metas curriculares, passando mais tarde com a revogação das mesmas a ser o único documento de orientação curricular. Aparecem como ferramenta operacional de definição curricular para o desenvolvimento das áreas de competências inscritas no *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória* (2017), documento central para a redefinição do Currículo do Ensino Básico e do Ensino Secundário, visando “a promoção da melhoria da qualidade da aprendizagem e o sucesso de todos os alunos no final dos 12 anos de escolaridade obrigatória, constituindo o enquadramento para a construção de um currículo para o século XXI” [1]. Este documento, juntamente com as AE e a Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania constituem os referenciais curriculares das várias dimensões do desenvolvimento curricular, atualmente em vigor [2].

No ano letivo 2017/2018, as AE foram ensaiadas em regime de experiência pedagógica, no âmbito da implementação do Projecto de Autonomia e Flexibilidade Curricular do ensino básico e secundário, tendo envolvido 226 agrupamentos curriculares distribuídos por continente e ilhas [3]. Homologadas em 2018 [4], a sua implementação definitiva decorreu de forma faseada a partir do ano letivo 2018/2019, em que foram aplicadas aos primeiros anos dos vários ciclos, e sucessivamente nos anos seguintes, tendo terminado em 2021/2022 com a aplicação ao 4.º ano do 1.º ciclo (conforme Decreto-Lei n.º 55/2018 de 6 de julho).

As AE são documentos elaborados em duas partes: i) uma introdução onde se apresentam as ideias organizadoras e conceitos nucleares de cada disciplina curricular (por ano/ciclo), explicitando a justificação curricular, os conceitos-chave que exige, e as competências a adquirir e; ii) uma tabela constituída por quatro colunas, onde na primeira se refere o domínio de conhecimento (tópico curricular), na segunda se elencam conhecimentos, capacidades e atitudes (detalhes de cada tópico curricular), na terceira se identificam ações estratégicas de ensino a desenvolver na disciplina, e na quarta se referem descritores relativos a capacidades e atitudes a desenvolver nos alunos. Para compreender o processo de elaboração desta tabela, que constitui a parte central das AE de cada disciplina curricular (por ano/ciclo), importa consultar o documento “Currículo do ensino básico e do ensino secundário – para a construção de aprendizagens essenciais baseadas no Perfil dos Alunos”, de 2017 [5].

A elaboração das AE em tabela de quatro colunas sugere uma leitura horizontal associada a cada domínio/tópico curricular. Mas o modo como está construída permite essa leitura apenas nas duas primeiras colunas. As duas colunas restantes, embora coerentes entre si, são independentes das duas primeiras. Torna-se desta forma impossível associar ações concretas e descritores a cada um dos tópicos curriculares.

Seria importante repensar a organização da informação nestes

documentos. Uma opção consiste na individualização das ações estratégicas de ensino a desenvolver na disciplina (coluna 3), e respetivos descritores (coluna 4), numa tabela independente. Outra seria detalhar a tabela atual, elencando esses elementos para cada tópico curricular. A primeira opção deixaria espaço para maior definição curricular, por exemplo acrescentando uma terceira coluna com conteúdo relativo à componente experimental, que em Química e Física é globalmente reconhecida como extremamente relevante [2]. Esta seria sem dúvida uma boa ferramenta para os docentes!

Como os documentos que se constituem como únicos referenciais curriculares das várias dimensões do desenvolvimento curricular a seguir pelas escolas, definidos por Despacho [2], são vários e não estão organizados sob a forma de programa oficial, muitos professores adoptam um livro e o seu conteúdo como um programa “de facto”, com todos os inconvenientes que daí possam advir. Deve ser tido em conta que o período de vigência dos manuais escolares no ensino secundário é, em regra, seis anos, desde que em harmonização com os documentos curriculares das disciplinas a que se referem.

Passaram sete anos desde que as AE foram introduzidas no ensino básico e secundário. Foram sujeitas a uma avaliação no subprojeto *Curriculum Content Mapping*, no âmbito do projeto *Future of Education and Skills 2030/2040* da OCDE, e avaliadas pelas escolas que participaram na experiência-piloto de autonomia e flexibilidade curricular. É, por isso, uma boa altura para analisar estes resultados e avaliar concretamente a sua implementação junto das escolas, bem como da necessidade de uma revisão aprofundada – **que vá para além de uma edição revista dos textos existentes**. E, eventualmente, é tempo de uma discussão alargada sobre a necessidade, ou não, da existência de um Programa!

- [1] Guilherme d’Oliveira Martins et al., “Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória”, Ministério da Educação / Direção Geral de Educação, 2017. dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/perfil_dos_alunos.pdf.
- [2] Despacho n.º 6605-A/2021, de 6 de julho. files.dre.pt/2s/2021/07/129000001/0000200003.pdf.
- [3] Ariana Cosme, “Projeto de autonomia e de flexibilidade curricular (PAFC): estudo avaliativo da experiência pedagógica desenvolvida em 2017/2018 ao abrigo do Despacho N.º 5708 / 2017”, Relatório Técnico, FPCEUP - Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, 2018. repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/125848/2/381599.pdf.
- [4] Homologadas através dos Despachos n.ºs 6944-A/2018, de 18 de julho; 8476-A/2018, de 31 de agosto; 7414/2020, de 17 de julho; e 7415/2020, de 17 de julho. Disponíveis em dge.mec.pt/aprendizagens-essenciais-0.
- [5] Maria do Céu Roldão, Helena Peralta, Isabel P. Martins, “Currículo do ensino básico e do ensino secundário – para a construção de aprendizagens essenciais baseadas no Perfil dos Alunos”, Ministério da Educação, 2017. dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/ae_documento_enquadrador.pdf.

>
A. Jorge Parola
 Secretário-Geral da SPQ
ajp@fct.unl.pt

>
Joaquim Faria
 Presidente da SPQ
jlfaria@fe.up.pt

>
João Paulo Leal
 Secretário-Geral Adjunto da SPQ
jpleal@ctn.tecnico.ulisboa.pt

Terras Raras... Tão Faladas e Tão Desconhecidas¹

Na conjuntura atual de equilíbrios políticos instáveis, os noticiários e os comentadores políticos passaram a integrar no seu léxico o termo Terras Raras, sem um conhecimento exato do que significam e, muitas vezes, com dificuldades em pronunciar os nomes desses elementos químicos, olhados como estranhos e “objeto de cobiça”, representando “moedas” de troca valiosas. Este artigo pretende, de um modo muito simples, definir os elementos químicos atores neste “campo de batalha” e esclarecer alguns pontos sobre este tópico tão glosado.

As Terras Raras (ver Tabela Periódica, onde nomes e símbolos químicos são indicados) são um conjunto de 17 elementos químicos da Tabela Periódica: os 15 lantanídeos (lantânio (La) ao lutécio (Lu)), mais o ítrio (Y) e o escândio (Sc), que possuem propriedades químicas semelhantes. Estes elementos são muitas vezes divididos em dois grupos principais: lantanídeos leves (do lantânio a samário (Sm)), com menor número atômico e lantanídeos pesados (do európio (Eu) ao lutécio) mais pesados e com maior estabilidade química.

A produção mundial de óxidos de Terras Raras foi

de aproximadamente 350 000 toneladas métricas em 2023. Apesar do nome, muitas Terras Raras não são tão raras assim, mas estando os seus depósitos principais e a sua produção mundial concentrados na China, eles são estratégicos para as necessidades tecnológicas mundiais. Embora os elementos mais leves sejam os mais abundantes, são os mais pesados que têm as aplicações mais importantes, o que faz estes elementos serem considerados como críticos.

As propriedades químicas das Terras Raras que se destacam são os estados de oxidação comuns: +3 (o mais estável, exemplo: cério - Ce³⁺, neodímio - Nd³⁺), mas alguns podem apresentar +2 (samário - Sm²⁺, európio - Eu²⁺) ou +4 (cério - Ce⁴⁺, térbio - Tb⁴⁺). São metais reativos, especialmente quando em pó. A maioria tem comportamento químico parecido, o que dificulta a sua separação, e reagem facilmente com oxigénio formando óxidos estáveis.

Muitas aplicações específicas, resultantes das suas propriedades magnéticas e luminescentes, cruciais para a manufatura de muitos produtos para a alta tecnologia, tornam as Terras Raras muito apetecíveis na Química e na Indústria, sendo em geral deno-

Tabela Periódica dos Elementos Químicos

Chave

número atômico

Símbolo

nome

massa atômica padrão^{a,b,c,d,e}

1 H hidrogénio 1,008 (1,0078; 1,0082)																	2 He hélio 4,0026
3 Li lítio 6,94 (6,938; 6,997)	4 Be berílio 9,0122											5 B boro 10,81 (10,806; 10,821)	6 C carbono 12,011 (12,009; 12,012)	7 N nitrogénio 14,007 (14,006; 14,008)	8 O oxigénio 15,999 (15,999; 16,000)	9 F flúor 18,998	10 Ne neón 20,180
11 Na sódio 22,990 (24,304; 24,307)	12 Mg magnésio 24,305 (24,304; 24,307)											13 Al alumínio 26,982	14 Si silício 28,085 (28,084; 28,086)	15 P fósforo 30,974	16 S enxofre 32,06 (32,059; 32,076)	17 Cl cloro 35,45 (35,446; 35,457)	18 Ar árgon 39,948
19 K potássio 39,098	20 Ca cálcio 40,078(4)	21 Sc escândio 44,956	22 Ti titânio 47,867	23 V vanádio 50,942	24 Cr cromo 51,996	25 Mn manganês 54,938	26 Fe ferro 55,845(2)	27 Co cobalto 58,933	28 Ni níquel 58,693	29 Cu cobre 63,546(3)	30 Zn zinco 65,38(2)	31 Ga gálio 69,723	32 Ge germânio 72,630(8)	33 As arsénio 74,922	34 Se selénio 78,971(8)	35 Br bromo 79,904 (79,901; 79,907)	36 Kr criptón 83,798(2)
37 Rb rubídio 85,468	38 Sr estrôncio 87,62	39 Y ítrio 88,906	40 Zr zircónio 91,224(2)	41 Nb nióbio 92,906	42 Mo molibdénio 95,95	43 Tc tecnécio 98	44 Ru ruténio 101,07(2)	45 Rh ródio 102,91	46 Pd paládio 106,42	47 Ag prata 107,87	48 Cd cádmio 112,41	49 In índio 114,82	50 Sn estanho 118,71	51 Sb antimónio 121,76	52 Te telúrio 127,60(3)	53 I iodo 126,90	54 Xe xénon 131,29
55 Cs césio 132,91	56 Ba bário 137,33	57-71 lantanídeos	72 Hf hafnio 178,49(2)	73 Ta tântalo 180,95	74 W tungsténio 183,84	75 Re rénio 186,21	76 Os ósio 190,23(3)	77 Ir irídio 192,22	78 Pt platina 195,08	79 Au ouro 196,97	80 Hg mercúrio 200,59	81 Tl talho 204,38 (204,36; 204,39)	82 Pb chumbo 207,2	83 Bi bismuto 208,98	84 Po polónio	85 At ástato	86 Rn rádon
87 Fr frâncio	88 Ra rádio	89-103 actinídeos	104 Rf rutherfordio	105 Db dubnio	106 Sg seabórgio	107 Bh bohrio	108 Hs hássio	109 Mt meitnério	110 Ds darmstácio	111 Rg roentgénio	112 Cn copernício	113 Nh nihónio	114 Fl fleróvio	115 Mc moscóvio	116 Lv livermório	117 Ts tenesso	118 Og oganésson
57 La lantânio 138,91	58 Ce cério 140,12	59 Pr praseodímio 140,91	60 Nd neodímio 144,24	61 Pm promécio	62 Sm samário 150,36(2)	63 Eu európio 151,96	64 Gd gadolínio 157,25(3)	65 Tb térbio 158,93	66 Dy disprósio 162,50	67 Ho hólmio 164,93	68 Er érbio 167,26	69 Tm túlio 168,93	70 Yb itérbio 173,05	71 Lu lutécio 174,97			
89 Ac actínio	90 Th tório 232,04	91 Pa protactínio 231,04	92 U urânio 238,03	93 Np neptúnio	94 Pu plutónio	95 Am amerício	96 Cm cúrio	97 Bk berkélio	98 Cf califórnio	99 Es einsténio	100 Fm fémio	101 Md mendelévio	102 No nobélio	103 Lr lawrécio			

minadas por materiais tecnológicos. Enumeramos aqui as aplicações mais relevantes: em materiais supercondutores (neodímio e samário); na preparação de catalisadores químicos usados na indústria automóvel (cério e ítrio); em motores magnéticos usados em turbinas eólicas e componentes de automóveis (neodímio e disprósio (Dy)); em luminóforos usados em telas e lâmpadas LED (európio e térbio); em ligas metálicas (ítrio e escândio); no desenvolvimento de materiais resistentes aplicados a baterias e dispositivos eletrónicos (disprósio, praseodímio (Pr)); em fibras óticas (érbio ou európio); e células fotovoltaicas e painéis solares (itérbio). O *design* e a funcionalidade de *smartphones*, a nitidez dos seus altifalantes e microfones, e os dispositivos de vibração são possíveis graças à incorporação de 150–250 mg de nove destes elementos, por exemplo, em motores e ímanes pequenos e potentes, que são fabricados com neodímio e praseodímio. Deste modo, as Terras Raras são essenciais para o crescimento de tecnologias verdes, tais como, veículos elétricos e a conversão de energia solar e eólica, bem como em telecomunicações, etiquetas de segurança (códigos QR), cirurgia e

imagem médica, e na indústria de defesa.

Para utilizar as Terras Raras, em geral encontradas juntas em minérios, como bastnasita (Ce, La, Nd)FCO₃ e monazita (Ce, La, Nd, Th)PO₄, a Química Industrial tem de extrair e separar estes elementos numa forma pura. Devido à semelhança química deste grupo de elementos (idênticos raios iónicos e solubilidades), a separação é muito dificultada. São encontrados misturados e requerem processos complexos de separação, como extração por solvente e troca iónica. O impacto ambiental dos processos extrativos é grande e preocupante. A mineração e purificação podem gerar produtos tóxicos (ácidos e metais pesados).

A utilização de Terras Raras tem sido uma preocupação da Geopolítica e da Dependência Internacional, focando-se em estratégias e impactos globais. A produção de Terras Raras é dominada pela China (cerca de 70% da produção mundial). Esse monopólio permite ao país influenciar mercados e políticas internacionais, criando desafios para outras nações que dependem desses materiais para a sua transição tecnológica. Esta crise e políticas de monopólios têm levado a procurar estratégias para um futuro mais equilibrado. Em resposta, países como os Estados Unidos, o Japão e os pertencentes à União Europeia têm buscado diversificar as suas fontes e investir em reciclagem e mineração local. No caso da Ucrânia tem-se observado um interesse latente, mas é esperada uma definição quantitativa rigorosa. A diversificação da produção e investimentos em novas minas na Austrália, Brasil, Canadá e África procuram reduzir a dependência da China. A recuperação de Terras Raras a partir de produtos eletrónicos descartados, embora difícil e custosa, pode aliviar a procura por mineração (conceitos de reciclagem e sustentabilidade). Acordos internacionais e parcerias estratégicas entre países potenciam o fortalecimento de cadeias de fornecimento e garantem o acesso a esses recursos críticos. A política das Terras Raras continuará a ser um tema central na Geopolítica e na Economia Global do futuro, influenciando o desenvolvimento tecnológico e as relações internacionais.

¹Baseado em texto publicado no Público • Quarta-feira, 26 de fevereiro de 2025 • Ciência e Ambiente... *online* (publico.pt/2025/02/26/ciencia/opiniao/terras-raras-tao-faladas-tao-desconhecidas-2123725) e papel.



Monazita. © Andrea Ferreira. acervo.mmgerdau.org.br/teste-4/49707-2.



Bastnasita. © Jyrki Autio. rockidentifier.com/pt/wiki/Bastnasite.html

>

José Moura

Professor Catedrático Aposentado
NOVA FCT
jose.moura@fct.unl.pt

>

Carlos Gerales

Professor Catedrático Jubilado
Universidade de Coimbra
geraldes@uc.pt

XXVIII Encontro Galego-Português de Química

De 13 a 15 de novembro de 2024 realizou-se em Vigo, Espanha, o XXVIII Encontro Galego-Português de Química (XXVIII EGPQ). Este congresso internacional manteve-se fiel ao seu propósito de criar um espaço de partilha entre jovens investigadores e figuras consagradas do mundo da química. Foi uma oportunidade para trocar experiências, explorar novos caminhos e inspirar as novas gerações que desejem fazer da química a sua profissão, apresentando um leque diverso e inclusivo de possibilidades.



Poster de divulgação do XXVIII Encontro Galego-Português de Química (XXVIII EGPQ).

A sessão de abertura esteve a cargo do Professor Ehud Keinan (Israel), atual Presidente da IUPAC e membro da *The Schulich Faculty of Chemistry no Technion-Israel Institute of Technology*, em Haifa. A sua palestra abordou, numa perspetiva otimista, os seis desafios globais mais prementes da humanidade e as quatro razões que nos permitem enfrentá-los com segurança e confiança, com uma abordagem centrada no ensino.

O painel de oradores convidados incluiu, como habitualmente, dois investigadores e docentes de cada nacionalidade, destacando-se:

- **Professor Manuel Arturo López Quintela**, Catedrático de Química-Física na Universidade de Santiago de Compostela, distinguido com o Prémio Solvay em Química e o Prémio Burdinola em Nanotecnologias. É cofundador da NANOGAP, uma

empresa dedicada à produção de nanomateriais, e da Arjuna Therapeutics, focada em soluções inovadoras para problemas oncológicos.

- **Professor Javier García-Martínez**, Catedrático de Química Inorgânica e diretor do Laboratório de Nanotecnologia Molecular da Universidade de Alicante. Ex-Presidente da IUPAC (2022-2023), recebeu o Prémio Nacional de Investigação “Juan de la Cierva” e o Prémio Rei Jaime I em Novas Tecnologias. É fundador da Rive Technology, que comercializa catalisadores para refinarias, promovendo eficiência energética e redução de emissões de CO₂.
- **Professora Salette Reis**, Catedrática da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto, coordenadora do Grupo de Investigação em NanoPlataformas do LAQV-REQUIMTE e líder da Unidade de Biofísica e Biotecnologia Molecular (MB2) do REQUIMTE.
- **Doutora Cláudia Nunes**, Investigadora Auxiliar que concluiu o doutoramento em Bioquímica pela Universidade de Aveiro em 2008. Desenvolveu projetos com financiamento internacional, incluindo uma patente na aplicação de filmes de quitosana para a indústria alimentar.

Os tópicos abordados foram diversos, incluindo o desenvolvimento de novos fármacos através de estudos de *docking* molecular, catálise, economia circular (como a valorização de resíduos proveniente da casca do café, e a análise da toxicidade dos aditivos em plásticos) e biossensores eletroquímicos portáteis. Numa vertente mais dirigida à saúde humana, destacaram-se apresentações sobre novos polímeros antibióticos, a importância dos lípidos na permeabilidade das membranas e o desenvolvimento de formulações terapêuticas baseadas em exossomas do leite.

Como referido, esta edição do XXVIII EGPQ decorreu em Vigo, a cidade mais densamente povoada da Galiza e famosa pelo seu espetáculo de luzes de Natal, inaugurado a 16 de novembro na Porta do Sol. O EGPQ reuniu mais de 300 participantes a trabalhar e a investigar em diversas especialidades químicas, cujos projetos prometem transformar-se em avanços concretos no futuro.

Pela primeira vez, foi atribuído o Prémio Fundação Ramón Areces à melhor comunicação apresentada por um jovem investigador. O galardão, no valor de 1500 euros, foi entregue à investigadora **Uxia Gómez Bouzó**, da Universidade de Vigo, que concluiu o doutoramento uma semana antes do evento. A cerimónia de entrega do prémio ocorreu no encerramento do congresso, na presença do Decano do *Colexio Oficial de Químicos de Galicia* e do Presidente da Sociedade Portuguesa de Química.



Da esquerda: Joaquim Luís Faria (Presidente da SPQ), Uxia Gómez Bouzó (vencedora do Prémio Fundação Ramón Areces), e Manuel Rodríguez Méndez (Decano do Colexio Oficial de Químicos de Galicia).



Diploma do Prémio Fundação Ramón Areces.

O próximo Encontro está previsto para novembro de 2025, em Portugal, sob a organização da Sociedade Portuguesa de Química e da Universidade do Minho.

>

Joaquim L. Faria
jlfaria@fe.up.pt

Vasco Bonifácio
vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt

Global Women's Breakfast #GWB2025 – “Acelerando a Equidade na Ciência”

O *Global Women's Breakfast 2025* (GWB2025) decorreu no dia 11 de fevereiro, um evento internacional que celebrou a diversidade, igualdade e inclusão. Este ano o tema foi “*Accelerating Equity in Science*”. Foram muitas as instituições portuguesas que se associaram e colocaram Portugal “coberto de corações” no Mapa do Mundo, no site da *International Union of Pure Applied Chemistry* (IUPAC).

A Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) associou-se mais uma vez à iniciativa. “A Paz” serviu de elemento central da celebração, pois a paz é fundamental para promover a equidade, a diversidade e a inclusão em ciência. Neste espírito, foi lançado um convite a todos os participantes: contribuir ativamente com conteúdos criativos que simbolizem a paz e que possam inspirar a comunidade científica na procura de uma sociedade mais justa e igualitária. A participação pode incluir vídeos curtos (2 min), fotografias, apresentações em *slides* ou outras formas criativas de expressão. Juntos, pretende-se criar um mosaico de experiências que demonstre como a diversidade, a inclusão e a paz podem ser pilares indispensáveis para acelerar a equidade em ciência. Os trabalhos a concurso serão objeto de votação e os três melhores receberão prémios da SPQ no Encontro Nacional que se realizará em julho de 2025.

O programa do GWB2025 incluiu também a realização do pequeno-almoço, em cada organização, num espírito de confraternização no âmbito do



tema que nos une. A apresentação de Isabel Esteves, “*Illustrating Global Women's Breakfast Events: A Creative Approach*”, movimentou o País que se ligou para ouvir a sua história.

Desde 2019 que o evento GWB na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (NOVA FCT) é ilustrado por Isabel Esteves, Engenheira Química e Professora no Departamento de Química desta instituição académica. Original de Lisboa, Isabel dedica desde a sua infância tempo da sua vida pessoal à paixão que a move: o desenho. Dos desenhos de banda desenhada que fazia em criança a lápis de carvão em pequenos cadernos, à formação que foi realizando em artes visuais em paralelo com a sua carreira profissional, esta colega tem concretizado os desenhos que marcam anualmente o GWB e que são divulgados nos *posters* e painéis publicitários

deste evento. A sua inspiração vem das pessoas, da natureza, da sua investigação, experiências de vida e emoções do dia-a-dia. A sua formação em ciências acrescenta uma visão alternativa ao seu processo criativo. Tem uma preferência e um padrão no seu trabalho: o desenho de linha e a mancha através da aguarela colorida, embora também trabalhe outros materiais. As obras de Isabel são inspiradas em artistas como Leonardo da Vinci, William Turner e John Ruskin. A imagem deste ano apela à paz pelo fundo branco, à diversidade e equidade através de duas crianças no presente, dois adultos no futuro. Um planeta verde dado às crianças por uma linha frágil – o futuro. Verde como símbolo de natureza e crescimento, renovação, esperança e bem-estar geral. Verde como um apelo para uma química verde e sustentável.

O evento terminou com a exposição na NOVA FCT de trabalhos originais de Isabel Esteves e aberto à discussão com a mesma para responder às curiosidades dos participantes. A SPQ promove a equidade, a diversidade e a inclusão em ciência através de eventos como o GWB2025. Agradecemos a todos os que participaram nesta edição e esperamos contar com a sua presença no próximo ano!

>	>	>
Ana Aguiar-Ricardo	Cristina Delerue-Matos	Isabel Esteves
air@fct.unl.pt	cmm@isep.ipp.pt	i.esteves@fct.unl.pt



7.^a Edição da Escola Molecular

No dia 8 de fevereiro arrancou mais uma edição da Escola Molecular, uma escola pré-universitária de Química organizada pela Molecular JE, a Júnior Empresa do Departamento de Química da Universidade de Coimbra. Esta é já a 7.^a edição da atividade, realizada anualmente desde 2018. Tem como missão evidenciar o papel fundamental da Química em todos os aspetos do quotidiano. Ao longo de cinco sessões aos sábados, estudantes do ensino secundário são convidados a visitar o Departamento de Química da UC, onde têm a oportunidade de explorar os diferentes ramos desta ciência.

A Escola Molecular foi pioneira em Portugal, sendo a primeira escola pré-universitária de Química, e também a primeira organizada por estudantes. Desde então, já acolheu mais de 500 alunos de dezenas de escolas, distribuídas por sete distritos. Este ano, contamos com 93 participantes, dando continuidade ao recorde estabelecido na edição anterior.



Divididos por ano letivo, os alunos iniciam cada sessão com uma componente teórica, seguida de atividades experimentais relacionadas com o tema abordado. Para os estudantes dos 10.^o e 11.^o anos, os conteúdos estão alinhados com o programa de Física e Química A e são lecionados por Professores e Investigadores do Departamento de Química da

UC. Já os alunos do 12.º ano exploram a vertente empreendedora da Química, através da participação de profissionais de empresas e projetos da área. A componente experimental é orientada por estudantes universitários, e os participantes têm ainda a oportunidade de visitar diversos laboratórios de investigação.

O impacto da Escola Molecular na captação de alunos para áreas científicas já se fez sentir: 33% das vagas preenchidas no ano letivo 2024/2025 correspondem a novos alunos que passaram pelos quadros da Escola Molecular durante o seu percurso e que escolheram ingressar em cursos do Departamento de Química da Universidade de Coimbra, um número recorde e com grande peso para a instituição. Adicionalmente, 22 novos alunos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UC que ingressaram no presente ano passaram também pelas últimas sessões deste projeto. Da Escola Molecular também resultaram duas publicações em revistas científicas internacionais,

em 2021 (*Chemistry Teacher International*) e 2023 (*Journal of Chemical Education*).

A Escola Molecular é realizada de forma gratuita para todos os participantes graças ao apoio da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UC, do seu Departamento de Química, da Sociedade Portuguesa de Química, do Instituto Português do Desporto e da Juventude, da Câmara Municipal de Coimbra, e à colaboração voluntária de todos os professores, investigadores e estudantes envolvidos. Na sessão de abertura, estiveram presentes o Sr. Vereador da CMC, Dr. Carlos Lopes, o Diretor do DQ-FCTUC, Professor Doutor Artur Valente e o Presidente da Sociedade Portuguesa de Química, Professor Doutor Joaquim Luís Faria.

>

João Santos

Molecular JE

molecular.pt/escola-molecular

Podcast Químicos Portugueses Pelo Mundo: 1.ª Temporada

O *podcast* Químicos Portugueses Pelo Mundo já conta com uma primeira temporada de seis episódios lançados entre junho e dezembro de 2024. Este *podcast* surgiu como uma iniciativa do Grupo de Químicos no Estrangeiro para dar a conhecer os percursos de vida de químicos portugueses que decidiram fazer as suas carreiras fora de Portugal.

Os primeiros três episódios servem como uma apresentação dos membros da direção do grupo, já que são estes os três primeiros entrevistados (Pedro Vidinha, Brasil; Raquel Lopes, Alemanha; e Ricardo Couto, Canadá). Seguem-se entrevistas a Diana Garcia (Reino Unido), Ricardo Barata (Países Baixos) e Cristiana Serra (Dinamarca). Os entrevistados abrangem desde a academia até à indústria, passando também por organismos da comissão europeia.

Os episódios lançados até à data já passam os 800 *downloads* e contam com uma média de 100 *downloads* nos primeiros 30 dias após ficarem disponíveis. A maioria dos ouvintes concentra-se em Portugal (60%), seguindo-se o Brasil (10%), mas os episódios já foram também ouvidos um pouco por toda a Europa, América do Norte e até África, Médio Oriente, Japão e Rússia.

Uma segunda temporada de mais seis episódios já se encontra em preparação, esperando-se o lançamento do primeiro episódio em abril. O *podcast* pode ser encontrado em todas as maiores plataformas de *podcast* ou através do *link* pod.link/1752511997. Inscrevam-se já para não perderem nenhum episódio!



Global Listener Locations
See where your listeners are located.



> **Pedro Vidinha**
pvidinha@iq.usp.br

> **Raquel Lopes**
raquel.lopes@ua.pt

> **Ricardo Couto**
rcouto@cosciensbio.com

Terceira Escola do Projeto Europeu *SupraLife* em Biomateriais Supramoleculares Multifuncionais

A terceira escola do projeto europeu *Twinning SupraLife* (Grant Agreement No. 101079482), intitulada "Biomateriais Supramoleculares Multifuncionais", decorreu na Universidade de Aveiro, entre os dias 9 e 14 de março de 2025.

Este evento contemplou um programa científico de excelência, de 9 a 11 de março, compreendendo 12 palestras plenárias proferidas por cientistas de reconhecido mérito a nível internacional e qualidade científica provenientes de oito países europeus: E. W. "Bert" Meijer (Universidade Tecnológica de Eindhoven, Países Baixos), Mark Tibbitt (ETH Zurich, Suíça), Matthew Baker (Universidade de Maastricht, Países Baixos), José Carlos Rodríguez-Cabello (Universidade de Valladolid, Espanha), Elisabeth Garanger (Universidade de Bordéus, França), Aránzazu del Campo (Instituto para Novos Materiais de Leibniz, Alemanha), Anna Rising (Instituto Karolinska, Suécia), Sandra Camareiro-Espinosa (POLYMAT, Espanha), Sander Wezenberg (Universidade de Leiden, Países Baixos), Sandra Van Vlierberghe (Universidade de Ghent, Bélgica), Laura De Laporte (Universidade de Aachen, Alemanha) e Cristina Barrias (Instituto de Investigação e Inovação em Saúde, Universidade do Porto, Portugal).

As palestras centraram-se em tópicos que incluíram hidrogéis poliméricos injetáveis, dinâmicos, adaptativos e com propriedades de autorreparação; biomateriais *soft* que respondem a múltiplos estímulos; (bio)materiais multifuncionais 3D e 4D (bio) impressos; biomateriais multi-escala/hierárquicos; superfícies e estruturas bioinstrutivas; sistemas moleculares e estruturas supramoleculares biomiméticas e bioinspiradas; e seu uso em nanomedicina, na libertação de fármacos, biossensores, engenharia de tecidos ou medicina regenerativa. O programa científico incluiu ainda apresentações orais e em painel por parte de estudantes e investigadores doutorados em início de carreira e contou com a presença de mais de 112 participantes. Foram atribuídos prémios à melhor apresentação oral (Cátia Monteiro, Universidade de Aveiro, Portugal), patrocinado pela empresa Metatissue, *spin-off* da Universidade de Aveiro, e às três melhores comunicações em painel (Hugo Brummer, Universidade de Groningen, Países Baixos; Chloé Manseau, Universidade de Bordéus, França; Andreia Malafaia, Universidade de Aveiro, Portugal), as quais foram patrocinadas pelas revistas científicas *Journal of Materials Chemistry B*, *Biomaterials Science*, *Chemical Communications* e *Materials Advances* da *Royal Society of Chemistry*.

O programa científico incluiu uma atividade



Participantes presentes no programa científico da terceira escola do projeto *SupraLife*.

intitulada "*Meet the Mentor*" na qual os palestrantes plenários foram convidados a partilhar as suas carreiras e experiências de investigação e a interagir e responder às curiosidades dos jovens cientistas, em ambiente informal, durante o período de almoço.

O evento acolheu também a 3.ª edição do programa de formação em competências transversais e transferíveis, de 12 a 14 de março, que contou com a presença de 27 oradores convidados e de mais de 345 participantes inscritos. Este programa teve como objetivo contribuir para a capacitação, desenvolvimento profissional, assim como para impulsionar e alargar as perspetivas de carreira de estudantes e investigadores em início de carreira, independentemente da sua área de formação e domínio de investigação. Este programa foi desenvolvido pela equipa do projeto europeu *SupraLife* em colaboração com dois outros projetos europeus *Twinning –EPIBOOST* (Grant Agreement No. 101078991) e *FONDA* (Grant Agreement No. 101079134) – e com o projeto europeu *ERA Chair BESIDE* (Grant Agreement No. 951389), todos vigentes e coordenados pela Universidade de Aveiro, e incluiu *workshops* e painéis de discussão em tópicos subordinados aos seguintes temas: procura de emprego em ciência; dicas de como estruturar um CV para a indústria; caminhos para a liderança; caminhos para ser bem-sucedido; *networking* e desenvolvimento de carreira; o poder do voluntariado no avanço da carreira; regeneração em ação para um bem maior; uso das redes sociais para comunicar ciência; gestão de inovação; ferramentas de inteligência artificial e seus benefícios na investigação.

Os participantes salientaram, à semelhança das

primeira e segunda escolas, a excelência do evento, a oportunidade de aprenderem, partilharem os seus trabalhos e interagirem com palestrantes de renome internacional no domínio dos biomateriais supramoleculares multifuncionais, assim como a mais-valia dos *workshops* em competências transversais e transferíveis para o seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Mais informação acerca deste evento pode ser obtida em supralife.eu/thirdschool.

>

João Borges

supralife@ciceco.ua.pt

Prémios Fraústo da Silva e Ferreira da Silva e Medalha Vicente de Seabra

O Prémio Fraústo da Silva 2025 foi atribuído ao Prof. João Carlos Matias Celestino Gomes da Rocha, Professor Catedrático na Universidade de Aveiro. O Prémio Ferreira da Silva 2024 foi atribuído ao Prof. Artur Manuel Soares da Silva, Professor Catedrático na Universidade de Aveiro. A Medalha Vicente de Seabra 2024 foi atribuída à Doutora Ana Rita Lado Teixeira Ribeiro, Investigadora Principal na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

João Rocha é Professor Catedrático no Departamento de Química da Universidade de Aveiro, Diretor do Centro Português de Ressonância Magnética Nuclear, Coordenador da Comissão Executiva do Conselho dos Laboratórios Associados, e representante nacional no *European Commission Technology Council for Advanced Materials*. Fundou e dirigiu o Instituto de Materiais de Aveiro-CICECO de 2002 a 2021. Doutorou-se em 1990 pelo *Department of Chemistry* da *University of Cambridge*, Reino Unido, onde também realizou o pós-doutoramento. É membro da *European Academy of Sciences (EURASC)*, da *Académie Royale de Belgique*, da Academia das Ciências de Lisboa, e *Fellow* da *Royal Society of Chemistry* e da *Chemistry Europe*. Recebeu a Medalha de Mérito Científico do Ministério da Educação, Ciência e Inovação de Portugal (2024). A Sociedade Portuguesa de Química atribuiu-lhe os Prémios Fraústo da Silva (2025), Alberto Romão Dias (2021) e Ferreira da Silva (2016). Outras distinções incluem o Prémio Franco-Português da *Société Chimique de France* (2020) e o Prémio Madinabeitia-Lourenço da *Real Sociedad Española de Química* (2015). Coordena o painel de *Materials Engineering CoG* do *European Research Council*, e integra a *Commission on Inorganic and Mineral Structures* e a *Commission on NMR Crystallography and Related Methods* of the *International Union of Crystallography (IUCr)*. Publicou mais de 550 artigos científicos com cerca de 25500 citações, tendo um índice de Hirsch (h-index) de 74, e detém cinco patentes. Orientou 80 pós-doutorados e doutorandos. Foi consultor de várias empresas e coordenador de dezenas de projetos científicos. É reconhecido por ter alargado as fronteiras da ciência dos materiais nanoporosos, através da conceção de silicatos zeolíticos contendo metais de transição e lantanídeos. Foi pioneiro na aplicação destes materiais



João Rocha
Prémio Fraústo da
Silva 2025



Artur Silva
Prémio Ferreira da
Silva 2024



Ana Rita Lado
Medalha Vicente de
Seabra 2024

em áreas como a luminescência, catálise, adsorção e separação de gases, troca iónica, magnetismo e como agentes de contraste em ressonância magnética nuclear. Um dos zirconossilicatos que desenvolveu foi convertido num fármaco para o tratamento do excesso de potássio no sangue, atualmente disponível nos mercados europeu e norte-americano, incluindo em hospitais portugueses. Desenvolveu, também, redes metalo-orgânicas (MOFs) luminescentes com aplicações em nanotermometria, bem como MOFs condutoras para baterias de iões de lítio. Mais recentemente, tem-se dedicado ao desenvolvimento de materiais híbridos orgânico-inorgânicos, nomeadamente ferroelétricos fotorresponsivos para novas gerações de memórias. Foi pioneiro no desenvolvimento de técnicas de RMN no estado sólido para o estudo de núcleos quadrupolares. Em 2024, publicou o livro de poemas *Arte Rupestre (Opera Omnia)*.

Artur M. S. Silva é licenciado em Química-Física (para o Ensino), doutorado em Química Orgânica, e é atualmente Professor Catedrático no Departamento de Química da Universidade de Aveiro. Foi Professor Convidado na Universidade de Metz, na Universidade Paul Verlaine e na Universidade de Le Havre, todas em França. Desempenhou funções como Presidente do Departamento de Química e como Presidente do Conselho da Escola Doutoral. Atualmente, é Presidente do Conselho Científico e Vice-Reitor para a Investigação, Inovação, Escola Doutoral e Acreditação de Programas de Estudos da Universidade de Aveiro. Foi Diretor de vários programas de estudo (Licenciatura, Mestrado e Doutoramento) e continua a ser Diretor-Adjunto do Programa Doutoral em Química Sustentável (um programa conjunto com as

Universidades do Porto e Nova de Lisboa). Foi Presidente da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) entre julho de 2016 e fevereiro de 2023 e exerceu os cargos de Vice-Presidente e Presidente do Conselho Fiscal da SPQ. Além disso, foi Presidente (dois mandatos de dois anos) e Vice-Presidente (dois mandatos de dois anos) da Divisão de Química Orgânica da SPQ, bem como membro do Comité Diretivo da Divisão de Química Terapêutica durante dez anos. Representa Portugal na Divisão de Química Orgânica da EuChemMS e é membro eleito do Conselho Executivo da EuChemS desde 2017. Foi Diretor do centro de investigação QOPNA (Química Orgânica, Produtos Naturais e Alimentos), que conta com cerca de 150 investigadores, e atualmente é Vice-Diretor do Laboratório Associado para a Química Verde (LAQV), um centro de investigação com aproximadamente 1000 investigadores, envolvendo principalmente a Universidade do Porto, a Universidade Nova de Lisboa e a Universidade de Aveiro. Durante vários anos, integrou o painel de avaliação de bolsas individuais da FCT, tendo sido Presidente desse painel em 2019 e 2020. Foi também Presidente de vários encontros científicos nacionais e internacionais, incluindo o Congresso Europeu de Química (EuChemS), realizado em Lisboa em 2022. Publicou mais de 900 artigos científicos indexados (SCI), um e-book, 58 capítulos de livros, apresentou mais de 68 palestras em encontros científicos e é coautor de cinco patentes. As suas publicações contam com cerca de 26000 citações e um índice de Hirsch (*h-index*) de 70. Supervisionou 19 bolsiros de pós-doutoramento, 42 estudantes de doutoramento e 43 de mestrado. Participou em 42 projetos financiados por instituições portuguesas e europeias, além de oito projetos bilaterais financiados em colaboração com grupos de investigação europeus. A sua intensa atividade científica reflete-se também na sua participação em numerosas conferências nacionais e internacionais, onde tem sido convidado como orador principal e plenário. É membro da Academia Europeia de Ciências e da *Chemistry Europe* desde 2017, membro correspondente da Academia das Ciências de Lisboa e membro da Real Academia Espanhola de Ciências, tendo recebido diversas distinções e prémios. Os seus interesses de investigação abrangem a química de compostos polifenólicos e heterocíclicos nitrogenados, com especial

ênfase no desenvolvimento de novas rotas sintéticas sustentáveis, incluindo transformações organocatalíticas e catalisadas por metais. Destaca-se a aplicação do aquecimento óhmico como um processo alternativo para síntese química. Um segundo foco da sua investigação é a extração e caracterização estrutural de produtos naturais de diversas fontes terrestres e marinhas, apoiando-se na sua vasta experiência em espectroscopia de RMN. O terceiro eixo da sua investigação centra-se na síntese de compostos heterocíclicos biologicamente ativos contendo oxigénio e nitrogénio, bem como na avaliação das suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antitumorais e antimicrobianas, em colaboração com grupos de investigação nacionais e internacionais.

Ana Rita Lado Ribeiro é Investigadora Principal no LSRE-LCM (FEUP) e Editora Executiva da revista *Chemical Engineering Science* (Elsevier) e Editora de edições especiais da *Chemical Engineering Journal Advances* (Elsevier). É coautora de mais de 250 publicações, incluindo dez capítulos em livros ou séries de livros com revisão por pares, mais de 90 artigos em revistas internacionais indexadas na ISI e mais de 150 comunicações em atas de conferências, tendo um índice de Hirsch (*h-index*) de 41. Tem experiência na liderança de projetos, incluindo um *Starting Grant* do Conselho Europeu de Investigação (ERC) (*ERA-ARE*, Ref. 101039270), bem como projetos financiados a nível nacional (*STAR*, Ref. 2022.02842.PTDC, em curso; *SAMPREP*, Ref. POCI-01-0145-FEDER-030521, concluído). Além disso, participou como membro da equipa em diversos projetos de investigação nacionais e internacionais e é representante de Portugal no Comité de Gestão da Ação COST *Water4Reuse (Mainstreaming water reuse into the circular economy paradigm*, Ref. CA23104).

As distinções serão entregues durante o XXIX Encontro Nacional da SPQ que se realizará em Coimbra de 20-23 de julho de 2025.

Mais informações sobre os prémios Fraústio da Silva e Ferreira da Silva e a Medalha Vicente de Seabra podem ser encontradas em spq.pt.

>

Paulo Mendes

pjgm@uevora.pt

Prémio Luso-Espanhol de Química/Conferência Lourenço-Madinaveitia 2024

O Prémio Luso-Espanhol de Química 2024, instituído pela Sociedade Portuguesa de Química e pela *Real Sociedad Española de Química*, foi atribuído ao Prof. Hermenegildo García Gómez, investigador e Professor Catedrático da *Universitat Politècnica de València* (UPV).

Hermenegildo García Gómez (Canals, 1957) é

professor catedrático da UPV e desenvolve a sua atividade de investigação no ITQ (UPV-CSIC). Ao longo da sua carreira científica, alcançou resultados importantes na conversão de energia solar em hidrogénio verde e combustíveis, através do desenvolvimento de fotocatalisadores, alguns deles baseados em grafenos.

O seu grupo de investigação cunhou o termo carbocatálise, que utiliza grafeno e seus derivados, preparados a partir de resíduos agrícolas, como catalisadores heterogéneos em processos químicos de conversão de CO₂ em metanol. Estes materiais também podem ser usados no armazenamento de energia elétrica em supercondensadores. A nível internacional, destacou-se na catálise heterogénea com catalisadores porosos e nanopartículas, contribuindo para áreas como a fotocatalise, a catálise com nanopartículas de ouro e os combustíveis solares. Com mais de 950 artigos publicados em revistas de alto impacto, o seu trabalho acumula mais de 81 000 citações e um índice h de 136. Foi reconhecido como *Highly Cited Researcher* durante 12 anos consecutivos e figura entre os cientistas mais citados mundialmente nas áreas de Química, Ciência dos Materiais e Ciências Ambientais. Entre os seus numerosos reconhecimentos destacam-se o

Prémio Nacional de Investigação Enrique Moles (2021), o Prémio Rei Jaime I em Novas Tecnologias (2016), a Medalha da Real Academia de Ciências de Espanha (2023), a *ERC Advanced Grant* (2024) e o *Yueqi Award* da Universidade de Mineração e Tecnologia da China (2021). Além disso, foi distinguido como Doutor *Honoris Causa* pela Universidade de Bucareste e é Professor Honorário da Universidade Rei Abdulaziz desde 2015. Mais informações sobre este prémio em spq.pt/premios/luso-espanhol.



>

Paulo Mendespjgm@uevora.pt

Armando Pombeiro Eleito Membro da Academia Brasileira de Ciências

Armando Pombeiro, Professor Catedrático Jubilado do Instituto Superior Técnico, foi eleito Membro Correspondente da Academia Brasileira de Ciências durante a Assembleia Geral ordinária deste organismo, que teve lugar a 29 de novembro de 2024.

A admissão oficial dos novos membros ocorreu a 1 de janeiro de 2025. Os membros titulares e correspondentes irão receber os seus diplomas durante a Reunião Magna da Academia Brasileira de Ciências, que decorrerá entre 6 e 8 de maio de 2025, no Rio de Janeiro, Brasil.

Mais detalhes acerca da eleição disponíveis em: abc.org.br/2024/11/29/novos-membros-da-abc-eleitos-em-2024.



>

Bruno Machadobrunofm.feup@gmail.com

Prémio Jovem Investigador FISOCAT 2024 atribuído a Mirtha Lourenço

Mirtha Lourenço, investigadora do CICECO, é a vencedora da edição de 2024 do Prémio Jovem Investigador FISOCAT 2024, atribuído pela Federação Ibero-Americana de Sociedades de Catálise, representada em Portugal pela Divisão de Catálise e Materiais Porosos da SPQ. Este prémio reconhece a contribuição significativa de Mirtha Lourenço para a Ciência dos Materiais, particularmente no desenvolvimento de catalisadores para a catálise heterogénea. Esta é a segunda vez que o Prémio Jovem Investigador FISOCAT é atribuído a um investigador português, depois da sua atribuição ao investigador Adrián Silva, Universidade do Porto, em 2016.

O Prémio Investigador Sénior FISOCAT 2024

foi atribuído ao Dr. José Antonio Odriozola Gordon, Universidade de Sevilha, Espanha.

Os Prémios foram entregues no XXIX Congresso Ibero-Americano de Catálise (CICAT), que teve lugar em Bilbao (Espanha) entre 23 e 27 de setembro de 2024.

Mais informações acerca dos vencedores deste prémio disponíveis em fiq.unl.edu.ar/fisocat/premios3.htm.



>

Bruno Machadobrunofm.feup@gmail.com

Prémio IUPAC 2025 Mulheres Notáveis em Química ou Engenharia Química

Para celebrar o Dia Internacional das Mulheres e Raparigas na Ciência a 11 de fevereiro, a IUPAC anunciou as premiadas do IUPAC 2025 Mulheres Notáveis em Química ou Engenharia Química. As galardoadas foram: Yu-Ju Chen, *Institute of Chemistry, Academia Sinica*, China/Taipei; Stefanie Dehnen, *Karlsruhe Institute of Technology*, Alemanha; Hemda Garelick, *Middlesex University*, Londres, Reino Unido; Marie-Claude Heuzey, *Polytechnique Montréal*, Canadá; Young-Shin Jun, *Washington University in St. Louis*, Missouri, EUA;

Tanja Junkers, *Monash University*, Melbourne, Austrália; Zhang Lin, *Central South University*, Hunan, China; Zhimin Liu, *Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences*, Pequim, China; Jane Catherine Ngila, *The African Foundation for Women and Youth in Education, Science, Technology & Innovation*, Nairobi, Quênia; Ah-Hyung Alissa Park, *UCLA Samueli School of Engineering, University of California*, Los Angeles, EUA; Vivian W. W. Yam, *The University of Hong Kong*, Hong Kong, China; e Xuehua Zhang, *University of Alberta*, Edmonton, Alberta, Canadá.



Este prémio, iniciado como parte das celebrações do Ano Internacional da Química de 2011, foi criado para reconhecer e destacar o trabalho de mulheres Químicas/Engenheiras Químicas em todo o mundo. Desde 2011, o prémio tem ganhado cada vez mais reconhecimento na comunidade global. As 12 premiadas foram selecionadas com base na excelência da sua investigação fundamental ou aplicada, realizações notáveis no ensino ou educação, liderança demonstrada ou excelência em gestão nas ciências químicas. A Comissão de Avaliação está particularmente interessada em candidatas com um histórico de liderança e/ou serviço comunitário ao longo das suas carreiras. A entrega dos prémios terá lugar durante o Congresso Mundial de Química da IUPAC em Kuala Lumpur, Malásia, em julho de 2025.

Mais informações acerca deste prémio disponíveis em: iupac.org/what-we-do/awards/iupac-distinguished-women.

>
Bruno Machado
 brunofm.feup@gmail.com

Prémio EuChemS no EUCYS Atribuído a Janis Bojko

Katowice, na Polónia, acolheu o Concurso Europeu para Jovens Cientistas 2024 (EUCYS) entre 9 e 14 de setembro. Este concurso, criado em 1989 com o objetivo de promover a cooperação e o intercâmbio entre jovens cientistas e de os orientar para uma futura carreira no domínio da ciência e da tecnologia, é uma iniciativa da Comissão Europeia, que se realiza todos os anos numa cidade europeia diferente. O seu objetivo é promover a ciência entre os jovens com idades compreendidas entre os 14 e os 20 anos. Os participantes podem apresentar projetos em várias



disciplinas e os candidatos mais bem-sucedidos podem apresentar as suas investigações numa “feira de ciência” presencial.

Janis Bojko recebeu o prémio EUCYS 2024 para o melhor trabalho na categoria de Química pelo seu projeto “*Synthesis of new selective-dual inhibitors of cyclin-dependent kinases*”. A sua investigação visa desenvolver novos agentes biologicamente ativos que inibam o complexo de proteínas CDK4/6 e FLT3-ITD, que possam contribuir para o tratamento da Leucemia Mieloide Aguda (LMA). A síntese da

substância alvo foi alcançada através de uma sequência de reação em sete etapas. Seis dos oito compostos preparados são estruturas novas que ainda não foram descritas na literatura.

A lista de todos os vencedores pode ser consultada em: euchems.eu/awards/euchems-eucys-award.

>

Bruno Machado

brunofm.feup@gmail.com

Prémio Internacional IUPAC-Zhejiang NHU de 2025 para Avanços em Química Verde

O Prémio Internacional IUPAC-Zhejiang NHU, atribuído bianualmente, foi estabelecido em 2019 para encorajar quer químicos jovens em início de carreira quer químicos mais experientes com uma carreira consolidada e realçar a importância dos avanços em Química Verde.

O Professor **Javier Pérez-Ramírez** do Departamento de Catálise e Bioengenharia Química do ETH Zurique, foi o vencedor do prémio para químico experiente, como reconhecimento das suas descobertas científicas feitas na produção sustentável de produtos químicos e energia. O seu trabalho sobre processos catalíticos inclui a descoberta de catalisadores de In_2O_3 para a síntese de metanol e eletrocatalisadores de níquel para a conversão de CO_2 em hidrocarbonetos de cadeia longa, bem como contribuições fundamentais para a reação de

formação do oxigénio e a eletrorredução do N_2 para a produção descentralizada de amoníaco. É pioneiro na utilização e desenvolvimento de ferramentas de *machine learning* e IA para acelerar a descoberta e a otimização de catalisadores.

Os vencedores do prémio de início de carreira foram:

- Dr. **Jianbin Li** da *Chinese University of Hong Kong*, Shenzhen, cujos principais interesses incluem o esgotamento dos recursos, a escassez de energia e a poluição ambiental utilizando o potencial da luz e das enzimas nas transformações químicas;
- Dr. **Philip Stanley** da *Technical University of Munich*, Alemanha, cujo trabalho se centra na produção de combustível solar como uma fonte promissora de energia sustentável a partir da luz solar, água e dióxido de carbono;
- Dr. **Sahel Fajal** do *Indian Institute of Science Education and Research*, Pune, Índia, cujo trabalho envolve a conceção e desenvolvimento de materiais porosos funcionais avançados e inovadores para a separação de produtos químicos tóxicos, em especial os que promovem a sustentabilidade ambiental.

A cerimónia de entrega dos prémios aos vencedores terá lugar no 50.º Congresso Mundial de Química da IUPAC (50WCC) 2025, que decorrerá em Kuala Lumpur, Malásia, entre 14 e 19 de julho de 2025, onde os vencedores terão a oportunidade de apresentar palestras convidadas. Adicionalmente, cada um dos vencedores do prémio terá a oportunidade de escrever uma breve revisão crítica sobre o seu tema para a revista *Pure and Applied Chemistry*.

>

Bruno Machado

brunofm.feup@gmail.com



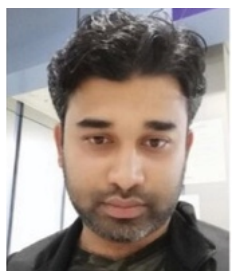
Jianbin Li



Javier Pérez-Ramírez



Philip Stanley



Sahel Fajal



Prêmios IUPAC 2025 em Química Analítica

A Divisão de Química Analítica da IUPAC atribui dois prêmios bianualmente a contribuições notáveis para o domínio da química analítica. A Medalha de Química Analítica da IUPAC reconhece as realizações ao longo da vida em qualquer domínio da química analítica, evidenciadas por contribuições de investigação sustentadas e extraordinárias, pelo envolvimento ativo em parcerias internacionais e pelo empenho na formação da próxima geração de químicos analíticos. O Prémio IUPAC para Inovadores Emergentes em Química Analítica reconhece as realizações de investigação excepcionais de um cientista em início de carreira no domínio da Química Analítica. Ambos os prêmios serão entregues durante a Assembleia Geral da IUPAC em julho de 2025.

Graham Cooks, Professor de Química, *Purdue University*, EUA, recebeu a Medalha IUPAC em Química Analítica de 2025 como reconhecimento dos resultados da sua investigação ao longo da vida no domínio da espectrometria de massa, incluindo fenómenos fundamentais, instrumentação e aplicações analíticas, e da sua orientação de 156 estudantes de doutoramento, para além de cerca de 200 bolseiros de pós-doutoramento e visitantes científicos de longa duração.

Anna Regoutz, Professora Associada de Química Inorgânica Experimental, *University of Oxford*, Reino Unido, recebeu o Prémio de Inovador Emergente em Química Analítica de 2025 pela sua liderança de uma equipa interdisciplinar de investigadores que estuda a relação entre estrutura e estrutura eletrónica de sólidos inorgânicos com o objetivo de integrar esses materiais em dispositivos optoeletrónicos.

Mais informações disponíveis em: iupac.org/the-2025-awards-in-analytical-chemistry.

>

Bruno Machado

brunofm.feup@gmail.com

A EuChemS Dá as Boas-vindas aos Seus Mais Recentes Membros

A EuChemS dá as boas-vindas à Sociedade de Químicos-Físicos da Sérvia e à Sociedade Química da República da Moldava, cujos pedidos de adesão foram aprovados durante a Assembleia Geral de 2024. Estas Sociedades juntaram-se oficialmente à EuChemS como Sociedades-Membro a 1 de janeiro de 2025, reforçando ainda mais a representação da EuChemS em toda a Europa.

>

Bruno Machado

brunofm.feup@gmail.com



Prémio Paolo Franzosini e Prémio Christo Balarew 2024

Prémio Franzosini

No ano de 2024 foram atribuídos dois Prémios Franzosini. Os vencedores foram Cezary Gumiński, da Universidade de

Varsóvia, Polónia, e Christian Ekberg, da Universidade de Gotemburgo, Suécia. Os vencedores do Prémio Franzosini foram anunciados durante o 21st *International Symposium on Solubility Phenomena and Related Equilibrium Processes (ISSP21)*, onde cada um fez uma apresentação oral. Cezary Gumiński falou sobre “*My adventures with the solubility data*”, enquanto Christian Ekberg falou sobre “*Uncertainty and sensitivity analysis of chemical modelling and experiments*”.

Cezary Gumiński é um químico polaco que estudou e completou toda a sua carreira académica na Universidade de Varsóvia. Tem sido um membro ativo da IUPAC desde 1984, com uma contribuição extraordinária, tendo editado e/ou contribuído para nove volumes da Série de Dados de Solubilidade, estando um décimo em preparação, e nos últimos anos tem estado também envolvido na avaliação crítica de dados de equilíbrio de sistemas homogêneos.

Christian Ekberg é um químico sueco que estudou e fez a sua carreira académica na Universidade de Tecnologia de Chalmers, Gotemburgo. Colaborou em projetos da IUPAC, principalmente na Divisão de Química e Ambiente. Ao longo da sua carreira, estudou e publicou vários trabalhos na área da solubilidade e equilíbrio químico, fundamentalmente em sistemas geológicos relacionados com a química dos actínidos.

O Prémio Franzosini foi criado em 1988 durante a 14.ª reunião anual da Comissão de Dados de Solubilidade, realizada em Guildford, Surrey, em conjunto com o 3.º Simpósio Internacional sobre Fenómenos de Solubilidade (ISSP). Atualmente, o Prémio Franzosini visa reconhecer contribuições excecionais e sustentadas para o domínio da avaliação crítica de dados em solubilidade e equilíbrios químicos.

Prémio Christo Balarew

A 1.ª edição do Prémio Christo Balarew para Jovens Cientistas foi atribuído a Märt Lõkov da *University of Tartu*, Estónia. O prémio foi anunciado durante o ISSP21, onde Märt fez uma apresentação oral intitulada “*Relative pK_a measurements in non-aqueous solvents*”. O trabalho de Märt Lõkov sobre o equilíbrio ácido-base e o estudo dos valores de pK_a em soluções não aquosas colocou-o entre os principais investigadores no seu domínio de investigação.



Clara Magalhães (Presidente do SSED - Subcommittee on Solubility and Equilibrium Data), Magdalena Bendová (Presidente da Comissão dos Prémios SSED) e Cezary Gumiński, galardoado com o Prémio Franzosini 2024. Christian Ekberg à direita.



O Prémio Christo Balarew foi instituído em 2023 por Christo Balarew, professor búlgaro de Química Inorgânica no Instituto de Química Geral e Inorgânica da Academia de Ciências da Bulgária, em Sófia, Bulgária, apoiante entusiástico do Projeto de Dados de Solubilidade e profundamente envolvido nas atividades da IUPAC. Este prémio é administrado pelo Subcomité de Dados de Solubilidade e Equilíbrio (*Subcommittee on Solubility and Equilibrium Data*, SSED) da IUPAC, e é atribuído anualmente para reconhecer um jovem cientista promissor que trabalhe em solubilidade e/ou equilíbrio químico.

>
Bruno Machado
 brunofm.feup@gmail.com

Publicação do Anuário EuChemS 2024

A EuChemS lançou oficialmente o seu Anuário 2024, que oferece uma visão abrangente dos esforços, atividades e impacto da organização ao longo do ano. O Anuário fornece um resumo detalhado dos principais eventos, contribuições políticas, prémios e comunicações que moldaram o trabalho da EuChemS em 2024. A publicação reflete o compromisso da organização em apoiar a comunidade química, promover a colaboração científica e fazer avançar o papel da Química na abordagem dos desafios globais.

Ao longo de 2024, a EuChemS continuou o seu trabalho de construir pontes entre as comunidades científicas de toda a Europa, encorajando a colaboração, partilhando conhecimentos e defendendo a integração da Química nas políticas da ciência, da educação e da indústria. Este ano, a organização também desempenhou um papel essencial em vários eventos e conferências,

proporcionando uma plataforma para os peritos discutirem questões e oportunidades emergentes no domínio da Química e da política científica.

O anuário de 2024, bem como todos os anteriores, está disponível online em: euchems.eu/about-us/year-books.



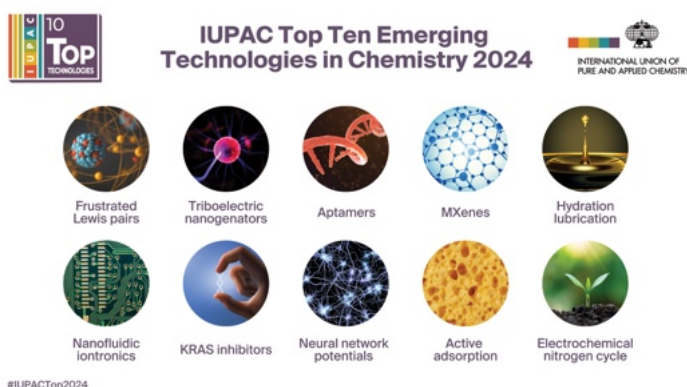
>
Bruno Machado
 brunofm.feup@gmail.com

IUPAC Anuncia as Dez Principais Tecnologias Emergentes em Química de 2024

A União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) divulgou os resultados da sua pesquisa de 2024 para as dez principais tecnologias emergentes em Química. O objetivo deste projeto é demonstrar o valor da Química e informar o público em geral sobre como as ciências químicas contribuem para o bem-estar da sociedade e para a sustentabilidade do Planeta. Desde 2019, o júri seleciona tecnologias emergentes entre novas descobertas científicas e tecnologias comercializadas, e aquelas com maior capacidade de abrir novas oportunidades em áreas onde a Química desempenha um papel fundamental. Os finalistas de 2024 são, por ordem alfabética: Adsorção Ativa; Aptâmeros; Ciclo eletroquímico do nitrogênio; Inibidores de KRAS; Lubrificação por hidratação; MXenes; Nanofluídica Iontrônica Bioinspirada; Nanogeradores Triboelétricos; Pares de Lewis Frustrados; Potenciais de Rede Neuronal.

As dez principais tecnologias emergentes em Química de 2024 encontram-se detalhadas num artigo publicado na edição de outubro da revista *Chemistry International*. Este pode ser acessado gratuitamente em degruyter.com/document/doi/10.1515/ci-2024-0403/html.

A primeira edição foi lançada em 2019 como uma atividade especial e de homenagem ao 100.º aniversário da IUPAC. A edição de 2025 já começou e a nomeação pode ser feita em iupac.org/the-top-ten-emerging-technologies-in-chemistry-call-for-proposals-for-2025. Para obter mais informações, consulte iupac.org/what-we-do/top-ten.



#IUPACTop2024

>

Bruno Machadobrunofm.feup@gmail.com

Chemistry Europe Lança Uma Nova Revista: ChemFoodChem

A revista ChemFoodChem foi criada para servir de plataforma aos mais recentes avanços na química alimentar, fazendo a ponte entre a química e a ciência alimentar.

Esta novidade no portefólio da *Chemistry Europe* irá publicar artigos de investigação em áreas como a química alimentar, nutrição, biotecnologia alimentar, segurança alimentar, química analítica, tecnologias alimentares sustentáveis e química agrícola.

A ChemFoodChem é uma revista de acesso livre e publicará anualmente quatro números.

Victor Freitas (Presidente da Delegação do Porto da SPQ, Professor Catedrático da Universidade do Porto), que estuda a caracterização estrutural e físico-química dos polifenóis – particularmente a sua estabilidade e interações com macromoléculas como as proteínas e os hidratos de carbono em contextos sensoriais e nutricionais – destacou a importância da nova revista. Salientou que a ChemFoodChem “criará um espaço editorial científico único e prestigiado para mostrar a química e as disciplinas relacionadas com a ciência alimentar”. A recém lançada ChemFoodChem é liderada por um conselho consultivo de investigadores internacionais, incluindo, além de Victor



Freitas, Markus Fischer, da Universidade de Hamburgo, Alemanha, e Irena Vovk, do Instituto Nacional de Química, Liubliana, Eslovénia.

Mais informações sobre a nova revista disponíveis em: chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/journal/25109936.

>

Bruno Machadobrunofm.feup@gmail.com

António Joaquim Ferreira da Silva (1853–1923)

António Joaquim Ferreira da Silva nasceu em Couto de Cucujães (Oliveira de Azeméis), em 28/07/1853. Fez os estudos secundários no Porto, de 1865 a 1870. Nesse mesmo ano matriculou-se na Academia Politécnica e no Instituto Industrial, mas no ano seguinte inscreveu-se também no 1.º ano do Seminário episcopal, para seguir a carreira eclesiástica, como era vontade de seus pais. No entanto, o apelo das ciências foi mais forte e, em 1872, matriculou-se na Universidade de Coimbra, concluindo o Bacharelato em Filosofia em 1876, tendo sido um aluno distinto e premiado em todos os anos do curso. Em 1877, tomou posse como lente substituto da Academia Politécnica, após concurso em que apresentou a tese *Estudo sobre as classificações químicas dos compostos orgânicos*. Três anos depois tornou-se lente proprietário da cadeira de Química Inorgânica e Orgânica e, a partir de 1885, passou a reger a nova cadeira de Química Orgânica e Analítica. O laboratório de química era, nessa época, partilhado com o Instituto Industrial, que funcionava no mesmo edifício da Academia Politécnica; apesar das condições precárias, foi nesse laboratório que Ferreira da Silva realizou os seus primeiros trabalhos de química analítica. Desde cedo, cuidou de escrever manuais para estudo dos alunos, nomeadamente o seu *Tratado de Química Elementar* (1.º volume, *Química Mineral*, publicado em 1884 e o 2.º volume, *Química Orgânica*, em 1888); mais tarde publicou os *Rudimentos de Química Analítica* (1894), e *Primeiros Elementos de Química Analítica* (1.º volume, *Análise Qualitativa*, em 1895; 2.º volume, *Análise Quantitativa*, em 1897).

Em 1880, foi um dos fundadores da “*Sociedade de Instrução do Porto*”, em cuja revista passou a colaborar assiduamente, e foi eleito sócio correspondente do “*Instituto*” de Coimbra. Nesse mesmo ano, a Câmara Municipal do Porto encomendou-lhe o estudo das águas do rio Sousa, tendo em vista o abastecimento de água à cidade, a que o seu “*Relatório sobre a água do rio Sousa e os mananciais e fontes da cidade do Porto*”, publicado em 1881, deu resposta. No ano seguinte, foi convidado para supervisionar a instalação do “*Laboratório Municipal de Química*” (LMC), cuja missão principal seria fiscalizar a qualidade dos géneros alimentares. Desde a abertura (em 1884) até ao seu polémico encerramento (em 1907), o LMC foi sempre dirigido por Ferreira da Silva, tendo como principais colaboradores Alberto de Aguiar (licenciado pela Escola Médico-Cirúrgica do Porto, da qual viria



■ Fotografia de António Joaquim Ferreira da Silva (ca. 1898) [Arquivo da família Brito].

a ser professor) e José Pereira Salgado (que mais tarde foi professor de química na FCUP e na FEUP, e Reitor da UP). O LMC passou a dar resposta a todo o tipo de solicitações, realizando análises químicas bromatológicas, sanitárias, hidrológicas, toxicológicas, clínicas, agrícolas, comerciais e industriais. Em 1888, foi também instalado um “*Posto Photométrico*”, financiado pela Companhia do Gás, para análise do gás de iluminação e das suas emissões.

Foi no LMC que Ferreira da Silva desenvolveu métodos analíticos inovadores, que contribuíram para o seu reconhecimento além-fronteiras e para o prestígio da instituição. Destacam-se, pelo mediatismo que tiveram na época, e pelos notáveis avanços científicos alcançados, as análises toxicológicas no âmbito do “caso Urbino de Freitas” (1890-1893), e

as análises de vinhos supostamente adulterados pelo ácido salicílico (1900-1906). No primeiro caso, que ficou conhecido como “o crime da Rua das Flores”, as análises realizadas por Ferreira da Silva foram determinantes para estabelecer o envenenamento por meio de alcaloides como causa da morte do sobrinho do Dr. Urbino de Freitas (apesar de sempre se declarar inocente, Urbino de Freitas acabaria condenado pelo tribunal). No decurso da investigação, Ferreira da Silva aperfeiçoou os métodos então vigentes para a análise dos alcaloides, utilizando como reagente o sulfosselenito de amónio (que passou a ser conhecido como “reagente de Ferreira da Silva”). Estes trabalhos foram amplamente divulgados, com a publicação de vários artigos nas *Comptes Rendus* da Academia das Ciências de Paris e em revistas científicas nacionais, e estiveram na origem da reforma dos serviços médico-legais e do estabelecimento da Toxicologia Forense em Portugal. Na questão dos vinhos portugueses exportados para o Brasil, Ferreira da Silva conseguiu demonstrar que a presença de ácido salicílico (em concentrações muito diminutas) era natural, e não resultava de qualquer adulteração. As investigações minuciosas que levou a cabo foram comunicadas à Sociedade Química de Paris e à Academia das Ciências de Paris, e publicadas nas suas revistas, pelo que tiveram grande impacto a nível internacional. Verificou-se depois que o ácido salicílico também se encontrava nos vinhos franceses e em vários frutos, como os tomates, morangos e framboesas, o que motivou a revisão dos métodos usados na análise e fiscalização dos vinhos. Uma outra área em que o LMC se distinguiu foi a análise de águas, nomeadamente as águas minero-medicinais, tendo Ferreira da Silva publicado várias monografias detalhadas e artigos em revistas.

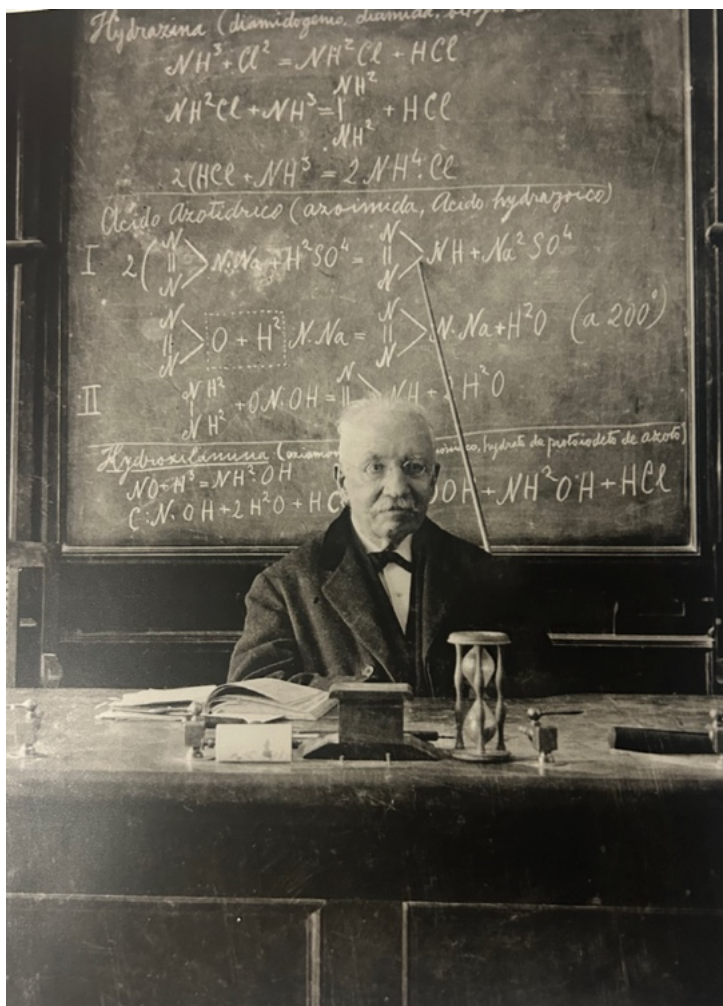
Uma das consequências do notável trabalho analítico desenvolvido por Ferreira da Silva foi a sua nomeação para integrar numerosas comissões técnicas e para representar o País em diversos congressos científicos internacionais. Em 1891, foi eleito sócio correspondente da Academia das Ciências de Lisboa, membro honorário da Sociedade Farmacêutica Lusitana e sócio honorário da Sociedade das Ciências Médicas de Lisboa. No ano seguinte, foi também eleito sócio correspondente da Sociedade Farmacêutica de Paris (já era sócio correspondente da Sociedade Química de Paris desde 1884). Foi ainda eleito sócio correspondente da Sociedade Química Alemã (*Deutsche Chemische Gesellschaft*, em 1893), da Real Academia de Ciências Exactas Físicas e Naturais de Madrid (1894), das Sociedades Químicas da Itália (1903) e da Bélgica (1905), da Sociedade de Farmácia de Paris (1905), da Sociedade Francesa de Física (1908), sócio honorário da Sociedade Espanhola de Física e Química (1909), sócio correspondente da *American*

Chemical Society (1910) e da *Accademia Pontificia dei Nuovi Lincei* (1911). A nível nacional, foi também eleito sócio honorário de numerosas associações científicas, nomeadamente nas áreas da medicina e da farmácia. Destaca-se ainda a sua eleição para a Câmara dos Pares em 1894, e o título de Conselheiro de Sua Majestade, que recebeu em 1902.

Entre as condecorações com que foi agraciado, destacam-se: Cavaleiro da Ordem Militar de Nossa Senhora da Conceição de Vila Viçosa (1882); Comendador da Ordem de S. Tiago (1886); Grã-Cruz da Ordem Civil Alphonso XII, do governo espanhol (1907); e Cavaleiro da Legião de Honra (França, 1908).

Em 1905, Ferreira da Silva e os seus colaboradores do LMC, Alberto de Aguiar e José Pereira Salgado, fundaram a *Revista de Chimica Pura e Applicada* (RCPA), e em 1911 criaram a “*Sociedade Chimica Portuguesa*”, da qual Ferreira da Silva foi o primeiro Presidente, sendo a RCPA assumida como Boletim da Sociedade. Nessa revista publicaria dezenas de

Última aula do Professor Ferreira da Silva (1923) [Arquivo da família Brito].



trabalhos científicos, além de notas biográficas e outras notícias de interesse.

Com o advento da República, foi criada a Universidade do Porto, em que Ferreira da Silva regeu não só a cadeira de Química Orgânica e Analítica, na Faculdade de Ciências, mas também cursos na Faculdade Técnica e na Escola de Farmácia, e ainda outros no Instituto Industrial. Em dezembro de 1922, antecedendo a sua jubilação, o Laboratório Químico passou a designar-se “Laboratório Ferreira da Silva”, e aí foi descerrado o seu busto em bronze, da autoria do escultor Teixeira Lopes. Na mesma data, a Câmara Municipal do Porto mudou a designação da “Rua da Academia” para “Rua Ferreira da Silva”.

Ferreira da Silva faleceu em Santiago de Riba-Ul em 23 de agosto de 1923. Em sua homenagem, a Revista de Química Pura e Aplicada dedicou-lhe a edição n.º 1-3 de 1924. Nesse mesmo ano, na localidade de Cucujães, foi erguido um busto em sua honra no largo do cemitério, em frente à casa onde nasceu. Além disso, a vila que o viu nascer eternizou o seu legado ao nomear o Agrupamento de Escolas Dr. Ferreira da Silva, pertencente ao município de Oliveira de Azeméis, que inclui a Escola Básica e Secundária Dr. Ferreira da Silva.

Em 1980, a Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), herdeira da Sociedade Química fundada por Ferreira da Silva e renascida em 1974 após um longo período de estagnação, instituiu o “Prémio Ferreira da Silva”, “para homenagear o químico português que, pela obra científica produzida em Portugal, tenha contribuído significativamente para o avanço da Química, em qualquer das suas áreas”. O prémio tem vindo a ser atribuído bianualmente desde 1982, contribuindo para manter viva a memória do ilustre químico e fundador da SPQ. Em 2010, antecedendo o início das comemorações do seu centenário, a Universidade do Porto elegeu Ferreira da Silva como a “figura eminente” desse ano, e promoveu a exposição “Ferreira da Silva: o Homem, o Professor, o Cientista”; e em outubro de 2023, iniciou um novo ciclo de comemorações em sua homenagem, que encerrou em junho de 2024, com destaque para a exposição “Ferreira da Silva – Química para a vida, uma vida de química”. Também a Sociedade Portuguesa de Química se associou às “Comemorações do Centenário” do seu fundador, em particular dedicando-lhe o n.º 174 (vol. 48, 2024) do boletim “Química”.

Ferreira da Silva foi um químico notável e um professor empenhado, que fez escola, contribuindo para o prestígio da sua Universidade e do seu País; mas procurou também fazer a apologia da ciência e do seu papel fundamental na resolução de problemas sociais de diversa índole. A Revista e a Sociedade

de Química que fundou são testemunho da sua visão e do seu labor em prol da ciência em geral e da Química em particular.

Obras de Ferreira da Silva

A *Revista de Química Pura e Aplicada*, no seu n.º 1-3 de 1924 (pp. 19-33), publicou uma lista exaustiva das obras de Ferreira da Silva. Aqui, limitamo-nos a referir alguns dos seus trabalhos mais marcantes.

- As águas do Rio Souza e os mananciaes e fontes da cidade do Porto, *Rev. Soc. Instr. Porto*, 10 (1881) 311-317; 11 (1881) 366-368; 12 (1881) 375-379.
- Sur une réaction caractéristique de la cocaïne, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 111 (1890) 348-349.
- Sur l'emploi du sélénite d'ammoniaque pour caractériser les alcaloïdes, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 112 (1891) 1266-1268.
- Sur une nouvelle réaction de l'éserine et une matière verte dérivée du même alcaloïde, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 117 (1893) 330-331.
- Sur la constitution des carbonyles métalliques. *Bull. Soc. Chim. Paris*, 15-16 (1896) 835-838.
- Le fluor dans les eaux minérales de Portugal et d'Espagne, *Bull. Soc. Chim. Paris*, 21 (1899) 887-890 (com Alberto d'Aguiar).
- Sur une cause d'erreur dans la recherche de l'acide salicylique dans les vins portugais, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 131 (1900) 423-424.
- A pesquisa e o doseamento do ácido salicílico nos vinhos, *O Instituto*, 48 (1901) 39-46.
- A pretendida salicilagem dos vinhos portugueses, *O Instituto*, 48 (1901) 556-563; 706-711; 782-786.
- A questão dos vinhos portugueses no Brasil, os trabalhos a que deu origem e a obra do Snr. Pellet (Resumo histórico). *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 6 (1906) 201-208.
- Le sulfosélénite d'ammoniaque reactif des alcaloïdes. Observations sur une note de Mecke. *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 5 (1906) 169-175.
- A utilidade, os intuítos e as esperanças da Sociedade Chimica Portuguesa, *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 1 (1912) 10-13.
- A importancia e dignidade da sciencia e as exigencias da cultura. Discurso pronunciado na sessão da abertura solemne da Universidade do Porto, no anno lectivo de 1911-1912. *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 3 (1912) 68-73; 4 (1912) 125-136; 5 (1912) 153-156.
- Sobre a constituição dos derivados metallicos do acetileno, *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 4 (1912) 103-122.
- O Laboratório Municipal do Pôrto em 1916. *Rev. Chim. Pura e Applic.*, 5-8 (1916) 219-237.
- A suposta salicilagem dos vinhos portugueses no Brasil (1900-1902): *Memorias, notas e documentos*. Coimbra: Imprensa da Universidade, 1919.

Agradecimentos

Agradeço ao colega Joaquim Faria, que me cedeu bibliografia e documentação diversa e que contribuiu com alguns apontamentos oportunos que vieram enriquecer o meu texto original, e a Bernardo Pereira Fernandes Abrunhosa de Brito, bisneto de Ferreira da Silva, que cedeu as fotografias e autorizou a sua publicação. Este trabalho foi suportado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC): LSRE-LCM, UIDB/50020/2020 (DOI: 10.54499/UIDB/50020/2020) e UIDP/50020/2020 (DOI: 10.54499/UIDP/50020/2020); e ALiCE, LA/P/0045/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0045/2020).

Nota

¹Curiosamente, 1911 foi um ano marcante para a cooperação internacional entre químicos e para a facilitação do trabalho da comunidade científica. No dia 11 de abril ocorreu em Paris a reunião da Associação Internacional das Sociedades Químicas (IACS), durante a qual foram formuladas e amplamente difundidas diversas propostas de cooperação internacional, que serviram de base para a criação da IUPAC, oito anos depois, e possivelmente influenciaram a fundação da *Sociedade Química Portuguesa* em dezembro daquele mesmo ano.

Bibliografia

Henri Pellet, *O ácido salicylico e a questão dos vinhos portugueses no Brasil em 1900*. Coimbra: Imprensa da Universidade, **1906**. (tradução da obra original publicada pela Univ. Harvard, vertida para português, prefaciada e ampliada por A. J. Ferreira da Silva).

Alberto de Aguiar, Notas biográficas do Dr. António J. Ferreira da Silva, *Rev. Chim. Pura e Applic.* **1924** 1-3, 11-33.

António P. Forjaz, A vida dum Homem: Ferreira da Silva (1853-1923), *O Instituto* **1925**, 72, 481-502.

João L. L. C. Oliveira Cabral, *História da análise química no Porto*, in: "História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal", 1.º vol., 435-453. Academia das Ciências de Lisboa, **1986**.

Marisa Monteiro, Luís Bernardo, The "Ferreira da Silva" Chemistry Laboratory: a valuable asset in a university collection. *University Museums and Collections Journal* **2012**, 5, 31-38.

Jorge F. Alves, Rita C. Alves, A. J. Ferreira da Silva: nos caminhos da química. Porto: Universidade do Porto Edições, **2013**.

R. J. Dinis-Oliveira, *Forensic Sci. Res.* **2019**, 4, 69-81. DOI: 10.1080/20961790.2018.1534538.

J. Ferraz-Caetano, *Revista Brasileira de História da Ciência* **2022**, 15, 108-119. DOI: 10.53727/rbhc.v15i1.708

Marisa Monteiro, Célia Cruz (coord.), Catálogo da Exposição "Ferreira da Silva: Química para a vida, uma vida de química", FCUP, **2024**.

>

José Luís Figueiredo

LSRE-LCM – Laboratory of Separation and Reaction Engineering – Laboratory of Catalysis and Materials, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

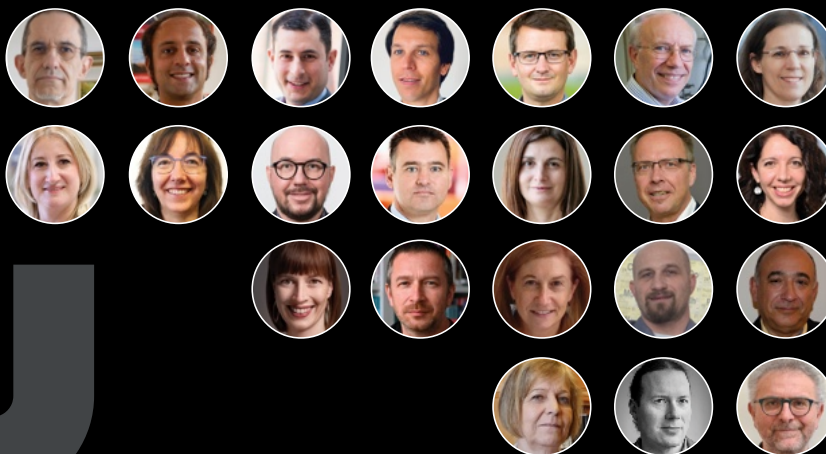
ALiCE – Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

jlf@fe.up.pt

 **Chemistry
Europe**

European Chemical
Societies Publishing

Please join us in congratulating
Chemistry Europe Fellows Class 2022/2023

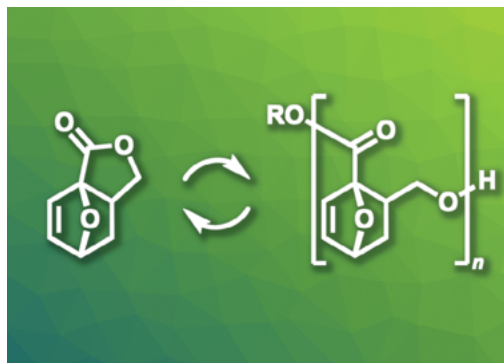


Polímero de Base Biológica Adequado para a Reciclagem Química em Circuito Fechado

As quantidades cada vez maiores de resíduos de plástico constituem um problema ambiental importante. Alguns materiais poliméricos podem ser reciclados por métodos mecânicos, enquanto outros são adequados para reciclagem química, na qual os monómeros ou outras pequenas moléculas são obtidos a partir do polímero e depois reutilizados como matéria-prima. Idealmente, os novos materiais poliméricos devem ser concebidos tendo em conta a possibilidade de reciclagem em fim de vida e formados, de modo eficiente, a partir de carbono renovável, condições fundamentais para a transição para uma economia circular de plásticos. Por exemplo, a polimerização por abertura do anel de lactonas fundidas é um método promissor para a produção de poliésteres recicláveis, mas pode ser difícil “encontrar” monómeros de lactona de origem biológica adequados.

A. Thevenon, P. C. A. Bruijninx (Universidade de Utrecht, Países Baixos) e colegas utilizaram, como monómero, uma γ -butirolactona tricíclica de base biológica com uma unidade de oxanorborneno para preparar um poliéster reciclável quimicamente. Este monómero pode ser sintetizado, com rendimentos elevados, a partir de álcool alílico e de furfural, ambos de baixo custo e que podem ser obtidos a partir de fontes renováveis. Os investigadores verificaram que este monómero sofreu uma polimerização rápida e controlada, permitindo também a despolimerização química para reciclagem. O poliéster desejado foi formado com baixa dispersão e com pesos moleculares controláveis.

O polímero obtido é adequado para modificações posteriores à polimerização, permitindo aos investigadores a possibilidade de ajustar as suas propriedades. Como exemplo, descobriram que a hidrogenação do



Crédito: ChemistryViews

grupo alceno aumentou significativamente a estabilidade térmica (em mais de 100 °C) do polímero. Outros derivados do monómero podem também ser utilizados para formar polímeros com propriedades ajustáveis. Assim, o polímero desenvolvido pode servir de modelo para uma família de possíveis novos polímeros, recicláveis e de base biológica.

Fontes

Biobased Polymer Is Suitable for Closed-Loop Chemical Recycling, chemistryviews.org/biobased-polymer-is-suitable-for-closed-loop-chemical-recycling (acedido em 18/12/2024).

E. Harsevoort, R. C. Cioc, M. Lutz, A. Thevenon, P. C. A. Bruijninx, *J. Am. Chem. Soc.* **2024**, 146, 34628–34637. DOI: 10.1021/jacs.4c12678.

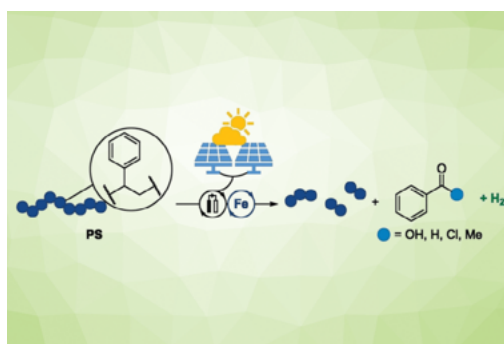
>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Reciclagem de Carbono: Alternativa Sustentável ao Resíduo Plástico

Os plásticos são indispensáveis e incontornáveis na vida quotidiana, mas as grandes quantidades de resíduo plástico acumuladas em aterros e na natureza, nomeadamente em cursos de água, ameaçam a vida selvagem e o ambiente, constituindo um problema tão significativo quanto os benefícios que oferecem. Dado que o plástico reciclado constitui menos de 10% de todo o plástico produzido mundialmente, prevê-se que em 2025 esta “pilha” de plástico atinja 40 mil milhões de toneladas. A nível mundial, cerca de 33% do material depositado em aterros é constituído por poliestireno (PS), muito utilizado em embalagens e



Crédito: ChemistryViews

na construção, sendo apenas reciclado cerca de 1%. A capacidade de produção mundial de poliestireno atingiu 15,4 milhões de toneladas em 2022 e continua a aumentar. A reciclagem de plásticos, em particular do poliestireno, é um dos maiores desafios sociais atuais. O desenvolvimento de métodos de reciclagem eficientes e económicos que convertam os resíduos de plástico em pequenas moléculas importantes que possam ser utilizadas em síntese química é crucial para uma economia circular do carbono.

L. Ackermann (*Wöhler Research Institute for Sustainable Chemistry*, Göttingen, Alemanha) e colegas desenvolveram um método eletrocatalítico para a degradação eficiente de poliestireno. A degradação produz uma fração relativamente elevada de produtos monoméricos de benzoílo, que podem ser usados como materiais de partida em processos químicos e, ainda, algumas cadeias poliméricas curtas. A chave para o sucesso deste processo reside num catalisador à base de ferro, um complexo de porfirina de ferro que se assemelha à hemoglobina, o qual é barato, não tóxico e de fácil obtenção. Durante o processo eletrocatalítico, o complexo de ferro alterna entre diferentes estados de oxidação (IV, III e II).

O potencial deste novo método de eletrocatalise foi demonstrado pela degradação eficiente de resíduos plásticos à escala de um grama. Este processo de degradação do poliestireno pode ser totalmente alimentado com eletricidade proveniente de painéis solares disponíveis no mercado. Além disso, durante o processo de degradação ocorre uma reação secundária útil: a produção de hidrogénio. Desta forma, este novo processo eletrocatalítico, que pode ser facilmente transposto para uma escala industrial (*scale up*), combina a reciclagem eficiente de plástico com a produção descentralizada e ecológica de hidrogénio.

Fontes

Carbon Recycling Instead of Plastic Trash, chemistryviews.org/carbon-recycling-instead-of-plastic-trash (acedido em 18/12/2024).

M. Hourtoule, S. Trienes, L. Ackermann, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2024**, *63*, e202412689. DOI: 10.1002/anie.202412689.

>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Impacto dos Resíduos de Cigarros nos Ecossistemas Aquáticos

Cerca de 90% (4,5 biliões) dos cigarros consumidos a nível mundial são descartados de forma incorreta, o que faz das beatas de cigarro um dos tipos de resíduos mais comuns. Estas contêm substâncias químicas nocivas, como metais, nicotina e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que ameaçam a vida aquática por lixiviação. A nicotina dissolve-se facilmente em água, sendo que cerca de metade da lixiviação das pontas de cigarro ocorre 30 minutos após a chuva.

Martínez-Ruiz (*Leibniz Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB)*, Berlim, Alemanha) e colegas mediram os níveis de nicotina em águas locais, incluindo lagos, lagoas, canais e riachos. Após a queda de chuva, as concentrações de nicotina aumentaram, em particular nos canais ligados aos esgotos, tendo os níveis médios aumentado 16 vezes. As concentrações médias de nicotina em todos os cursos de água eram de 28 ng/L, mas no pós-chuva os níveis foram em média de 148 ng/L, com um pico de 1470 ng/L no Canal Teltow. Estes níveis, embora frequentemente inferiores à concentração previsível sem efeitos (PNEC, do inglês *Predicted No-Effect Concentration*) de 400 ng/L para exposição a curto prazo, podem prejudicar os organismos aquáticos, afetando a sua sobrevivência, crescimento e reprodução. Os investigadores descobri-



Crédito: ChemistryViews

ram também que os compostos lixiviados das beatas de cigarro, como a nicotina e vários metais, têm um efeito inesperado nas cianobactérias *Planktothrix agardhii*, suprimindo as infeções por fungos parasitas quitrídeos (*Rhizophyidium megarrhizum*). Estes últimos regulam as populações de cianobactérias infetando e matando as suas células, pelo que ajudam a controlar o crescimento das cianobactérias, que podem formar algas nocivas nos ecossistemas aquáticos. Como consequência da supressão das infeções por fungos quitrídeos, as cianobactérias puderam desenvolver-se e crescer

mais rapidamente. As cianobactérias tóxicas podem prejudicar a qualidade da água, afetando a produção de água potável e a utilização para fins recreativos.

Os testes convencionais de ecotoxicidade analisam, habitualmente, os efeitos de poluentes individuais numa única espécie. No entanto, os investigadores recomendam que se tenham em conta as misturas de poluentes e o seu impacto em sistemas multi-espécies, uma vez que esta abordagem reflete melhor as condições do mundo real e fornece uma visão mais aprofundada dos efeitos dos poluentes nos ecossistemas aquáticos.

Fontes

How Cigarette Waste Is Changing Aquatic Ecosystems, chemistryviews.org/how-cigarette-waste-is-changing-aquatic-ecosystems (acedido em 18/12/2024).
N. Guttman, J. Wolinska, S. Spahr, E. B. Martínez-Ruiz, *Ecotoxicol. Environ. Safety* **2024**, 286, 117149. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.117149.

>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Como Ocorre o Crescimento de Nanofios de Telúrio Quiral?

Os nanomateriais quirais podem ser úteis, por exemplo, para aplicações óticas, catalíticas ou como sensores. As propriedades destes materiais estão relacionadas intrinsecamente com as suas estruturas quirais específicas. Alguns nanomateriais inorgânicos quirais, por exemplo, têm estruturas cristalinas quirais e apresentam propriedades óticas interessantes dependentes da quiralidade. A compreensão do crescimento e das estruturas dessas moléculas é uma área de investigação interessante e pode ser útil para a conceção racional de materiais quirais funcionais.

Y. Ma (*ShanghaiTech University*, China) e colegas estudaram o crescimento de nanofios de telúrio quiral altamente cristalinos utilizando microscopia eletrónica de alta resolução e difração eletrónica. A equipa sintetizou, em solução aquosa alcalina, nanocristais de telúrio quiral por reação de óxido de telúrio (TeO_2) como reagente inorgânico, com hidrato de hidrazina, como agente redutor, tendo obtido nanofios de telúrio com morfologias uniformes e comprimentos de cerca de 500 nm. Os investigadores utilizaram a difração eletrónica de área selecionada (SAED, do inglês *Selected-Area Electron Diffraction*) e a microscopia eletrónica de transmissão de varrimento de campo escuro anular de alto ângulo (HAADF-STEM, do inglês *High-Angle Annular Dark Field Scanning Transmission Electron Microscopy*) para obter mais informação sobre a estrutura dos nanofios individuais. O telúrio tem uma estrutura cristalina quiral, sendo o produto global um racemato constituído por nanofios que são “torcidos” numa de duas formas enantiomórficas.

Para compreender o processo de crescimento, os investigadores caracterizaram os produtos obtidos a diferentes tempos de reação. Verificaram que o sistema segue um mecanismo de crescimento não clássico no qual as formas dos nanofios formam-se primeiro a partir de aglomerados de telúrio e depois, à medida que os



Crédito: *ChemistryViews*

nanofios continuam a crescer, alguns domínios dentro dos fios começam a cristalizar de modo independente. Estes domínios cristalinos com diferentes orientações são depois fundidos num único nanocristal de telúrio. A equipa de investigação descobriu também que a D- ou a L-penicilamina podem ser utilizadas como indutores quirais, em diferentes fases do processo de crescimento, promovendo-o e conduzindo a um excesso de uma das estruturas enantiomórficas.

Fontes

How Chiral Tellurium Nanowires Grow, chemistryviews.org/how-chiral-tellurium-nanowires-grow (acedido em 19/12/2024).

C. Chu, Y. Wang, Y. Ma, *J. Am. Chem. Soc.* **2024**, 146, 35339–35346. DOI: 10.1021/jacs.4c13478.

>

Ana Paula Esteves

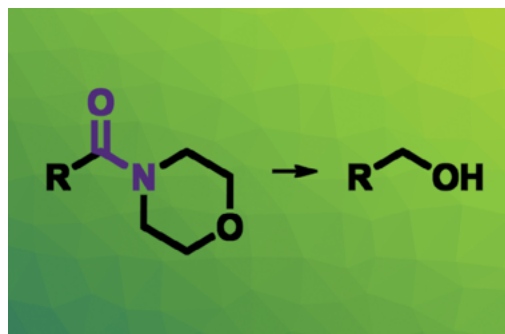
aesteves@quimica.uminho.pt

Hidrogenação Quimiosseletiva de Amidas

A redução quimiosseletiva de apenas um de dois grupos amida presentes numa molécula pode ser muito desafiante. Normalmente, a redução de amidas requer reagentes “severos” como o LiAlH_4 , o que torna difícil não reduzir todos os grupos amida simultaneamente. As transformações que utilizam H_2 como um redutor menos reativo, em conjunto com um catalisador adequado, podem ser alternativas promissoras para alcançar a seletividade de posição.

J. F. Teichert (Universidade Técnica de Chemnitz, Alemanha) e colegas descobriram que um catalisador bifuncional à base de cobre(I) pode ser utilizado para a redução seletiva de amidas com determinados substituintes heterocíclicos utilizando H_2 . O catalisador consiste num complexo de carbeno *N*-heterocíclico (NHC) de cobre(I) ligado de modo covalente a uma unidade de guanidina que atua como organocatalisador.

A equipa de investigação, utilizando este catalisador bifuncional, conseguiu reduzir uma variedade de amidas derivadas da morfolina e obteve os álcoois desejados com rendimentos moderados a bons. Globalmente, o trabalho permite a conversão de amidas



Crédito: ChemistryViews

normalmente difíceis de reduzir usando H_2 como redutor terminal e as transformações quimiosseletivas de certas amidas baseadas em heterociclos.

Fontes

Site-Selective Hydrogenation of Amides, chemistryviews.org/site-selective-hydrogenation-of-amides (acedido em 07/01/2025).

D.-I. Tzaras, M. Gorai, T. Jacquemin, T. Arndt, B. M. Zimmermann, M. Breugst, J. F. Teichert, *J. Am. Chem. Soc.* **2025**, *147*, 1867-1874. DOI: 10.1021/jacs.4c14174.

>

Ana Paula Esteves

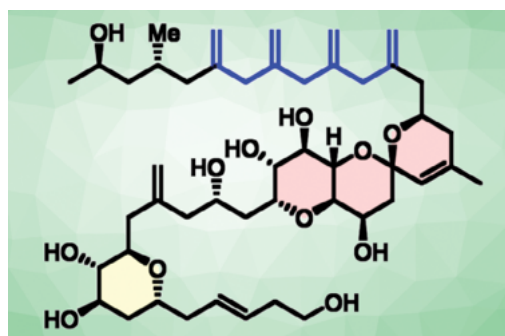
aesteves@quimica.uminho.pt

Síntese Total de “Segunda Geração” de Limaol

O limaol é um policetídeo natural marinho derivado de um dinoflagelado (organismo unicelular) de uma estirpe da espécie *Prorocentrum lima*, recolhido ao largo da costa coreana. Os seus cinco grupos “exo”-metileno, com quatro deles agrupados, tornam-no estruturalmente único. O limaol já tinha sido sintetizado anteriormente, mas a sua estrutura complexa colocou alguns desafios e a via desenvolvida revelou-se globalmente pouco eficiente (cerca de 1,5% de rendimento, 20 passos na sequência linear mais longa). Tal deveu-se, por exemplo, pelo baixo rendimento da clivagem do grupo protetor e por uma via sintética longa para um dos fragmentos da molécula.

A. Fürstner (*Max Planck Institute for Coal Research*, Mülheim an der Ruhr, Alemanha) e colegas melhoraram a sua primeira via para o limaol, desenvolvendo uma síntese total de “segunda geração” mais eficiente, com um total de nove etapas e um rendimento global de 30%. A equipa de investigação descobriu que a escolha adequada dos grupos protetores no núcleo espirocetal provou ser a chave para uma síntese eficiente. A substituição dos éteres de sililo volumosos utilizados anteriormente por grupos acetato melhorou significativamente a eficiência da síntese.

Enquanto na primeira síntese total (“primeira



Crédito: ChemistryViews

geração”) os investigadores obtiveram 3,3 mg de produto, a nova via permitiu a obtenção de 277 mg. Com o composto obtido, a equipa de investigação realizou um rastreio preliminar, o qual evidenciou que o limaol tem uma atividade antiparasitária apreciável.

Fontes

“Second Generation” Total Synthesis of Limaol, chemistryviews.org/second-generation-total-synthesis-of-limaol (acedido a 10/12/2024).

S. N. Hess, A Fürstner, *Chem. Eur. J.* **2024**, *30*, e202401429. DOI: 10.1002/chem.202401429.

>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Holy Bodies: Um Atlas dos Corpi Santi em Portugal

>
Teresa Ferreira
tasf@uevora.pt

• • • Assim como em muitos países católicos do Ocidente, Portugal recebeu os ossos dos primeiros mártires do Cristianismo, *corpi santi* ou santos catacumbais, massivamente exumados das catacumbas de Roma após a sua redescoberta em 1578. Inicialmente, eram transportados em pequenas caixas de madeira (*capsula lignea*) com certificados de autenticação. Porém, desde o final do século XVII sob influência barroca, e até meados do século XIX, começaram a ser produzidos relicários de tamanho natural que simulavam o corpo humano. Os *simulacra sanctorum martyrum* diferiam significativamente dos relicários antropomórficos medievais. Elaborados com materiais nobres e técnicas de fabricação complexas, eram executados por indivíduos especializados na arte da pasta de papel, gesso, madeira ou cera. Os esqueletos eram montados com rigor anatómico e revestidos com trajes barrocos, representando legionários romanos ou virgens, exibindo atributos do martírio, em urnas-relicários de madeira policromada dourada. O estudo destes relicários ainda é pioneiro. Em Portugal, os simulacros têm permanecido ocultos ou ignorados, apesar do seu valor histórico-artístico. Até agora, foram identificados 56 exemplares no país.

O projeto *Holy Bodies* busca reconhecer e salvar este património artístico-religioso através de ações como: i) documentação fotográfica e 3D; ii) caracterização material recorrendo a técnicas analíticas *in-situ* e em laboratório; iii) pesquisa em arquivos nacionais e do Vaticano; iv) estudo da relíquia/relicário como objeto da História da Arte no período

do Barroco e posterior; v) definição de protocolos de conservação e restauro; vi) criação de uma plataforma *online* como base de dados sobre os simulacros em Portugal; vii) colaboração com investigadores de Itália, Espanha, México e Chile para estudo comparativo da materialidade e prática devocional.

Com uma equipa interdisciplinar, composta por investigadores em Química, Ciência da Conservação, Conservação e Restauro, Antropologia Biológica, História da Arte, História da Religião, Informática, *Design* e Arquitetura Virtual, o *Holy Bodies* é promovido pela Universidade de Évora, em parceria com a Universidade Católica Portuguesa (Porto), Museus e Monumentos de Portugal, EPE e a Universidade Nova de Lisboa.



■ S. Benedito, Convento do Varatojo, Varatojo (Torres Vedras).



> Ficha Técnica do Projeto

Acrónimo: Holy Bodies

Financiamento: Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Referência: 2022.01486.PTDC.

Equipa: Laboratório HERCULES | UÉvora - Teresa Ferreira (IR), Ana Curto, Ana Manhita, Leonel Alegre, Margarida Nunes, Joana Palmeirão (pós-doc); CIDEHUS | UÉvora - Fernanda Olival; ARTÉRIA Lab | UÉvora - Marius Araújo; Vista Lab | UÉvora - José Saias; CITAR | UCP - Eduarda Vieira (co-IR), Alexandra Gago da Câmara; Museus e Monumentos de Portugal, E.P.E. - Luís Piorro, Paula Monteiro; CHAM | UNL - António Camões Gouveia; UCamberra - Tracy Ireland; Seminário Maior de Coimbra - Padre Nuno dos Santos.

Chalcogen-Doped Luminescent Zeolites for Near-Infrared Applications

>

Catarina Viola

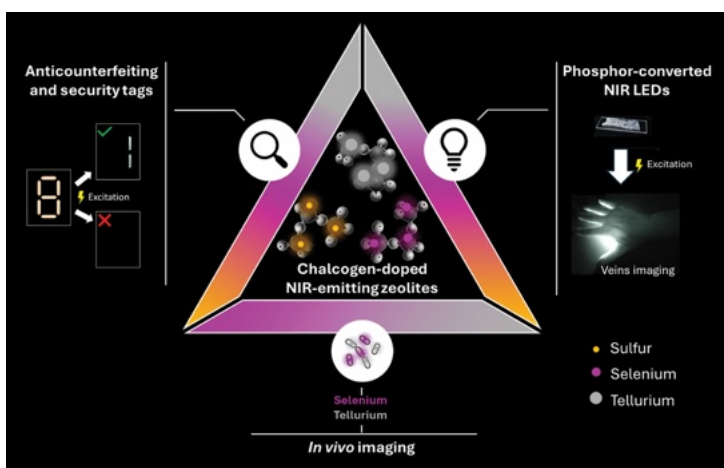
c.viola@campus.fct.unl.pt

- **Zeólitos Luminescentes Dopados com Calcogénios para Aplicações no Infravermelho Próximo.**

O desenvolvimento de materiais luminescentes no infravermelho próximo (NIR) tem despertado interesse devido às suas aplicações em comunicações óticas, combate à contrafação e bioimagem. No entanto, desafios como a baixa disponibilidade, a fotoestabilidade e a estabilidade química limitam o uso dos materiais existentes, exigindo novos emissores.

Nesta tese, foi explorada a emissão NIR através da síntese de zeólitos dopados com calcogénios, variando os rácios calcogénio/cloro. A caracterização fotofísica, utilizando técnicas óticas, estruturais e cálculos computacionais, revelou que os emissores NIR surgem a elevados rácios S/Cl e Se/Cl, associados às espécies $[S_3]^{2-}$ e $[Se_3]^{2-}$. Para o telúrio, a emissão NIR foi detetada a baixos rácios Te/Cl, atribuída aos aglomerados $[Te_2]^-$, enquanto a presença de $[Te_3]^{2-}$ a elevados rácios não foi conclusiva. Os tempos de decaimento da

fotoluminescência sugerem uma segunda espécie emissora além de $[Te_2]^-$. Foram obtidas pela primeira vez eficiências quânticas externas, tempos de decaimento da fotoluminescência, espectros de ressonância paramagnética eletrónica e espectros de emissão/excitação destes aglomerados emissores. Provas de conceito demonstraram sucesso em sistemas de segurança e LEDs NIR convertidos por fósforo (pc-NIR LEDs) para imagem de veias. Além disso, tentou-se a síntese de nanozeólitos dopados com selénio para bioimagem *in vivo*, devido à disponibilidade e propriedades do emissor NIR, com excitação a 400 nm e emissão a 820 nm. Estudos de dispersão indicaram que a melhor abordagem para evitar agregação é trabalhar em solução. A síntese em estado sólido a altas temperaturas resultou no primeiro estudo de zeólitos emitindo exclusivamente NIR, contrastando com a mistura previamente observada de aglomerados $[Se_2]^-$ emissores no vermelho e de aglomerados $[Se_3]^{2-}$ emissores no NIR.



Autora: Catarina Viola (FCT-UNL)

Orientação: João Carlos dos Santos Silva e Pereira de Lima (Orientador; FCT-UNL); Andreia Filipa Cardoso Ruivo (Co-orientadora; FCT-UNL); João Miguel Ribeiro Avó (Co-orientador; FCT-UNL)

Instituição Conferente do Grau: FCT-UNL

Programa Doutoral: Química

Data: 06/12/2024

Repositório: hdl.handle.net/10362/177570

O Papel das Macroalgas Marinhas na Melhoria da Qualidade da Água: Uma Solução “Natural”

>
Sofia Grangeia
Filipe LS Monteiro
Eduarda Pereira
Bruno Henriques

The Role of Marine Macroalgae in Improving Water Quality: a “Natural” Solution. *The global increase in water demand, driven by both human and industrial consumption, along with the increase in contamination from waste discharges, has intensified the challenge of securing clean water resources. This work addresses the pressing issue of water pollution caused by dyes emphasizing their detrimental impact on ecosystems and public health. The inefficiency of conventional wastewater treatment methods in eliminating these micropollutants necessitates innovative, eco-friendly solutions. This study focuses on the biosorption potential of marine macroalgae in reducing water contamination by dyes.*

O aumento global da procura de água, impulsionado pelo consumo humano e industrial, juntamente com o aumento da contaminação proveniente das descargas residuais, intensificou o desafio de garantir recursos hídricos limpos. Este trabalho aborda a problemática urgente da poluição da água causada por corantes, enfatizando o seu impacto prejudicial nos ecossistemas e na saúde pública. A ineficiência dos métodos convencionais de tratamento de águas residuais na eliminação destes micropoluentes exige soluções inovadoras e ecologicamente sustentáveis. Este estudo concentra-se no potencial de biossorção de macroalgas marinhas para redução da contaminação das águas por corantes.

1. Importância da qualidade da água para a vida

A água limpa é essencial para o bem-estar tanto dos seres humanos como da vida selvagem, desempenhando um papel vital no sustento da vida e assegurando o funcionamento correto do ecossistema global [1]. A procura mundial por água tem vindo a aumentar cerca de 1% ao ano nos últimos 40 anos e projeções indicam que esta tendência irá persistir, levando a um potencial aumento de 20 a 30% até 2050 [2]. Ao mesmo tempo, estima-se que a população que enfrenta escassez de água aumente de 933 milhões em 2016 para 1,7 a 2,4 mil milhões de pessoas em 2050 – de um terço para quase metade da população global [2]. O aumento significativo no consumo e na escassez de água pode ser atribuído a fatores como o crescimento populacional, desenvolvimento socioeconómico e evolução de hábitos de consumo. Estes fatores também têm aumentado o desafio ambiental da contaminação da água [2,3]. Este último problema está fundamentalmente enraizado na agricultura, urbanização e industrialização, que promovem a descarga de contaminantes como metais, corantes e fármacos, entre outros [4]. Atualmente, a incapacidade das indústrias em gerir eficazmente o seu

tratamento de águas residuais resulta na contaminação das águas, representando um desafio global significativo [5]. Aproximadamente 80% das águas residuais produzidas contendo corantes são descarregadas sem tratamento nos cursos de água ou usadas diretamente para irrigação [6]. Especificamente na indústria têxtil, até 50% dos corantes utilizados nos processos de tingimento permanecem fixos, persistindo numa fase líquida, e cerca de 10% dos corantes são descarregados como águas residuais [7,8]. Os corantes e os seus produtos de degradação não apresentam padrões de concentração estabelecidos, e os seus mecanismos de toxicidade estão mal definidos, razão pela qual são rotulados como contaminantes emergentes. Estes contaminantes não regulamentados podem estar sujeitos a futura legislação dependendo dos resultados de monitorização da sua prevalência no meio ambiente e potenciais impactos na saúde [9,10]. A sua presença na água afeta a estabilidade ecológica e tem graves consequências para a segurança e saúde públicas, gestão de ecossistemas e biodiversidade [11]. A má qualidade da água continua a ser um obstáculo significativo para alcançar diversos

objetivos de desenvolvimento sustentável, incluindo os relacionados com a saúde pública, produtividade, prosperidade económica e sustentabilidade ambiental [2].

2. Corantes como exemplos de contaminação de água

Os corantes representam uma classe de compostos orgânicos insaturados complexos, solúveis em água ou óleo, que são extensivamente utilizados em várias indústrias, especialmente no setor têxtil [12,13]. A característica distintiva dos corantes é a sua coloração que resulta da parte da luz no espectro visível que não é absorvida, mas sim refletida [14,15]. Além disso, os corantes têm a propriedade única de modificar a estrutura cristalina das substâncias dando-lhes cor. Quando aplicados a um substrato, formam ligações covalentes ou complexos com sais e metais, complementados por sorção física e retenção mecânica [5,16]. Esta interação permite-lhes aderir a superfícies favoráveis [5,13,16].

Os corantes são categorizados com base na sua origem, estrutura química e técnicas de aplicação [5]. Antes do século XIX, os corantes eram obtidos exclusivamente a partir de materiais naturais [17,18]. Não só a maioria destes era ecologicamente sustentável e produzia águas residuais que podiam ser tratadas por métodos de biodegradação, mas também eram menos tóxicos em comparação com os sintéticos [16,19]. No entanto, com o advento e subsequente uso generalizado de corantes artificiais, o uso de corantes naturais diminuiu significativamente, levando à proliferação de corantes sintéticos [17].

Estruturalmente, os corantes consistem em duas partes essenciais: o cromóforo e o auxocromo. O cromóforo é o local ativo composto por aglomerados de átomos responsáveis por absorver luz. Exemplos comuns incluem os grupos funcionais *nitro* (-NO₂), *azo* (-NN-), *nitroso* (-NO-), *tiocarbonilo* (-CO), *carbonilo* (-CO) e *alcenos* (-CC-). Os corantes *azo* são os corantes mais comumente usados na indústria têxtil. O auxocromo (do grego *auxanō*, “aumentar”, e *chrōma*, “cor”) consiste em aglomerados de átomos ligados ao cromóforo, que aumentam a sua capacidade de absorção de luz e proporcionam coloração à molécula cromogénica. Estes aglomerados podem ter caráter ácido (grupos -COOH, -SO₃ e -OH) ou básico (-NH₂, -NHR e -NR₂) [13,14,20]. Além disso, os corantes podem ser classificados como dispersos ou reativos com base na sua aplicação, respetivamente, a fibras sintéticas ou naturais [21].

Reconhece-se que os corantes e os seus produtos de degradação representam riscos significativos, uma vez que são tóxicos, mutagénicos e carcinogénicos para todos os tipos de formas de vida [21,22]. Além disso, sempre que presentes na água, esses compostos levam a outros efeitos adversos, como a redução da penetração de luz afetando a fotossíntese aquática que leva à

diminuição dos níveis de oxigénio dissolvido [21,22]. Estes fatores enfatizam a necessidade crítica de abordar a contaminação por corantes em fontes de água para salvaguardar tanto os ecossistemas ambientais como a saúde pública. Infelizmente, existe um número limitado de artigos que abordam a presença de corantes em massas de água e estações de tratamento de águas residuais. No entanto, existem exemplos notáveis, como um estudo que revela a presença dos corantes dispersos laranja 37, violeta 93 e azul 373 em águas de rios não tratadas e em água potável, no Brasil, com concentrações variando de 1,65 ng L⁻¹ a 316 µg L⁻¹ [23]. Além disso, um artigo de revisão que abrangeu o período de 1978 a 2017, destaca as concentrações mundiais de corantes em corpos de água. Em 2001, por exemplo, 18 corantes orgânicos sintéticos, incluindo vermelho reativo x-3B, castanho básico, índigo, mordente preto 2B e verde básico, foram detetados em corpos de água na China, em níveis que variavam de 1 a 706 000 µg L⁻¹, e em 2013, foi encontrado verde de malaquite em concentrações que variavam de 4,7 µg kg⁻¹ a 543 µg kg⁻¹ em vários corpos de água na Alemanha [24]. A literatura existente sobre os efeitos críticos dos corantes em organismos aquáticos é relativamente limitada, o que reflete a escassez de investigação sobre esta temática. No entanto, existem algumas contribuições significativas. Por exemplo, um artigo de revisão explora os efeitos tóxicos do corante verde de malaquite em organismos aquáticos, destacando um aumento 20 vezes superior na mortalidade de ovos de truta preta *Micropterus salmonids*, e o desenvolvimento de anormalidades, predominantemente causadas por quebras de cromossomas, em ovos de truta arco-íris *Oncorhynchus mykiss*. Além disso, o artigo menciona que o corante verde de malaquite age como um veneno enzimático respiratório, induzindo *stress* respiratório em trutas arco-íris [25]. Um artigo adicional destaca a toxicidade de vários corantes em espécies de anfíbios. Especificamente, o azul astrazon FGRL, o azul básico 159 e o azul básico 3 demonstraram potencial teratogénico em embriões de rã *Silurana tropicalis*. Além disso, o castanho básico 1 induz malformações significativas nos olhos, cabeça, coração e intestino dos embriões, mesmo quando apenas presente no sedimento em vez de na água [24]. Estes estudos demonstram o perigo dos efluentes tratados de forma inadequada. Sem uma solução eficaz para o seu tratamento, a concentração de corantes em corpos de água aumentará, o que terá sérias consequências para a saúde humana e para o ambiente global.

3. Tratamentos convencionais de águas residuais

Os métodos de tratamento de águas residuais domésticas e industriais não são concebidos para eliminar

micropoluentes, como metais e corantes [26]. No caso das águas residuais domésticas, os processos convencionais incluem etapas primárias e secundárias, que, apesar de alguns relatórios indicarem que são capazes de remover certos micropoluentes, na maioria dos casos não existe uma remoção total, especialmente a baixas concentrações [27]. Já para águas residuais industriais, ou quando há a necessidade de um tratamento mais avançado, podem ser aplicadas técnicas complementares no tratamento terciário capazes de remover micropoluentes, como precipitação, troca iônica, técnicas de filtração por membranas, coagulação e floculação, técnicas eletroquímicas e adsorção por carbono ativado [28,29].

A **precipitação** é um processo no qual os contaminantes formam compostos insolúveis que precipitam ao alterar o pH do meio, ou pela adição de produtos químicos à solução. A adição de coagulantes também é usada para aumentar o tamanho das partículas por agregação. A **troca iônica** é um processo em que íons com carga positiva ou negativa na solução são substituídos estequiometricamente por íons com a mesma carga de um trocador de íons polimérico ou mineral sólido. As **técnicas de filtração por membranas** são processos em que procedimentos físicos separam contaminantes por meio de membranas semipermeáveis, com aplicações que abrangem desde a microfiltração e ultrafiltração até à nanofiltração e osmose inversa, dependendo do tamanho do contaminante. As **técnicas eletroquímicas** são processos que envolvem o uso de uma célula eletroquímica composta por dois eletrodos mantidos a um dado potencial através de uma fonte de energia externa. Os contaminantes em solução são atraídos para o eletrodo devido a fenômenos como reações redox, migração iônica e transferência de elétrons [30,31].

Todos os métodos mencionados têm desvantagens, tais como um elevado consumo de energia, elevado custo do equipamento, sistemas de monitorização e reagentes, além de gerarem lamas tóxicas e/ou resíduos que requerem uma eliminação adequada [9,32].

A **sorção** é um processo em que os contaminantes se acumulam na superfície ou interface de duas fases como resultado de fatores químicos e físicos. Tanto a adsorção como a absorção são processos de sorção em que um contaminante é ligado a uma fase sólida, líquida ou gasosa, sendo a principal diferença que, na absorção, o contaminante é incorporado numa fase. A sorção tem sido reconhecida como uma das abordagens mais eficientes e amplamente utilizadas em comparação com as outras técnicas mencionadas, sendo o carvão ativado um dos sorventes mais utilizados. A extensa área superficial do carvão ativado permite uma remoção rápida e eficaz de contaminantes [30,31]. No entanto, o seu custo e

a falta de regeneração após atingir a capacidade de sorção máxima apresentam-se como um problema significativo, tornando este processo dispendioso e insustentável. Além disso, a sorção por carvão ativado partilha outras desvantagens com as outras técnicas, como a produção de resíduos [30,31].

Embora vários tratamentos possam funcionar como barreiras primárias contra micropoluentes, os tratamentos de águas residuais ainda têm baixa eficiência, tornando-os ineficazes na obtenção de água limpa adequada. A melhoria destes processos poderia, potencialmente, reduzir a libertação de contaminantes no ambiente [27]. Para explorar esta questão, será necessário desenvolver métodos ecológica e economicamente viáveis para minimizar a contaminação em ambientes aquáticos. Além disso, sempre que possível, estes métodos devem facilitar a conservação da água, permitindo a reutilização das águas residuais [33-35].

4. Biossorção

A biossorção é um processo físico-químico no qual substâncias solúveis podem ser recolhidas numa interface adequada de um material biológico, que pode ser tanto biomassa seca (não viva) como biomassa fresca (viva) [36]. É um processo muito semelhante à adsorção convencional mencionada anteriormente, sendo a natureza biológica do sorvente a principal característica distintiva. Contrariamente à sorção por carvão ativado, a maioria dos biossorventes pode ser regenerada, o que torna este processo mais ambiental e economicamente viável [30,31]. A biossorção pode ser dividida em dois tipos: passiva e ativa (também conhecida como bioacumulação). Na biossorção passiva, as substâncias solúveis interagem com a interface da biomassa seca por troca iônica, adsorção física, precipitação ou complexação. Este processo é independente do metabolismo e acontece rapidamente. Na biossorção ativa, no entanto, as substâncias solúveis interagem com a interface da biomassa fresca em duas etapas sequenciais. Primeiro, as substâncias ligam-se à interface das células vivas de forma semelhante à biossorção passiva. Depois, estas substâncias ligadas são transportadas através da membrana celular ou precipitam. Este processo é lento e dependente do metabolismo, e é influenciado pela afinidade de ligação. Após entrarem nas células, dependendo do tipo, as substâncias sofrem uma sequência de etapas, resultando na neutralização, conversão ou remoção [37-39].

A biossorção oferece vantagens distintas sobre técnicas convencionais. Remove eficientemente micropoluentes, minimiza a quantidade de resíduos químicos e biológicos e é mais económica. É importante notar que, na biossorção, a reciclagem dos sorventes aumenta a sua viabilidade económica [40]. No entanto, esta tecnologia também apresenta desvantagens,

que incluem variações de desempenho dependendo do tipo de sorvente e da composição da solução. Além disso, a maioria dos estudos publicados sobre bioissorção são realizados em condições laboratoriais controladas com soluções aquosas muito simples que não refletem a verdadeira complexidade das águas residuais devido à presença de compostos orgânicos e inorgânicos e à competição entre contaminantes. Para tornar esta tecnologia mais madura, são necessários estudos extensivos com águas residuais reais em escala laboratorial contínua e fazer o *scale-up* [41].

Utilizar os contaminantes presentes em águas residuais como substrato para o crescimento de organismos aumenta a sustentabilidade econômica e ambiental da bioissorção. Microrganismos como bactérias, leveduras e fungos crescem heterotroficamente e requerem fontes de carbono adicionais nas águas residuais para um crescimento suficiente, mas as algas, particularmente as macroalgas, estão a receber uma grande atenção no campo da bioissorção devido ao seu crescimento autotrófico [37]. As macroalgas representam um grupo grande e diversificado de organismos fotossintéticos multicelulares que crescem principalmente nos mares e oceanos. Com base na sua pigmentação, são categorizadas em três principais filos diferentes: *Rhodophyta* (algas vermelhas), *Phaeophyta* (algas castanhas) e *Chlorophyta* (algas verdes).

A parede celular das algas é composta por proteínas e polissacarídeos. Os polissacarídeos exibem principalmente grupos carboxilo e amino, enquanto as proteínas mostram grupos amino, carboxilo, fosfato, sulfato, grupos imidazol e grupos amida da ligação peptídica. Estes grupos funcionais variam dependendo do filo das macroalgas e, dependendo do pH, estão protonados ou desprotonados, formando os locais aniônicos e catiônicos para a interação ativa ou passiva e, conseqüentemente, sorção de contaminantes nas superfícies anfotéricas externas das algas [37,38,40].

Os sistemas algálicos oferecem uma variedade de benefícios ambientais e econômicos. Estes sistemas são de baixo custo e não requerem fontes de carbono externas. As macroalgas têm uma capacidade apreciável de utilizar nitrogênio e fósforo presentes nas águas residuais como nutrientes naturais para o seu crescimento, auxiliando na purificação das águas residuais. Devido à sua elevada eficiência fotossintética, também captam o CO₂ e libertam O₂. Este impacto na redução de gases de efeito estufa e na produção de oxigênio alinha-se com os esforços globais para combater as alterações climáticas e melhorar a qualidade do ar. Além disso, metais valiosos nas águas residuais podem ser recuperados com a biomassa algálica, o que não só contribui para a remediação de corpos de água contaminados, mas também oferece uma oportunidade de recuperação de recursos. Além

disso, devido ao seu tamanho, a separação da sua biomassa do meio é bastante fácil de gerir. Por fim, a versatilidade da biomassa algálica estende-se além da remediação ambiental. A mesma biomassa que ajuda a tratar as águas residuais pode ser usada para produzir compostos importantes. Por exemplo, as algas podem ser convertidas em biocombustíveis, como o biodiesel, proporcionando uma alternativa renovável e sustentável aos combustíveis fósseis convencionais. Isso não só reduz a dependência de recursos não renováveis, mas também as preocupações relacionadas com as mudanças climáticas e a segurança energética [36,42,43]. Resumindo, as vantagens dos sistemas algálicos cobrem não só a sua rentabilidade e capacidade de utilizar eficientemente os nutrientes das águas residuais, mas também os seus impactos positivos no sequestro de carbono, na recuperação de recursos e potencial para extração de compostos valiosos. À medida que o mundo procura soluções sustentáveis para desafios ambientais urgentes, os sistemas algálicos emergem como uma tecnologia multifacetada e promissora, com benefícios abrangentes tanto para o ambiente como para a economia.

A bioissorção de diferentes contaminantes utilizando macroalgas como meio eficaz e ambientalmente sustentável para a purificação da água, tem sido extensivamente explorada através de vários estudos que destacam o potencial das macroalgas, tanto em forma viva como morta. Por exemplo, estudos recentes demonstraram a capacidade de bioissorção de elementos de terras raras por macroalgas. T. Viana *et al.* mostram a capacidade de bioissorção de *Ulva sp.* para ítrio, lantânio, cério, európio, gadolínio e térbio em águas residuais industriais diluídas contendo também metais clássicos, atingindo taxas de remoção superiores a 90% [44]. Da mesma forma, J. Pinto *et al.* referem a capacidade de bioissorção não só de *Ulva sp.*, mas também de *Fucus sp.*, *Osmundea sp.* e *Gracilaria sp.* para elementos de terras raras em amostras de água do mar [45]. A *Ulva sp.* destacou-se como a mais eficiente para a remoção dos contaminantes, sendo capaz de remover pelo menos 60% de todos os elementos e atingindo taxas de remoção de até 90% em alguns casos. Além disso, outros estudos comprovam a capacidade de bioissorção de metais clássicos pelas macroalgas. Por exemplo, N. Ferreira *et al.* [46] mostra a capacidade de bioissorção de *Ulva sp.* para mercúrio com taxas de remoção atingindo 97%, enquanto E. Fabre *et al.* [47] estende o estudo a outras espécies como *Fucus sp.*, *Gracilaria sp.* e *Osmundea sp.*, com as taxas de remoção de Hg a excederem 86% para todas as macroalgas testadas. Em ambos os estudos, as amostras estavam contaminadas não só com mercúrio, mas também com elementos de terras raras e outros metais, demonstrando a capacidade de bioissorção das

macroalgas em cenários que refletem águas residuais reais. Um outro estudo provou a capacidade de bio-sorção de európio em amostras de água do mar pela *Ulva sp.* e *Gracilaria sp.*, atingindo taxas de remoção de até 85% [48]. Por fim, B. Henriques *et al.* mostra a capacidade de bio-sorção de *Ulva sp.* para vários metais (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, crômio, mercúrio e manganês) em águas contaminadas, tendo atingido taxas de remoção variáveis entre 48% para arsênio e 98% para mercúrio [49]. Resumindo, todos estes estudos, coletivamente, defendem a versatilidade e eficácia da capacidade de bio-sorção de macroalgas para vários contaminantes em águas que refletem as condições reais de águas residuais contaminadas. A capacidade das macroalgas de prosperar em condições diversas e remover eficientemente uma gama de contaminantes, incluindo elementos de terras raras e metais, posiciona-as como verdadeiras candidatas promissoras para tecnologias sustentáveis de purificação de água.

5. Remoção de corantes com macroalgas

Embora já existam vários artigos e estudos publicados que demonstram a eficiência das macroalgas marinhas na bio-sorção de metais, apenas alguns artigos e estudos publicados se concentram na sua utilização como bio-sorventes na remoção de corantes. A Tabela 1 fornece uma compilação dos estudos disponíveis sobre esse assunto. A análise mostra que há uma falta de informação em vários aspetos relacionados com o processo de bio-sorção de macroalgas dos contaminantes mencionados. Uma observação que sobressai da análise da Tabela 1 é o uso dominante de biomassa seca (morta) em todos os estudos, frequentemente pré-tratada ou modificada.

É importante conhecer a eficiência de macroalgas vivas no processo de bio-sorção, uma vez que o seu uso tem várias vantagens, como a mitigação do CO₂ e a libertação de O₂, como mencionado anteriormente. Além disso, a influência da competição entre diferentes contaminantes dentro da solução durante o processo de bio-sorção precisa ser investigada. A presença de diferentes contaminantes numa solução reflete de perto condições da vida real em esgotos e corpos de água, fornecendo uma representação mais realista do que cenários em que uma solução contém apenas um contaminante. Apenas dois estudos abordam este aspeto, envolvendo, respetivamente, dois corantes diferentes e um corante combinado com metais [50,32]. Por último, e muito semelhante ao último ponto, deve-se notar que todos os estudos são conduzidos em condições de laboratório usando água destilada ou ultrapura. Para maior realismo, estudos futuros deverão considerar a dissolução de contaminantes em água da torneira ou águas residuais.

A eficiência da bio-sorção de macroalgas marinhas

tem uma ampla gama de percentagens de remoção e valores máximos de bio-sorção, fortemente influenciados por fatores como o tipo de corante, espécie de macroalga e a afinidade entre eles. Embora existam estudos com valores muito baixos de bio-sorção máxima, como o estudo de Cengiz [51] com 5,23 mg g⁻¹, outros estudos mostram valores significativamente mais elevados, como o estudo de S. Bouzikri *et al.* [62], atingindo impressionantes 2744,5 mg g⁻¹. Além disso, noutros estudos foram obtidas percentagens de remoção na faixa de 90 a 100% [52,53].

Embora a eficiência da bio-sorção de macroalgas marinhas exiba uma ampla gama de valores, influenciados por vários fatores, é crucial considerar parâmetros específicos que desempenham um papel significativo no processo de bio-sorção. Estes incluem a condição, seja viva ou morta, e o tipo de bio-sorvente, pH, temperatura, tempo de contacto e concentração inicial do contaminante. Entre esses fatores, a temperatura, se variar de 20 a 35 °C, tem o menor impacto no processo de bio-sorção, especialmente quando a biomassa morta serve como bio-sorvente. Além disso, embora o tempo de contacto não afete diretamente o processo de bio-sorção, ele atua como um fator limitante. O aumento do tempo de contacto mostra a capacidade máxima do bio-sorvente, mas além desse limite, o tempo adicional não traz benefícios extras ao processo de bio-sorção. Da mesma forma, a concentração inicial do contaminante tem um impacto comparável. Uma baixa concentração de contaminante pode não refletir a verdadeira capacidade máxima do bio-sorvente, uma vez que a sua superfície disponível para sorção pode permanecer insaturada. No entanto, o processo de bio-sorção é significativamente influenciado pelo pH, pela quantidade do bio-sorvente e pela presença de outros contaminantes na solução. Notavelmente, o pH tem um impacto muito forte, uma vez que influencia a química da solução, a atividade dos grupos funcionais nas espécies biológicas e a competição entre contaminantes. A concentração do bio-sorvente restringe a bio-sorção devido à área de superfície disponível para o processo acontecer [39].

Tendências nos valores dos parâmetros-chave discutidos anteriormente podem ser constatadas por análise dos estudos apresentados na Tabela 1. O tempo de contacto usado nas experiências de bio-sorção varia entre 0 e 1440 minutos (24 h), embora o foco principal na maioria dos estudos se concentre em tempos de contacto variando de 0 a 180 minutos (3 h). Como mencionado anteriormente, prolongar o tempo de contacto revela a capacidade máxima dos bio-sorventes, mas, além desse limite, o tempo adicional não traz benefícios extras ao processo de bio-sorção. Na maioria dos estudos, não são observadas vantagens adicionais após 180 a 360 minutos de tempo de contacto. Em

relação aos valores de pH, os estudos de bioissorção exibem um amplo espectro, variando de um mínimo de 1 a um máximo de 13, mas a maioria dos estudos tem um foco predominante no intervalo de pH entre 3 e 10. É digno de nota que, nesses estudos, o processo de sorção funciona melhor quando o pH é mais baixo. Essa tendência pode ser explicada pelo aumento das forças eletrostáticas exibidas pelos contaminantes aniônicos, normalmente usados com os grupos funcionais presentes na parede celular da macroalga, levando a uma interação mais forte. Consequentemente, os valores de pH mais baixos, geralmente, funcionam melhor para aprimorar o processo de sorção. No entanto, quando os contaminantes estão carregados positivamente, observa-se o efeito oposto. Por fim, os dois últimos

parâmetros cruciais nos estudos de bioissorção são a concentração inicial dos contaminantes e a quantidade ou dose do bioissorvente. Esses parâmetros apresentam a maior gama de valores nos estudos apresentados. Especificamente, a concentração inicial dos contaminantes varia de 0,1 mg L⁻¹ a 15000 mg L⁻¹, enquanto a quantidade do bioissorvente varia de 0,0005 g L⁻¹ a 40 g L⁻¹. No entanto, os valores mais utilizados variam, respetivamente, de 15 mg L⁻¹ a 150 mg L⁻¹ e de 0,01 g L⁻¹ a 2,0 g L⁻¹. Além disso, um fator digno de nota é o uso prevalente de espécies específicas de macroalgas nesses estudos. *Ulva sp.*, *Sargassum sp.* e *Fucus sp.* são amplamente usadas em estudos de bioissorção devido à sua distribuição generalizada, tornando-as de acesso fácil para fins de investigação.

Tabela 1 – Compilação de estudos sobre o processo de bioissorção de corantes por diferentes espécies de macroalgas marinhas apresentando a bioissorção máxima atingida e os parâmetros usados: tipo de solução e sistema, concentração inicial do corante, quantidade do bioissorvente, tempo de exposição, pH e temperatura.

Espécie de macroalga marinha	Corante	Solvente	Tipo de sistema	[Corante] (mg L ⁻¹)	m (alga) / V (solução)	Tempo de exposição (min)	pH	Temp. (°C)	Remoção (%) / Bioissorção máxima	Notas	Ref.
<i>Ulva fasciata</i>	Azul metileno (têxtil)	Água destilada	Individual	50-200	5 g L ⁻¹ com percentagem algica incorporada de 20 %	0-720	3-9	25	88,90%	Resíduos de fibra acrílica usados com biomassa seca para formar membranas compostas	[54]
	Vermelho Congo (têxtil)								79,60%		
<i>Sargassum dentifolium</i>	Azul metileno (têxtil)								82,01%		
	Vermelho Congo (têxtil)								85,00%		
<i>Sargassum dentifolium</i>	Azul metileno (têxtil)	-	Individual	20-450	0,25-3 g L ⁻¹	0-90	3-9	25	66,60 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[55]
<i>Ulva fasciata</i>				20-80					244,00 mg g ⁻¹		
<i>Fucus vesiculosus</i>	Alaranjado de metilo (têxtil)	Água destilada	Mistura com iões cobre(II)	20, 40, 60	3, 5, 7 g L ⁻¹	0-9	4-10	-	50,27%	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[32]
<i>Plocamium cartilagineum</i>	Vermelho reativo (têxtil)	-	Individual	6, 12, 24, 36, 48, 60	0,5-6 g L ⁻¹	0-400	1-13	15-45	34,72 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[56]
<i>Durvillaea antarctica</i>	Azul metileno (têxtil)	-	Individual	25-200	1 g L ⁻¹	0-560	3-11	25	702,90 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[57]
<i>Nizamuddina zanardinii</i>	Preto ácido 1 (têxtil)	Água destilada	Individual	10-50	0,1-40 g L ⁻¹	2-90	2-10	27	29,79 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[58]
<i>Caulerpa racemosa var. cylindracea</i>	Azul metileno (têxtil)	-	Individual	5-100	0,001-0,2 g L ⁻¹	0-90	3-11	18	5,23 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[51]
<i>Stoechospermum marginatum</i>	Laranja ácido II (têxtil)	Água destilada	Individual	30-90	0,2-22 g L ⁻¹	5-60	2-10	25	35,62 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca (Pré-tratamento da biomassa com propilaminação aumenta a bioissorção cerca de 2 vezes – 71,05 mg L ⁻¹)	[59]

Tabela 1 (cont.) – Compilação de estudos sobre o processo de bioissorção de corantes por diferentes espécies de macroalgas marinhas apresentando a bioissorção máxima atingida e os parâmetros usados: tipo de solução e sistema, concentração inicial do corante, quantidade do bioissorvente, tempo de exposição, pH e temperatura.

<i>Caulerpa lentillifera</i>	Azul astrazon FGRL (têxtil)	-	Individual	-	0,5-2 g / 30 mL	0-60	7	25	38,90 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[60]
	Vermelho astrazon GTLN (têxtil)								47,60 mg g ⁻¹		
	Azul metileno (têxtil)								417,00 mg g ⁻¹		
<i>Nizamuddin zanardini</i>	Preto ácido 1 (têxtil)	Água destilada	Individual	10-50	1-5 g L ⁻¹	0-90	2-6	27	99,27%	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[53]
<i>Sargassum glaucescens</i>									98,12%		
<i>Stoechospermum marginatum</i>									97,62%		
<i>Fucus vesiculosus</i>	Violeta cristal (têxtil)	Água desionizada	Mistura 1:1	50-250	0,025-0,2 g L ⁻¹	0-420	2-12	25-45	200,00 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[50]
	Rodamina B (têxtil)								166,66 mg g ⁻¹		
<i>Lychaete pellucida</i>	Azul reativo 4 (têxtil)	-	Individual	1-7	0,0005-0,003 g L ⁻¹	20-180	2-10	25-55	97,00%	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[52]
	Vermelho reativo 120 (têxtil)								97,00%		
	Amarelo brilhante reativo 3G (têxtil)								96,50%		
	Verde reativo 12 (têxtil)								97,00%		
<i>Nizamuddin zanardini</i>	Azul metileno (têxtil)	Água destilada	Individual	2,5-240	0,08-0,4 g L ⁻¹	0-180	2-11	28	863,40 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[61]
<i>Gracilaria parvispora</i>									83,08 mg g ⁻¹		
<i>Ulva fasciata</i>									1514,00 mg g ⁻¹		

Tabela 1 (cont.) - Compilação de estudos sobre o processo de bioadsorção de corantes por diferentes espécies de macroalgas marinhas apresentando a bioadsorção máxima atingida e os parâmetros usados: tipo de solução e sistema, concentração inicial do corante, quantidade do bioadsorvente, tempo de exposição, pH e temperatura.

<i>Bifurcaria bifurcata</i>	Azul metileno (têxtil)	Água destilada	Individual	0-1000	0,02 g L ⁻¹	0-120	5,6	25	2744,50 mg g ⁻¹	Sem pré-tratamento da biomassa seca	[62]
	Azul reativo 19 (têxtil)				0,1 g L ⁻¹		1		88,70 mg g ⁻¹		
<i>Ulva reticulata</i>	Verde malaquite (têxtil)	Água desionizada	Individual	5-35	0,5-3 g L ⁻¹	0-180	2-10	25-55	42,30 mg g ⁻¹	Pré-tratamento da biomassa com CaCl ₂	[22]
<i>Sargassum crassifolium</i>									41,22 mg g ⁻¹		
<i>Sargassum crassifolium</i>									43,40 mg g ⁻¹		
<i>Sargassum muticum</i>	Azul metileno (têxtil)	-	-	-	2,5 g L ⁻¹	0-120	4	25	279,00 mg g ⁻¹	Pré-tratamento da biomassa com CaCl ₂	[63]
<i>Sargassum glaucescens</i>	Corantes aniônicos (Amarelo pôr-do-sol (não têxtil), Amarelo eosina (não comumente têxtil), Índigo carmim (têxtil))				4 g L ⁻¹	0-25	3	30	46,12 mg g ⁻¹	Pré-tratamento da biomassa com HCl	
<i>Ulva lactuca</i>	Verde malaquite (têxtil)	Água destilada	Individual	700-1000	0,002-0,024 g L ⁻¹	30-400	2-12	25	172,00 mg g ⁻¹	Pré-tratamento de biomassa com H ₃ PO ₄	[64]
	Safranina O (têxtil)			1200-1500					526,00 mg g ⁻¹		
<i>Stokerian stricta</i>	Verde malaquite (têxtil)			700-1000					400,00 mg g ⁻¹		
	Safranina O (têxtil)			1200-1500					384,00 mg g ⁻¹		

6. Conclusão

A literatura existente sobre a bioadsorção de metais e corantes por macroalgas marinhas revela tanto oportunidades como lacunas. Embora inúmeros estudos tenham demonstrado a eficiência das macroalgas marinhas na bioadsorção de metais, há uma escassez

notável de investigação focada na sua eficácia na remoção de corantes, especialmente com biomassa viva. A predominância de biomassa seca nos estudos levanta questões sobre a representação realista dos processos de bioadsorção, dadas as potenciais vantagens

do uso de macroalgas vivas, como a mitigação de CO₂. A análise dos estudos disponíveis destaca várias áreas que requerem uma exploração mais aprofundada. Fatores como a competição entre diferentes contaminantes numa solução que simula condições da vida real em esgotos e corpos de água não recebem a devida atenção nos trabalhos de investigação. Apenas alguns estudos abordam este aspeto, e há uma necessidade de mais trabalho nessa direção.

A eficiência da biofixação de macroalgas marinhas varia amplamente, influenciada por fatores como o tipo de contaminante, espécie de macroalga e sua condição. De notar que alguns estudos relatam valores máximos de biofixação baixos, enquanto outros demonstram valores significativamente mais elevados. Parâmetros específicos, incluindo pH, temperatura, tempo de contacto, concentração inicial de contaminante e concentração de biofixante, desempenham papéis cruciais no processo de biofixação e nos valores máximos de biofixação. Examinar as tendências nos principais parâmetros entre os estudos revela similaridades. A avaliação do tempo de contacto geralmente concentra-se no intervalo de 0 a 180 min, com benefícios adicionais limitados observados além desse período. Os valores de pH variam amplamente, mas geralmente existe um melhor desempenho em pH mais

baixo, especialmente para contaminantes aniônicos, que são os mais comuns. A concentração inicial de contaminante e a quantidade de biofixante apresentam amplas variações, com os valores comumente usados situando-se dentro de intervalos específicos influenciados por fatores como acessibilidade do contaminante e a espécie de macroalga empregada.

Concluindo, embora a eficiência da biofixação de macroalgas marinhas seja promissora, é necessária mais investigação para abordar lacunas de conhecimento, explorar condições realistas e padronizar parâmetros experimentais. Entender a complexidade dos fatores que influenciam a biofixação contribuirá para realizar o potencial das macroalgas marinhas nos processos de remediação ambiental.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), I.P. e Ministério da Educação (MEC) através de fundos nacionais, e cofinanciado pelo FEDER, no âmbito do Acordo de Parceria PT2020 e Compete 2020, pelo apoio financeiro ao REQUIMTE (LA/P/0008/2020 DOI 10.54499/LA/P/0008/2020, UIDP/50006/2020 DOI 10.54499/UIDP/50006/2020 e UIDB/50006/2020 DOI 10.54499/UIDB/50006/2020).

Referências

- [1] C. J. Vörösmarty, P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Greem, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann, P. M. Davies, *Nature* **2010**, 467, 555–561. DOI: 10.1038/nature09440.
- [2] UNESCO, "The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water," Handbook of Water Purity and Quality, 2023: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655> (accedido em 20/07/2024).
- [3] A. Ahmad, F. Banat, H. Alsafar, S. W. Hasan, *Sci. Total Environ.* **2022**, 806, 150585. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150585.
- [4] P. Bhatt, G. Bhandari, R. F. Turco, Z. Aminikhoei, K. Bhatt, H. Simsek, *Environ. Pollut.* **2022**, 309, 119688. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.119688.
- [5] R. Al-Tohamy, S. S. Ali, F. Li, K. M. Okasha, Y. A.-G. Mahmoud, T. Elsamahy, H. Jiao, Y. Fu, J. Sun, *Ecotoxicol. Environ. Safety* **2022**, 231, 113160. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113160.
- [6] J. Lin, W. Ye, M. Xie, D. H. Seo, J. Luo, Y. Wan, B. Van der Bruggen, *Nat. Rev. Earth Environ.* **2023**, 4, 785–803. DOI: 10.1038/s43017-023-00489-8.
- [7] H. Yuan, L. Chen, Z. Cao, F. F. Hong, *Biochem. Eng. J.* **2020**, 156, 107501. DOI: 10.1016/j.bej.2020.107501.
- [8] V. V. Chandanshive, S. K. Kadam, R. V. Khandare, M. B. Kurade, B.-H. Jeon, J. P. Jadhav, S. P. Govindwar, *Chemosphere* **2018**, 210, 968–976. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.064.
- [9] M. Hejna, D. Kapuščířska, A. Aksmann, *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, 19, 7717. DOI: 10.3390/ijerph19137717.
- [10] M. Ortúzar, M. Esterhuizen, D. R. Olicón-Hernández, J. González-López, E. Aranda, *Front. Microbio.* **2022**, 13, 869332. DOI: 10.3389/fmicb.2022.869332.
- [11] B. S. K. Ansar, E. Kavusi, Z. Dehghanian, J. Pandey, B. A. Lajayer, G. W. Price, T. Astatkie, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, 30, 116538–116566. DOI: 10.1007/s11356-022-21283-x.
- [12] A. A. Joicy, R. Selvamani, C. Janani, C. Balasubramanian, K. Prabhu, K. Marimuthu, G. Bupesh, T. S. Vijayakumar, K. M. Saravanan, *Lett. Appl. NanoBioScience* **2023**, 12, 1–10. DOI: 10.33263/LIANBS124.102.
- [13] A. Rehman, M. Usman, T. H. Bokhari, A. ul Haq, M. Saeed, H. M. A. Ur Rahman, M. Siddiq, A. Rasheed, M. Un Nisa, *J. Mol. Liq.* **2020**, 301, 112408. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.112408.
- [14] S. Benkhaya, S. M' rabet, A. El Harfi, *Inorg. Chem. Commun.* **2020**, 115, 107891. DOI: 10.1016/j.inoche.2020.107891.
- [15] K. G. Pavithra, P. S. Kumar, V. Jaikumar, P. S. Rajan, *J. Ind. Eng. Chem.* **2019**, 75, 1–19. DOI: 10.1016/j.jiec.2019.02.011.
- [16] T. Islam, Md. R. Repon, T. Islam, Z. Sarwar, M. M. Rahman, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 30, 9207–9242. DOI: 10.1007/s11356-022-24398-3.
- [17] V. K. Gupta, *Fundamentals of Natural Dyes and Its Application on Textile Substrates*, in A. K. Samanta, N. S. Awwad, H. M. Algarni (Eds.), "Chemistry and Technology of natural as synthetic Dyes and Pigments", IntechOpen, **2020**, 1–32. DOI: 10.5772/intechopen.89964.
- [18] R. Vinayagam, G. Murugesan, T. Varadavenkatesan, R. Bhole, L. C. Goveas, A. Samanth, M. B. Ahmed, R. Selvaraj, *Bioresour. Technol. Rep.* **2022**, 20, 101291. DOI: 10.1016/j.biteb.2022.101291.
- [19] P. M. S. Silva, T. R. Fiaschitello, R. S. Queiroz, H. S. Freeman, S. A. Costa, P. Leo, A. F. Montemor, S. M. Costas, *Dyes Pigm.* **2020**, 173, 107953. DOI: 10.1016/j.dyepig.2019.107953.
- [20] L. D. Árdila-Leal, R. A. Poutou-Piñales, A. M. Pedroza-Rodríguez, B. E. Quevedo-Hidalgo, *Molecules* **2021**, 26, 3813. DOI: 10.3390/molecules26133813.
- [21] P. K. Singh, R. L. Singh, *Int. J. Appl. Sci. Biotechnol.* **2017**, 5, 108–126. DOI: 10.3126/ijasbt.v5i2.16881.
- [22] H. Omar, A. El-Gendy, K. Al-Ahmary, *Turk. J. Bot.* **2018**, 42, 15–27. DOI: 10.3906/bot-1703-4.
- [23] P. A. Carneiro, G. A. Umbuzeiro, D. P. Oliveira, M. V. B. Zanoni, *J. Hazard. Mater.* **2010**, 174, 694–699. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.09.106.
- [24] A. Tkaczyk, K. Mitrowska, A. Posyñiak, *Sci. Total Environ.* **2020**, 717, 137222. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137222.
- [25] S. Srivastava, R. Sinha, D. Roy, *Aquat. Toxicol.* **2004**, 66, 319–329. DOI: 10.1016/j.aquatox.2003.09.008.
- [26] M. Y. D. Alazaiza, A. Albahnasawi, G. A. M. Ali, M. J. K. Bashir, D. E. Nassani, T. Al Maskari, S. S. A. Amr, M. S. A. Abujazar, *Water* **2022**, 14, 140. DOI: 10.3390/w14020140.
- [27] P. R. Rout, T. C. Zhang, P. Bhunia, R. Y. Surampalli, *Sci. Total Environ.* **2021**, 753, 141990. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141990.

- [28] F. Mansouri, K. Chouchene, N. Roche, M. Ksibi, *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 6659. DOI: 10.3390/app11146659.
- [29] R. S. Ramalho, "Introduction to Wastewater Treatment Processes," Elsevier, **2012**, 1–420. DOI: 10.1016/C2009-1-28564-9.
- [30] Bruno Henriques, *Metais em plantas e algas: acumulação e potencial aplicação em processos de remediação*, Tese de Doutoramento em Química, Universidade de Aveiro, **2014**. https://naleph.doc.ua.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=275569&shelfbrowse_itemnumber=319752
- [31] Thainara Ferreira, *Removal of elements with high economic and technological value from complex aqueous mixtures by living marine macroalgae*, Tese de Mestrado em Biotecnologia, Universidade de Aveiro, **2021**. <https://opac.ua.pt/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=304247>
- [32] N. E.-A. El-Naggar, R. A. Hamouda, A. A. Saddiq, M. H. Alkinani, *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 3555. DOI: 10.1038/s41598-021-82827-8.
- [33] Y. Li, M. A. Taggart, C. McKenzie, Z. Zhang, Y. Lu, S. Pap, S. Gibb, *J. Clean. Prod.* **2019**, *227*, 88–97. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.081.
- [34] S. Moyo, B. P. Makhanya, P. E. Zwane, *Heliyon* **2022**, *8*, e09632. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09632.
- [35] A. Silva, C. Delerue-Matos, S. A. Figueiredo, O. M. Freitas, *Water* **2019**, *11*, 1555. DOI: 10.3390/w11081555.
- [36] F. M. A. Akl, S. I. Ahmed, M. M. El-Sheekh, M. E. M. Makhlof, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 104814–104832. DOI: 10.1007/s11356-023-29549-8.
- [37] D. Selvaraj, N. K. Dhayabaran, A. Mahizhnan, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 124714–124734. DOI: 10.1007/s11356-022-21307-6.
- [38] S. Wang, S. Zhao, B. B. Uzojinwa, A. Zheng, Q. Wang, J. Huang, A. El-F. Abomohra, *Energy Convers. Manage.* **2020**, *222*, 113253. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113253.
- [39] A. Ali Redha, *Arab. J. Basic Appl. Sci.* **2020**, *27*, 183–193. DOI: 10.1080/25765299.2020.1756177.
- [40] P. O. Souza, L. R. Ferreira, N. R. X. Pires, P. J. S. Filho, F. A. Duarte, C. M. P. Pereira, M. F. Mesko, *Rev. Bras. Farmacogn.* **2012**, *22*, 825–837. DOI: 10.1590/S0102-695X2012005000076.
- [41] L. P. Mazur, M. A. P. Cechinel, S. M. A. G. U. de Souza, R. A. R. Boaventura, V. J. P. Vilar, *J. Environ. Manage.* **2018**, *223*, 215–253. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.05.086.
- [42] A. J. Cole, N. Neveux, A. Whelan, J. Morton, M. Vis, R. de Nys, N. A. Paul, *Algal Res.* **2016**, *20*, 100–109. DOI: 10.1016/j.algal.2016.09.026.
- [43] A. Singh, D. B. Pal, A. Mohammad, A. Alhazmi, S. Haque, T. Yoon, N. Srivastava, V. K. Gupta, *Bioresour. Technol.* **2022**, *343*, 126154. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126154.
- [44] T. Viana, N. Ferreira, D. S. Tavares, A. Abdolvaseei, E. Pereira, B. Henriques, *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 96617–96628. DOI: 10.1007/s11356-023-29088-2.
- [45] J. Pinto, B. Henriques, J. Soares, M. Costa, M. Dias, E. Fabre, C. B. Lopes, C. Vale, J. Pinheiro-Torres, E. Pereira, *J. Environ. Manage.* **2020**, *263*, 110376. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110376.
- [46] N. Ferreira, T. Viana, B. Henriques, D. S. Tavares, J. Jacinto, J. Colónia, J. Pinto, E. Pereira, *J. Hazard. Mater.* **2023**, *445*, 130405. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.130405.
- [47] E. Fabre, M. Dias, M. Costa, B. Henriques, C. Vale, C. B. Lopes, J. Pinheiro-Torres, C. M. Silva, E. Pereira, *Sci. Total Environ.* **2020**, *724*, 138133. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138133.
- [48] B. Henriques, T. Morais, C. E. D. Cardoso, R. Freitas, T. Viana, N. Ferreira, E. Fabre, J. Pinheiro-Torres, E. Pereira, *Sci. Total Environ.* **2021**, *786*, 147176. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147176.
- [49] B. Henriques, A. Teixeira, P. Figueira, A. T. Reis, J. Almeida, C. Vale, E. Pereira, *Sci. Total Environ.* **2019**, *652*, 880–888. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.282.
- [50] M. Yadav, S. Thakore, R. Jadeja, *Environ. Chem. Ecotoxicol.* **2022**, *4*, 67–77. DOI: 10.1016/j.enceco.2021.12.003.
- [51] S. Cengiz, L. Cavas, *Bioresour. Technol.* **2008**, *99*, 2357–2363. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.05.011.
- [52] H. A. Khalaf, M. M. El-Sheekh, M. E. M. Makhlof, *Environ. Monit. Assess.* **2023**, *195*, 929. DOI: 10.1007/s10661-023-11518-w.
- [53] M. Kousha, E. Daneshvar, H. Dopeikar, D. Taghavi, A. Bhatnagar, *Chem. Eng. J.* **2012**, *179*, 158–168. DOI: 10.1016/j.cej.2011.10.073.
- [54] A. Labena, A. E. Abdelhamid, A. S. Amin, S. Husein, L. Hamid, G. Safwat, A. Diab, A. A. Gobouri, E. Azab, *Plants* **2021**, *10*, 384. DOI: 10.3390/plants10020384.
- [55] R. M. Moghazy, A. Labena, S. Husien, *Int. J. Biol. Macromol.* **2019**, *134*, 330–343. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.04.207.
- [56] C. Motik, F. Chegdani, M. Blaghen, *AACL Bioflux.* **2023**, *16*, 1077–1092. <http://www.bioflux.com.ro/docs/2023.1077-1091.pdf>.
- [57] J. R. Guarín, J. C. Moreno-Pirajan, L. Giraldo, *J. Chem.* **2018**, *2018*, 2124845. DOI: 10.1155/2018/2124845.
- [58] A. Esmaeli, M. Jokar, M. Kousha, E. Daneshvar, H. Zilouei, K. Karimi, *Chem. Eng. J.* **2013**, *217*, 329–336. DOI: 10.1016/j.cej.2012.11.038.
- [59] M. Kousha, E. Daneshvar, M. S. Sohrabi, M. Jokar, A. Bhatnagar, *Chem. Eng. J.* **2012**, *192*, 67–76. DOI: 10.1016/j.cej.2012.03.057.
- [60] K. Marungrueng, P. Pavasant, *Bioresour. Technol.* **2007**, *98*, 1567–1572. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.06.010.
- [61] E. Daneshvar, A. Vazirzadeh, A. Bhatnagar, *Iran. J. Sci. Technol. Trans. A: Sci.* **2019**, *43*, 2743–2754. DOI: 10.1016/j.ijst.2012.11.038.
- [62] S. Bouzikri, N. Ouasfi, N. Benzidia, A. Salhi, S. Bakkas, L. Khamliche, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **2020**, *27*, 33636–33648. DOI: 10.1007/s11356-020-07846-w.
- [63] S. Saldarriaga-Hernandez, G. Hernandez-Vargas, H. M. N. Iqbal, D. Barceló, R. Parra-Saldívar, *Sci. Total Environ.* **2020**, *715*, 136978. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.136978.
- [64] A. Salima, B. Benaouda, B. Noureddine, L. Duclaux, *Water Res.* **2013**, *47*, 3375–3388. DOI: 10.1016/j.watres.2013.03.038.

>

Bruno Henriques

Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

LAQV-REQUIMTE – Laboratório Associado para a Química Verde.

Doutorado em Química, é Professor Auxiliar no Departamento de Química da Universidade de Aveiro. A sua área de atividade científica inclui a Química Analítica e Ambiental, e a Biotecnologia, aplicadas à melhoria da qualidade da água, e recuperação de elementos de alto valor económico e/ou estratégico, num contexto de sustentabilidade e economia circular; assim como a avaliação da contaminação ambiental e seus impactos na biota.

brunogalinho@ua.pt

ORCID.org/0000-0002-6472-5479

>

Eduarda Pereira

Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

LAQV-REQUIMTE – Laboratório Associado para a Química Verde.

Professora Associada no Departamento de Química da Universidade de Aveiro e coordenadora do Laboratório Central de Análises da mesma Universidade. Possui larga experiência científica na avaliação da qualidade ambiental e poluição de zonas estuarinas e costeiras, incluindo bioacumulação e bioamplificação de elementos potencialmente tóxicos ao longo de cadeias tróficas estuarinas.

eduper@ua.pt

ORCID.org/0000-0002-6046-5243

>

***Filipe L. S. Monteiro**

Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

Licenciado em Química Analítica pela Universidade de Aveiro. Trabalhou na Indústria, com funções na área da qualidade, de direção de produção e desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. É divulgador de ciência, realizando sessões de promoção da Química com recurso ao ilusionismo. Integra este grupo de investigação na procura de soluções aplicadas ao Ambiente e recuperação de elementos de alto valor económico e/ou estratégico.

filipelsmonteiro@ua.pt

ORCID.org/0000-0002-9536-0302

>

Sofia Grangeia

Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

Licenciada em Biotecnologia e mestre em Biotecnologia Industrial e Ambiental pela Universidade de Aveiro. O seu trabalho de investigação focou-se na utilização de macroalgas marinhas para a remediação de águas contaminadas.

sofiardg@ua.pt

CIENTIAVIAT/EA/B81E-B6F5-4D41

O Paradoxo do Vidro: Muito Além da Fragilidade

> Vasco D. B. Bonifácio

The Glass Paradox: Far Beyond Fragility.

Glass is an amorphous solid in a metastable state. Produced by man for thousands of years, glass has been performing central importance in society, used in different applications, from utility to decorative objects. The versatility of its structure has been explored, allowing the manufacture of materials with extraordinary properties by simple addition or doping with various components. From art to nanotechnology, glass is a truly magical material.

O vidro é um sólido amorfo num estado metaestável. Produzido pelo Homem há milhares de anos, o vidro tem desempenhado uma importância central na sociedade, usado em diferentes aplicações, desde objetos utilitários a objetos decorativos. A versatilidade da sua estrutura tem vindo a ser explorada, permitindo o fabrico de materiais com propriedades extraordinárias por simples adição ou dopagem com diversos componentes. Da arte à nanotecnologia, o vidro é um material verdadeiramente mágico.

*Glass, china, and reputation are easily cracked, and never well mended
(O vidro, a porcelana e a reputação são facilmente quebrados, mas nunca bem reparados)
Benjamin Franklin (1706-1790)*

A Idade do vidro

A 18 de maio de 2021, o Conselho Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou um pedido conjunto da *International Commission on Glass* (ICG), da *Community of Glass Associations* (CGA) e do *International Council of Museums-Glass* (ICOM-Glass) para que 2022 fosse declarado o Ano Internacional do Vidro das Nações Unidas. Nesse ano comemorou-se o papel essencial do vidro na sociedade [1].

A União Europeia (UE) é o maior produtor de vidro do mundo, com uma participação de mercado de cerca de um terço da produção mundial total. No início do século XX, na Alemanha, o vidro era um tópico de investigação e desenvolvimento, sendo de destacar a fundação do *Kaiser Wilhelm Institute* em Berlim-Dahlem (1926), mais tarde estabelecido em Würzburg como *Max-Planck Institute for Silicate Research* (1952) e atualmente *Institute for Silicate Research ISC*, desde 1971, sem nunca perder o foco na investigação de materiais de vidro e cerâmica avançados.

A ideia de estabilidade eterna esteve sempre associada ao vidro. Johann Kunckel von Löwenstern (1630-1703), autor de *Ars Vitriaria Experimentalis* (1689), fabricante de vidro alemão, que era também farmacêutico e alquimista, escreveu que a arte da fabricação de vidro seria a última de todas as artes, porque se Deus destruísse o mundo com fogo tudo se transformaria em vidro. Este ponto de vista está

refletido na marca usada pelos fabricantes de vidro, o símbolo do infinito (um oito na horizontal) na ponta de uma cruz invertida. Nesta marca, a metade esquerda do oito simboliza o vidro fundido, enquanto a metade direita representa o estado sólido. A cruz significa uma espada e simboliza o poder ou a energia necessária para transformar o vidro no estado líquido ou sólido [2].

O vidro é um dos materiais mais intrigantes produzidos pelo Homem, desafiando a definição clássica de sólido e líquido. Existem também vidros de origem natural, a obsidiana e o *tektite* (do grego *tektos*, que significa fundido ou derretido) (Figura 1).

Figura 1 - Exemplos de vidro de origem natural. Ferramenta de corte em obsidiana, ca. 30000 a.C., em exposição no Museu Arqueológico de Cracóvia, Polónia (A). *Tektite* australiano em exposição no Museu de Melbourne, Austrália (B). Créditos: Damian Stefański, *Archaeological Museum Kraków* e *Earth Science Australia*.



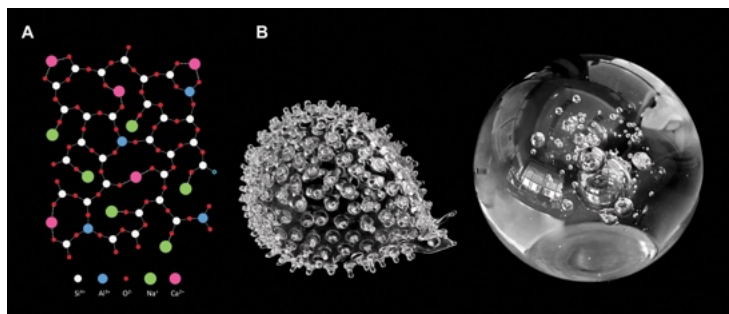
A obsidiana é produzida pelo arrefecimento rápido de lava rica em sílica. Neste processo produzem-se diferentes variedades, de acordo com a presença de inclusões minerais ou pela cor e o brilho da rocha (negra, verde, dourada, arco-íris e neve - *snowflake obsidian* - por incorporação de feldspato). A sua dureza e capacidade de ser moldada em lâminas finas e afiadas tornaram-na essencial na produção de ferramentas e armas ao longo da história, tendo sido também considerada um material sagrado em várias culturas. Atualmente, as lâminas de obsidiana, devido à sua espessura fina e borda muito afiada, são usadas em cirurgias de alta precisão. O *tektite* é produzido por impacto de meteoritos ou asteroides na Terra. Pela sua importância geológica, são famosos os *tektites* do deserto da Namíbia e os *tektites* da Austrália, usados pelos aborígenes australianos em diversos rituais, com cores que variam entre o preto e o verde-escuro.

O vidro é um sólido amorfo. Por aquecimento, passa de um estado sólido a um estado líquido, de elevada viscosidade. Se o arrefecimento for muito lento ocorre uma cristalização, com alguma organização da estrutura (devitrificação). Por outro lado, se o arrefecimento for muito rápido obtém-se novamente o vidro num estado metaestável. Esta transição de estados ocorre a uma temperatura pouco definida (ao contrário dos sólidos cristalinos), denominada temperatura de transição vítrea (T_g). A T_g do vidro varia com a sua composição: vidro de sílica pura (SiO_2) ~1200-1600 °C; vidro de borossilicato (e.g., Pyrex) ~520 °C; vidro de soda-cal (vidro comum de janelas e garrafas) ~520-570 °C e vidros de fosfatos e aluminossilicatos ~200-700 °C [3].

A estrutura de um vidro segue a teoria de rede de Zachariasen-Warren [4], que assume a formação de uma rede tridimensional de poliedros de baixo número de coordenação (e.g., tetraedros de SiO_4) (Figura 2), obedecendo a um conjunto de requisitos.

Figura 2 - Representação da estrutura do vidro de soda-cal (A). Os átomos de silício estão ligados entre si através de átomos de oxigénio. Por razões de clareza, a quarta ligação do silício não está representada. Outros metais também se podem ligar ao silício através de átomos de oxigénio. Todos os metais, assim como os não metais, estão no seu estado de

oxidação normal. Porco-espinho em vidro (peça oca) e pisa-papéis com bolhas de ar aprisionadas (peça maciça), demonstrando a versatilidade do vidro na construção de peças de maior complexidade/fragilidade ou simplicidade/resistência (B). Crédito: Martin Friedrich (figura adaptada). As peças de vidro foram selecionadas da coleção particular do autor.



Esta teoria aplica-se a vidros simples, constituídos apenas pelo óxido formador de rede, sendo ainda válida quando são adicionados outros óxidos como modificadores de rede (e.g., Na_2O , K_2O e CaO), que se irão acomodar nos espaços interpoliedros. Os modificadores de rede apenas contribuem para a neutralidade elétrica da rede de átomos de oxigénio, e o seu papel depende de fatores como o tamanho, a carga ou valência, a configuração da última camada e a capacidade de polarização. Nos vidros, há normalmente uma relação entre o número médio de coordenação e a viscosidade.

A adição de aditivos altera a estrutura do vidro, estando classificados em três categorias: formadores de rede, com número de coordenação 3 ou 4 (e.g., Si, B e P); modificadores de rede, com número de coordenação superior a 6 (e.g., Na, K, Ca e Ba) e consolidadores de rede.

Na produção de vidros podem usar-se cinco categorias de materiais, de acordo com a sua função: **formação** (em vidros comerciais são principalmente SiO_2 , B_2O_3 e P_2O_5 , mas também podem ser usados GeO_2 , Bi_2O_3 , As_2O_3 , Sb_2O_3 , TeO_2 , Al_2O_3 , Ga_2O_3 , V_2O_5 e outros), **fluidez** (para reduzir a temperatura de processamento, e.g., < 1600 °C, maioritariamente Na_2O e K_2O , tendo o uso de PbO sido descontinuado por questões de toxicidade), **modificação** (para equilibrar os efeitos da adição de agentes de fluidez, e.g., alumina, alcalino-terrosos e óxidos de metais de transição), **coloração** (para efeitos decorativos, e.g., óxidos de metais de transição, terras raras, óxidos de urânio, ouro e prata em dispersão coloidal) e **acabamento** (para remover as bolhas de ar do vidro fundido, e.g., óxidos de arsénio e antimónio, nitratos de sódio e potássio, NaCl , CaF_2 , NaF , Na_3AlF_6 e vários sulfatos).

A magia da cor

Num vidro, a forma como a luz é absorvida por um catião é afetada pela sua posição na estrutura, podendo a cor ser intensificada através de um reaquecimento. A coloração do vidro também pode ficar a dever-se à precipitação e crescimento de partículas coloidais. A famosa Taça de Licurgo muda de cor entre vermelho e verde dependendo da iluminação devido à presença de nanopartículas de ouro e prata (Figura 3) [5]. A composição da Taça foi revelada em 1990 após observação de fragmentos do vidro ao microscópio. A descoberta de nanopartículas de ouro e prata com tamanho inferior a 50 nanómetros (nm) demonstra que os romanos foram pioneiros na nanotecnologia!

Os exemplos mais emblemáticos de vidros vermelhos (*true ruby*), devem a sua cor à presença de precipitados metálicos, como sejam o ouro (nanopartículas com um tamanho inferior a 20 nm), o telúrio (óxidos), o cobre (óxidos) e o cádmio (calcogenetos).

A produção de vidro com tons de vermelho, por adição de ouro, já era conhecida na antiguidade. O



Figura 3 - Taça de Licurgo (300 d.C.). A taça representa uma cena mitológica que envolve o rei Licurgo da Trácia enredado num emaranhado de videiras, situação decorrente de cometer atos malignos contra o deus grego do vinho, Dionísio. O copo é opaco com

uma cor verde (foto à direita) e torna-se gradualmente translúcido e com uma cor vermelha brilhante quando é atravessado pela luz (fotos do meio e à esquerda). A taça encontra-se em exposição na sala 41 do *British Museum* em Londres. Crédito: *The Trustees of the British Museum*.

alquimista alemão Andreas Libavius reportou em 1597, no seu livro *Alchymia*, que o ouro dissolvido produzia uma tintura vermelha que poderia ser usada para fazer “cristal vermelho”. O primeiro tratado moderno sobre vidro, *L'Arte Vetraria*, escrito em 1612 por Antonio Neri, um padre florentino, também fazia referência à produção de vidro vermelho usando ouro, mas não incluía qualquer informação sobre o processo ou mesmo uma receita básica. A primeira pessoa a registar um método para obter o vidro rubi foi o químico alemão Johann Rudolph Glauber, em 1659. Ele descreve que o ouro poderia ser dissolvido numa solução contendo estanho e ácido clorídrico. O ouro então precipitaria a partir da solução como um pó de cor púrpura (mais tarde chamado púrpura de Cassius) que poderia ser adicionado ao vidro para torná-lo vermelho. Este processo consiste na realidade na dissolução do ouro numa solução de água régia (do latim *aqua regia*), uma das poucas soluções (uma mistura de ácido nítrico e ácido clorídrico concentrados na proporção de 1:3) que consegue dissolver o ouro e a platina, metais nobres (régios). Esta solução é depois misturada com cloreto de estanho(II). O cloreto de estanho(II) reduz o ácido cloroáurico, originando partículas coloidais de ouro elementar depositado em dióxido de estanho.

Um exemplo extraordinário do vidro rubi é um cálice em forma de concha fabricado por Johann Kunckel [6], um fabricante de vidro alemão que era também farmacêutico e alquimista (Figura 4).

O vidro azul era também muito apreciado e foi muito explorado na Idade Média, principalmente em vitrais de catedrais europeias (Figura 5). A cor azul é obtida usando diferentes elementos: o cobalto, que por produzir um azul intenso e vibrante, mesmo usando pequenas quantidades, é um dos corantes mais comuns; óxidos de ferro, que dependendo

da oxidação podem resultar em tons azulados ou esverdeados; o cobre, que origina um tom azul-esverdeado, dependendo das condições da fusão do vidro; e o selênio e o cádmio, que combinados produzem vidros azulados ou arroxeados.

Figura 4 - Cálice de Johann Kunckel (1685-1690). O cálice está gravado com uma cena de querubins a brincar junto a videiras. A gravura é atribuída a Gottfried Spiller (1663-1728) que gravou vários objetos de vidro rubi. O cálice foi adquirido em 2023 pelo museu *Rijksmuseum* em Amesterdão. Crédito: *Maartje Bratting, Rijksmuseum*.



Figura 5 - Rei Salomão em vitral da catedral de Notre-Dame de Chartres no Vale de Loire (1230). O vitral é composto por peças de vidro de várias cores, sendo de destacar o azul-cobalto, também conhecido por azul de Chartres, um dos quatro tons de azul identificados nos vitrais dessa catedral. Crédito: *Hans Bernhard*.

Radioativo, mas pouco...

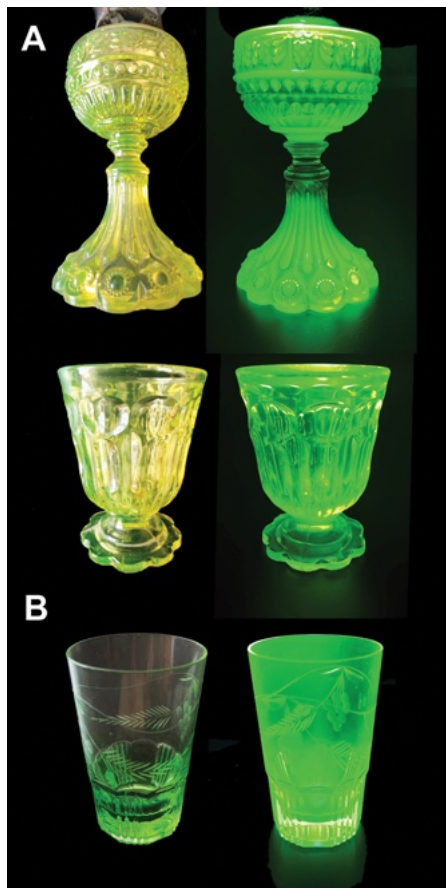
A descoberta de um mural de mosaicos de vidro numa casa de campo em Cabo Posillipo, na costa de Nápoles (Itália), comprova que os Romanos, no início da era cristã, já incorporavam urânio em peças de vidro [7]. No entanto, a produção de vidro com urânio, adicionado na forma de diuranato de sódio ($\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$) ou carbonato de sódio de uranilo ($\text{Na}_6(\text{CO}_3)_5\text{U}_2\text{O}_4$), teve o seu auge entre os séculos XIX e XX, sendo especialmente popular na Europa. A Alemanha e a Chéquia eram os grandes centros

produtores no século XIX, bem como a região da Boémia (atual Chéquia), onde Franz Anton Riedel (1786-1844) foi um dos pioneiros no uso do urânio em peças de vidro.

A produção diminuiu após a Segunda Guerra Mundial devido a preocupações com a segurança e ao controle mais rígido sobre o uso de urânio, especialmente na Europa Ocidental. Em Portugal não há registos significativos de produção de vidro com urânio, mas a maioria das peças terá sido fabricada na Fábrica de vidro da Marinha Grande dos finais do séc. XIX até aos anos 70 do séc. XX.

A percentagem de urânio, presente no vidro sob a forma de óxido de urânio, inicialmente mais elevada (ca. 25%) [8], foi variando ao longo do tempo até valores residuais de cerca de 2%. O óxido de urânio confere ao vidro uma coloração que é dependente do estado de oxidação deste elemento: amarela usando urânio(IV), UO_2 (mais estável), ou verde usando urânio(VI), UO_3 , e uma fluorescência esverdeada intensa sob a luz ultravioleta (Figura 6).

Figura 6 - Peças em vidro contendo urânio. Candeeiro a petróleo e taça de sobremesa com coloração amarela (A) e copo de licor com coloração verde (B), sob luz natural (fotos à esquerda), ambas com uma fluorescência verde intensa sob uma lâmpada de ultravioleta (fotos à direita). As peças de vidro com urânio foram selecionadas da coleção particular do autor.



Estas colorações foram batizadas por Josef Riedel (1816-1894), em honra da sua mulher Anna, como *Annagelb* (amarela) e *Annagrün* (verde). Nesta altura, a Inglaterra e a França também produziam vidro de urânio, tendo aqui sido conhecidos como *Canary Glass* e *Verre Canari*, respetivamente. Devido à sua aparência translúcida de amarelo-verde, este tipo de vidro também foi chamado de *vidro vaselina*.

O aumento da percentagem de óxido de urânio não produz diferenças significativas na coloração do vidro, no entanto a fluorescência é proporcional à concentração. Contudo, não é possível tirar conclusões sem efetuar uma análise da composição do vidro pois a fluorescência é dependente da percentagem de óxido de cálcio, que atua como supressor de fluorescência [9].

Por motivos de saúde dos trabalhadores da indústria vidreira, a fabricação do vidro com urânio foi proibida, e atualmente apenas é possível encontrar estas peças em antiquários ou em coleções particulares. O manuseamento do vidro de urânio é segura uma vez que as radiações alfa e beta emitidas são muito fracas e não atravessam o vidro. A radiação de fundo natural (em ambiente normal, medida em microsievverts por hora, $\mu Sv/h$) é baixa: 0,05 a 0,3 $\mu Sv/h$, num vidro com urânio típico (~0,1% a 2% de urânio); 0,1 a 1,5 $\mu Sv/h$ na superfície do vidro, num vidro com concentrações mais altas (>2% de urânio em peças antigas raras); até 5 $\mu Sv/h$, ainda assim dentro de um nível considerado seguro para exposição ocasional se comparado com os limites de segurança (dose média anual por radiação natural: ~2400 $\mu Sv/ano$ ou ~0,27 $\mu Sv/h$; raio X de tórax: 100 μSv por exame).

Fluorescências raras e não só

A dopagem do vidro com iões de terras raras (REIs) (e.g., Sm^{3+} , Er^{3+} e Er^{3+}/Yb^{3+}) permite aplicações diversas, desde as telecomunicações à medicina. Os REIs permitem a observação de linhas espectrais de absorção e emissão bem definidas, resultantes de alterações eletrónicas que ocorrem na configuração da camada $4f$ destes iões. Além disso, as posições dessas linhas espectrais são minimamente influenciadas pelo ambiente circundante devido à blindagem efetiva da camada f de ligantes externos. Com o desenvolvimento do laser ótico em 1960, para o qual muito contribuiu o conceito de emissão estimulada proposto por Einstein em 1916, os vidros dopados com neodímio (Nd^{3+}) tornaram-se importantes no funcionamento de lasers de levada potência. Os lasers de vidro de neodímio ($Nd:YAG$), emitindo a 1060 nm, despertaram a atenção uma vez que podem ser usados à temperatura ambiente com uma eficiência relativamente alta [10]. O YAG (do inglês *Yttrium, Aluminium-Garnet*, $Y_3Al_5O_{12}$) é um cristal anisotrópico, incolor, com uma estrutura cúbica

característica das granadas (*garnet*), normalmente composta por um arranjo regular de átomos de ítrio, alumínio e oxigênio na fórmula geral $A_3B_2(SiO_4)_3$. No Nd:YAG o silício não está presente, mas segue a mesma organização cristalina e aproximadamente 1% de Y^{3+} é substituído por Nd^{3+} .

As propriedades dos vidros dopados com REIs permitiram, assim, o desenvolvimento de lasers de estado sólido, que emitem no visível e infravermelho próximo (NIR) com mais eficiência do que os cristais únicos [11]. À parte da sua utilidade científica, a fotoluminescência pode ser igualmente explorada na produção de objetos de arte [12] ou de uso doméstico, como é o caso de vidro dopado com neodímio, também chamado de vidro de Alexandrite, o qual se torna rosa luminescente por adição de selênio (Figura 7). A adição de outros aditivos permite a obtenção de vidros com diferente luminescência (e.g., verde, laranja). O vidro de Alexandrite tornou-se popular a partir de 1927 através do trabalho inovador de Leo Moser (1879-1974), herdeiro de um dos mais prestigiados fabricantes de vidro de luxo da região da Boémia, com recurso à dopagem com óxidos de terras raras. O vidro Moser é o vidro decorativo do século XX mais colecionado. É também considerada uma das marcas mais famosas do mundo na produção de cristal de luxo, sendo todas as peças feitas manualmente.



Figura 7 - Cálice de licor em vidro dopado com neodímio e selênio, sob luz natural (foto da esquerda) e sob luz ultravioleta (385 nm, foto da direita). A emissão rosa é devida à presença de selênio. Crédito: Sarah Folts, *The Butterfly Babe* (fotos adaptadas).

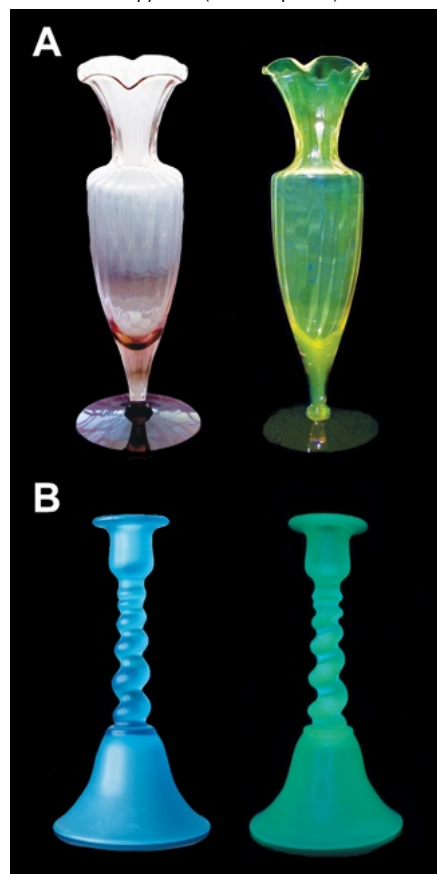
Corar ou descorar?

O registo mais antigo da incorporação de manganês no vidro é 660 a. C. no Egito, tendo sido amplamente usado até aos nossos dias. O manganês na forma de dióxido de manganês (MnO_2) foi usado, em baixa concentração, para remover a coloração esverdeada causada pelo ferro (Fe^{2+}) presente na areia de sílica (0,5 a 2% em óxido de ferro). A oxidação dos iões Fe^{2+} (verde) a Fe^{3+} (amarelado), resulta num vidro mais incolor. Por outro lado, como a cor magenta é complementar da cor verde, esta estratégia também “cancela” a tonalidade verde. Por esta razão é chamado

de “sabão do vidreiro” [13]. Após a Primeira Guerra Mundial o uso de manganês foi sendo substituído por selênio como agente de descoloração, apesar de ser mais volátil na temperatura de trabalho. Esta mudança foi, na verdade, resultado de melhorias tecnológicas na indústria do vidro e está intimamente ligada à introdução de máquinas automáticas para a produção de garrafas. A *performance* do MnO_2 é superior na produção de vidro soprado, por causa da necessidade de um ambiente oxidante, sendo menos eficaz em tanques abertos [14].

Por outro lado, em concentrações mais elevadas, e dependendo do estado de oxidação, o manganês pode ser usado como corante. Por exemplo, o Mn^{2+} produz vidro rosa ou lilás claro e o Mn^{3+} produz vidro com tons violetas e púrpuras. O equilíbrio entre os iões Mn^{2+} e Mn^{3+} pode ser alterado através de irradiação ultravioleta, razão pela qual muitos vidros antigos

Figura 8 - Peças em vidro contendo manganês. Jarra com elevada concentração de manganês (A), com coloração rosa sob luz natural (foto à esquerda) e fluorescência verde sob luz ultravioleta (365 nm, foto à direita), e candelabro com baixa concentração de manganês (B), com coloração azul sob luz natural (foto à esquerda) e fluorescência verde sob luz ultravioleta (365 nm, foto à direita). A coloração azul neste caso deve-se ao uso de cobalto contendo impurezas de óxido de manganês, uma vez que os iões cobalto tendem a atuar como supressores de fluorescência. Crédito: Sarah Folts, *The Butterfly Babe* (fotos adaptadas).



contendo manganês adquirem um tom violeta com o tempo devido à exposição à luz solar! O uso de MnO_2 em grande excesso produz um vidro roxo-escuro ou preto, uma estratégia usada para imitar ametista (vidro de ametista), uma variedade de quartzo com coloração púrpura. Neste tipo de vidros poderá também ocorrer termoluminescência se o decaimento dos eletrões ocorrer no processo de aquecimento.

O uso do manganês como ativador da fluorescência em vidros e cristais foi iniciado pelos químicos franceses George Urbain (1872–1938; descobriu o lutécio e estudou as propriedades das terras raras, especialmente o lutécio, o gadolínio, o európio e o térbio) e Lecoq de Boisbaudram (1938–1912; pioneiro da espectroscopia, também descobriu o gálio, o samário e o disprósio).

A fluorescência do manganês e a sua dependência com a composição do vidro não está totalmente esclarecida. Foi postulado que a fluorescência verde

podia ser causada pelo ião Mn^{2+} e a fluorescência vermelha pelo ião Mn^{3+} [15]. No entanto, o estado de oxidação não explica por si só este fenómeno uma vez que apenas os iões Mn^{2+} produzem fluorescência [16]. Deste modo, o número de coordenação dos iões Mn^{2+} poderá ser o responsável pela variação da fluorescência com a composição do vidro (Figura 8).

Considerações finais

O vidro esconde um potencial quase ilimitado de aplicações. A sua fragilidade é, de facto real, mas transiente. Estando num estado metastável, tem a capacidade de renascer e de iniciar um novo ciclo, quiçá com outro *glamour*, com mais cor ou brilho! O vidro é também um exemplo de integração, da qual resulta o seu maior valor e versatilidade, acomodando a sua estrutura a diferentes elementos, sem perder o seu valor e tirando sempre partido de novas interações.

Referências

- [1] Welcome to the glass age, A. Drán, J. M. Parker (Eds.), CSIC, Madrid, **2022**.
- [2] J. Broul, *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* **1999**, *72(4)*, N39–N40.
- [3] J. E. Shelby, "Introduction to glass science and technology" (2nd Ed.), The Royal Society of Chemistry, Cambridge, **2005**.
- [4] W. Vogel, "Glass chemistry" (2nd Ed.), Springer-Verlag, Berlin, **1994**.
- [5] G. Scott, *J. Glass Stud.* **1995**, *37*, 51–64. URL: [jstor.org/stable/24190775](https://www.jstor.org/stable/24190775).
- [6] Maartje Bratting, Every prince in Europe would have coveted a goblet like this, *Apollo – The International Art Magazine*, 30 maio 2023. URL: apollo-magazine.com/johann-kunckel-gold-ruby-glass-goblet-rijksmuseum (acedido em 04/03/2025).
- [7] E. R. Caley, *Isis* **1948**, *38*, 190–193. DOI: 10.1086/348071.
- [8] E. R. Landa, D. J. DiSantis, *RadioGraphics* **1993**, *13*, 697–699. DOI: 10.1148/radiographics.13.3.8316677.
- [9] J. Navarro, "El Vidrio" (3rd Ed.), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Madrid, **2003**.
- [10] L. W. Rikker, *ACS Symposium Series* **1981**, *164*, 81–94. DOI: 10.1021/bk-1981-0164.ch004.
- [11] S. O. Adeleye, A. A. Adeleke, P. Nzerem, A. I. Olosho, E. N. Anosike-Francis, T. S. Ogedengbe, P. P. Ikubanni, R. A. Saleh, J. A. Okolie, *Trends Sci.* **2024**, *21*, 8759. DOI: 10.48048/tis.2024.8759.
- [12] T. Almeida, A. Ruivo, A. Pires de Matos, R. M. de Oliveira, A. Antunes, *J. Cult. Herit.* **2008**, *9*, e138–e142. DOI: 10.1016/j.culher.2008.06.002.
- [13] R. Abd-Allah, *Adv. Res. Conserv. Sci.* **2022**, *3*, 30–41. DOI: 10.21608/arcs.2022.135911.1025.
- [14] B. Lockhart, *Hist. Archaeol.* **2006**, *40*, 45–56. DOI: 10.1007/BF03376725.
- [15] L. Bruninghaus, *J. Phys. Radium* **1931**, *2*, 398–402. DOI: 10.1051/jphysrad:01931002012039800.
- [16] S. H. Linwood, W. A. Weyl, *J. Opt. Soc. Am.* **1942**, *32*, 443–453. DOI: 10.1364/JOSA.32.000443.

>

Vasco D. B. Bonifácio

iBB-Institute for Bioengineering and Biosciences e i4HB-Institute for Health and Bioeconomy.

Departamento de Bioengenharia, Instituto Superior Técnico.

Vasco Bonifácio é Professor de Biomateriais no Departamento de Bioengenharia do Instituto Superior Técnico. Bacharel em Engenharia Química, Licenciado em Química Aplicada (Ramo de Química Orgânica) e com um Doutoramento

em Química (Especialização em Química Orgânica), na FCT-UNL em 2006. Fez um pós-doutoramento em eletrónica molecular no *Institut für Polymertechnologie* na Universidade de Wuppertal (Alemanha 2007–2008). Foi Investigador do Programa MIT Portugal, Cientista Convidado do *Koch Institute for Integrative Cancer Research* no MIT (EUA 2012), Cientista Convidado da Universidade de Bordéus (França 2016), Professor Visitante da

Faculdade de Medicina da Universidade de Castilla-La Mancha (Espanha 2023) e Professor Visitante do *Fraunhofer Institute for Silicate Research ISC* (Alemanha 2023). Os seus interesses de investigação centram-se na nanoterapêutica sustentável, usando nanobiomateriais, em especial os dendrímeros de poliureia (PURE) desenvolvidos por ele, tendo demonstrado o seu potencial terapêutico como nanoveículos de fármacos e ácidos nucleicos, como polímeros antibióticos

e antifúngicos e como agentes imunomodulatórios. Mais recentemente, tem vindo a explorar a mecanoquímica como uma via de síntese alternativa, mais versátil e sustentável face aos processos convencionais. É colecionador de objetos de vidro, com um interesse especial em vidro de urânio.

vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt
 ORCID.org/0000-0003-2349-8473

Riluzol – Um Surto de Luz para Pacientes com ELA

>
Diogo Monteiro
Raquel Pinto
Rúben Neto

Riluzole – A Burst of Light for ALS

Patients. *This concise review explores the pharmacokinetic and pharmacodynamics aspects of riluzole, a key therapeutic option for amyotrophic lateral sclerosis (ALS). Highlighting its impact on glutaminergic activity, the review emphasizes the need for personalized medicine approaches due to inter-individual variations in drug clearance. While riluzole's benefits are evident in managing ALS symptoms, ongoing research is crucial to uncover the disease's complexities and develop more effective interventions.*

Esta revisão explora os aspetos farmacocinéticos e farmacodinâmicos do riluzol, uma opção terapêutica importante para a esclerose lateral amiotrófica (ELA), destacando o seu impacto na atividade glutaminérgica, e enfatizando a necessidade de abordagens de medicina personalizada devido às variações interindividuais na excreção do fármaco. Embora os benefícios do riluzol sejam evidentes no tratamento dos sintomas da ELA, a pesquisa contínua é crucial para desvendar as complexidades da doença e desenvolver intervenções mais eficazes.

1. Esclerose lateral amiotrófica: a patologia

A esclerose lateral amiotrófica (ELA) foi descrita pela primeira vez em 1869, por Charcot e Joffroy [1], como uma doença neurodegenerativa associada à degeneração progressiva dos neurónios motores originários do córtex motor primário, do trato cortico-espinal, do tronco cerebral e da medula espinhal, acompanhada pela perda gradual de massa muscular e capacidade motora [2].

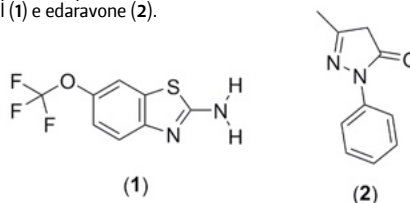
Esta doença pode ser categorizada de acordo com o seu grau de incidência inicial, isto é, onde os primeiros sintomas aparecem, assim como em relação ao seu papel hereditário. Sabe-se que 90 a 95% dos casos diagnosticados têm uma incidência esporádica, esclerose lateral amiotrófica esporádica (SALS), sem histórico familiar, onde a doença aparece como um caso isolado e sem motivo aparente [3]. Temos ainda a esclerose lateral amiotrófica hereditária familiar (FALS), acompanhada por numerosos casos familiares, associada a fatores genéticos moleculares, onde pelo menos 13 genes e “locimajorly” contribuem maioritariamente para o desenvolvimento da doença. Um deles é a superóxido dismutase 1 (SOD1), onde a mutação em SOD1 codifica a enzima antioxidante de radicais livres Cu/Zn superóxido dismutase, e pode levar à agregação de proteínas ubiquitinadas em neurónios motores afetados [4,5]. Estima-se que este gene seja responsável por 20% dos casos de FALS e 5% dos casos de SALS, no entanto, o mecanismo de mediação da doença através deste gene permanece incerto [6].

Em termos de incidência, a ELA pode manifestar-se inicialmente nos membros inferiores ou superiores,

acompanhada de espasticidade e consequente perda de densidade muscular e capacidades motoras. Para estes pacientes, a expectativa média de vida varia entre três a cinco anos. Por outro lado, podem observar-se manifestações sintomáticas no trato respiratório, ELA de início bulbar, onde os pacientes geralmente apresentam disartria (perturbação da fala) e disfagia (dificuldade de deglutição) para sólidos ou líquidos. Os sintomas nos membros podem desenvolver-se quase simultaneamente com os sintomas bulbares e, no entanto, na maioria dos casos, ocorrerão dentro de um a dois anos, onde a paralisia é progressiva e leva à morte devido à insuficiência respiratória dentro de dois a três anos para sintomas bulbares [2].

Apesar de a ELA ser conhecida há muitas décadas, a sua complexidade e os sintomas vagos, frequentemente associados a problemas de coluna, levam a uma maior dificuldade no desenvolvimento de tratamentos e diagnósticos, tendo como consequência o facto de apenas dois fármacos estarem aprovados para o tratamento da ELA, o riluzol (1) e o edaravone (2), representados na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura química dos dois fármacos aprovados para o tratamento da ELA: riluzol (1) e edaravone (2).

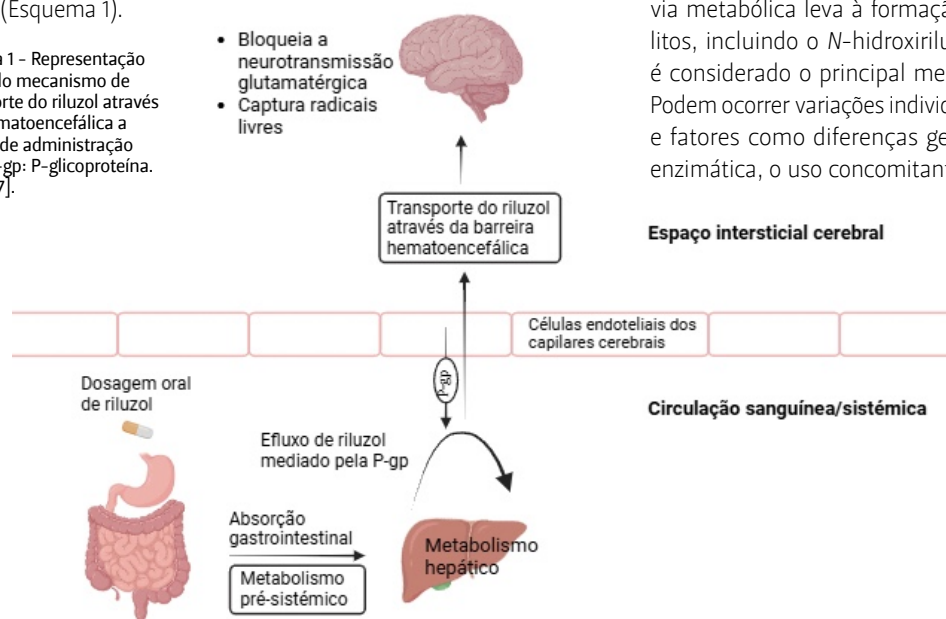


2. Riluzol: alvos e mecanismo de ação

O riluzol começou a ser desenvolvido na década de 90 do século XX, inicialmente como um captador de radicais livres para terapia do Acidente Vascular Cerebral (AVC). Após algumas reformulações e estudos farmacocinéticos e farmacodinâmicos, o riluzol emergiu em 1995 como uma terapia potencial para a ELA. Desde então, muitos fármacos têm sido estudados como forma de terapia, tendo sido testados a partir das mais diversas categorias terapêuticas, tais como agentes anti-glutaminérgicos, anti-inflamatórios, antioxidantes, neuroprotetores, agentes neurotróficos e inibidores do fator 1R estimulador de colônia, no entanto, nenhum com sucesso. Os ensaios clínicos com o edaravone começaram em 2011 no Japão, tendo o fármaco sido aprovado no país em 2015. Somente em 2017, o edaravone obteve aprovação da FDA dos EUA e, desde então, têm sido realizados numerosos ensaios clínicos [7-9].

Estes fármacos parecem ter um potencial promissor para o tratamento desta patologia. O mecanismo exato de ação do riluzol não é totalmente compreendido, mas acredita-se que envolva a inibição da transmissão da atividade glutaminérgica e, subsequentemente, a diminuição da excitotoxicidade mediada pelo glutamato, sendo este potencial demonstrado em ensaios *in vivo*, onde é verificada a inibição da liberação de ácido glutâmico a partir de neurônios cultivados, fatias de cérebro e neurônios corticostriatais. Este fármaco também mostrou bloquear alguns dos efeitos pós-sinápticos do ácido glutâmico por bloqueio não competitivo de *N*-metil-D-aspartato (NMDA). Além disso, o riluzol tem a capacidade de eliminar radicais livres, como sugerido para o seu propósito inicial [7,10,11]. Em termos de administração, o riluzol é administrado por via oral, tendo de atravessar várias barreiras internas até ao seu alvo (Esquema 1).

Esquema 1 - Representação esquemática do mecanismo de ação e transporte do riluzol através da barreira hematoencefálica a partir do local de administração do fármaco. P-gp: P-glicoproteína. Adaptado de [7].



De seguida, abordar-se-ão dois tópicos principais: a farmacocinética do riluzol, levando em consideração alguns aspetos importantes como absorção e biodisponibilidade, distribuição, metabolização, excreção e potencial de interação do fármaco, e a farmacodinâmica desse medicamento.

3. Farmacocinética

3.1. Absorção e biodisponibilidade

Nesta etapa, o riluzol apresentou excelentes resultados, não tendo revelado problemas relevantes em nenhum dos testes realizados. No estudo de balanço de massa oral, foi observada uma absorção acima de 90% e uma biodisponibilidade de cerca de 60% [12]. O tempo para atingir a concentração plasmática máxima (t_{max}) foi definido em 1-1,5 h [7]. Por fim, a exposição foi linear no intervalo de dose de 25-300 mg administrada a cada 12 h [7,13].

3.2. Distribuição

Em termos de distribuição, o fármaco apresentou igualmente bons resultados. Foram realizados dois testes, um teste de distribuição nos tecidos e um teste de ligação às proteínas, e os resultados foram os seguintes: um volume de distribuição (V_d) de 3,4 L/kg e uma ligação às proteínas de 96% no plasma humano. Também foi observada uma afinidade primária com a albumina e lipoproteínas [7,14].

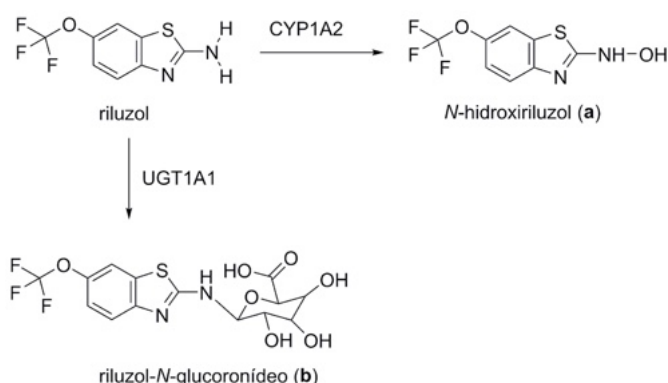
3.3. Metabolização e excreção

Como mostrado no Esquema 1, ocorre uma extensa metabolização hepática, que se presume ser principalmente originada pelo citocromo hepático CYP1A2 e pelo citocromo extra-hepático CYP1A1, um membro da família de enzimas do citocromo P_{450} [15]. Esta via metabólica leva à formação de vários metabolitos, incluindo o *N*-hidroxiriluzol (Figura 2a), que é considerado o principal metabolito ativo [16,17]. Podem ocorrer variações individuais no metabolismo, e fatores como diferenças genéticas na atividade enzimática, o uso concomitante de outros fármacos

Esquema 1 - Representação esquemática do mecanismo de ação e transporte do riluzol através da barreira hematoencefálica a partir do local de administração do fármaco. P-gp: P-glicoproteína. Adaptado de [7].

e condições hepáticas subjacentes podem influenciar o metabolismo do riluzol em indivíduos específicos. Essas variações metabólicas podem ser devidas a inúmeros fatores, sendo os mais importantes os fatores genéticos, onde polimorfismos em P_{450} podem resultar em indivíduos com diferentes atividades enzimáticas, levando a variações no metabolismo de medicamentos [17,18]. O riluzol também pode sofrer glucuronidação pela UGT1A1, onde o polimorfismo associado a essa enzima pode determinar a taxa de metabolização do fármaco [16]. A glucuronidação ocorre no processo de biotransformação da fase II, que envolve a adição de um grupo ácido glucurônico a uma molécula de substrato. Esta reação é catalisada por uma família de enzimas conhecidas como UDP-glucuronosiltransferases (UGTs). O processo é crucial para a detoxificação e eliminação de vários compostos endógenos, medicamentos e toxinas ambientais do corpo, sendo a UGT1A1 a principal enzima responsável pelo metabolismo da puerarina em microsomas hepáticos humanos [19]. A estrutura do metabolito proposto ainda requer confirmação estrutural (Figura 2b) [16].

Figura 2 - Metabolismo do riluzol: formação do *N*-hidroxiriluzol através da CYP1A2 (a) e formação do riluzol-*N*-glucuronídeo através da UGT1A1 (b) [16].



No que diz respeito ao processo de excreção do fármaco, a depuração plasmática do riluzol após doses orais únicas de 25–300 mg variou entre 41,9 e 69,8 L/h [7,20]. O riluzol e os seus metabolitos são excretados quase exclusivamente através do trato urinário e em muito menor grau através do trato fecal [13]. Esta evidência foi confirmada por testes clínicos nos quais o fármaco foi marcado radioativamente e constatou-se que após a administração do fármaco marcado, a urina apresentava 91% da radioatividade nas primeiras 24 h. Deste vasto percentual, 85% da radioatividade é apresentada como metabolitos de glucuronídeo e apenas 2% como fármaco original [20]. O riluzol também apresentou uma circulação entero-hepática extensiva, como é evidente pela excreção biliar de cerca de 50% das doses administradas oralmente. Portanto, pode concluir-se que a excreção biliar do

riluzol pode ser afetada em pacientes com insuficiência hepática [12]. A meia-vida de eliminação do riluzol é aproximadamente de 12 h [17].

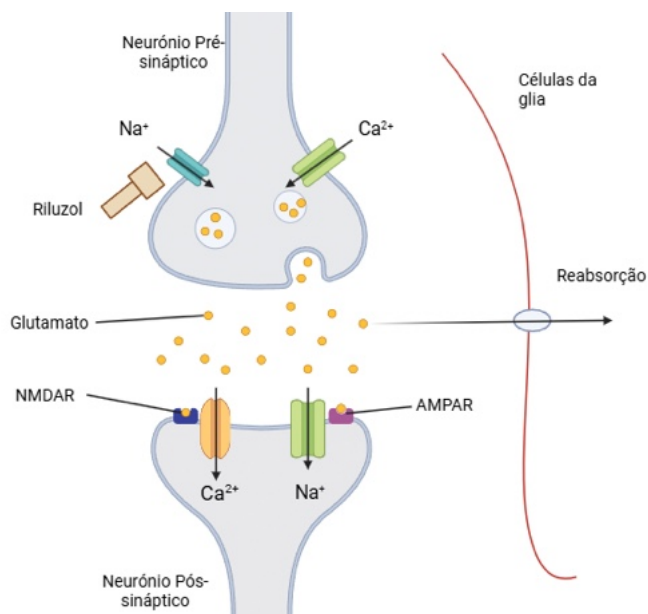
Um fator muito importante investigado no modo de excreção foi a variação na *clearance* entre os indivíduos, sendo obtidas variações de 30 a 50 vezes nas concentrações mínimas e máximas de riluzol, o que poderia ser uma razão provável para a esperança de vida variável dos pacientes com ELA, dado o uso de riluzol [12]. O polimorfismo em CYP1A2 poderá ser um contributo e, possivelmente, a principal razão para essas flutuações na *clearance* plasmática, no entanto, este postulado não foi investigado [12].

4. Farmacodinâmica

4.1. Mecanismo de ação do Riluzol

As espécies reativas de oxigênio (ROS), a excitotoxicidade do glutamato e o *stress* oxidativo são considerados as principais causas da ELA [18,21]. Quando o mecanismo de ação do riluzol é comparado com os de outros tratamentos, surgem diferenças marcantes e poucas semelhanças com os mecanismos de ação típicos de outras terapias.

Esquema 2 - Mecanismo de ação de uma das várias áreas onde o riluzol apresenta um papel determinante. O desequilíbrio iônico e a excitotoxicidade do glutamato ocorrem quando há um influxo excessivo de sódio e cálcio, o que desencadeia a liberação de glutamato fora das células nos neurónios pré-sinápticos. Este glutamato causa efeitos prejudiciais no neurónio pós-sináptico, onde o influxo de sódio e cálcio, através dos receptores NMDAR e AMPAR, causa danos celulares e inchaço dos axónios. O riluzol, conhecido pelas suas propriedades neuroprotetoras, atua bloqueando os canais de sódio, impedindo assim um influxo exagerado de cálcio. Além disso, atua como um agente anti-glutamatérgico inibindo a liberação de glutamato nos receptores do ácido isoxazol propiónico, visando especificamente os receptores NMDAR (receptor do ácido *N*-metil-*D*-aspártico) e AMPAR (receptor do ácido alfa-amino-3-hidroxi-5-metil-4-isoxazol propiónico). Adaptado de [22].



O aumento do cálcio intracelular $[Ca^{2+}]_i$ causa danos no RNA e DNA, peroxidação lipídica da membrana, disfunção mitocondrial e, por fim, a morte celular. Após o dano mitocondrial, são geradas ROS, resultando na produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e anião superóxido (O_2^-). Resíduos de tirosina proteica são nitrados como resultado das reações entre (O_2^-) e o óxido nítrico (NO), gerando o anião peroxinitrito ($ONOO^-$), bem como a formação de radicais hidroxilo ($\cdot OH$) pela decomposição do H_2O_2 . Estes radicais reagem com lípidos, proteínas e DNA uma vez que são muito reativos [23].

O riluzol retarda a inativação dos canais de potássio, inibe a proteína quinase C, inibe a liberação pré-sináptica de glutamato (que ativa a captação de glutamato) e interfere nos processos intracelulares que ocorrem após a ligação do neurotransmissor aos recetores de aminoácidos excitatórios. Todos esses efeitos podem contribuir para a morte celular excitotóxica [23].

Os benefícios da terapia com riluzol incluem a modulação anti-glutaminérgica das vias excitotóxicas, modulação da capacidade de tampão de Ca^{2+} baixo dos MNs, potencial de membrana mitocondrial ($\Delta\Psi_m$), metabolismo e função, efeitos sobre correntes de sódio persistentes, despolarização de canais de cálcio dependentes de voltagem e potenciação de correntes de potássio dependentes de cálcio. O riluzol pode ter efeitos variados nas vias terapêuticas dependendo do estágio da doença. Para os pacientes, por exemplo, as alterações nas vias de excitotoxicidade podem ser um impacto precoce e temporário que posteriormente se torna mais envolvido com outras vias moleculares e terapêuticas. Além disso, o complexo IV da cadeia de transporte de elétrons é inibido pela disfunção

mitocondrial nos MNs, o que resulta na criação de ROS que é subsequentemente revertida pela capacidade de bloqueio do riluzol de produzir ROS nos MNs ou pela inibição do efluxo de Ca^{2+} nos locais sinápticos [22].

4.2. Efeitos secundários

Para prevenir uma redução da biodisponibilidade relacionada com a alimentação, a dose sugerida de riluzol é de 50 mg a cada 12 h, e deve ser administrada pelo menos 1 h antes ou 2 h após uma refeição. Entre os efeitos adversos relacionados com a dose de riluzol incluem-se náuseas, astenia (sensação de fraqueza e falta de energia generalizada) e aumento dos níveis de enzimas hepáticas. Após o início do tratamento com riluzol, a alanina transaminase aparece frequentemente elevada após três meses, mas após dois a seis meses, desde que a terapia seja continuada, volta a descer para o dobro do intervalo normal superior. O riluzol pode ser armazenado entre 15 e 30 °C, ao abrigo da luz [22].

5. Conclusão

Em resumo, a esclerose lateral amiotrófica (ELA) apresenta desafios significativos, e as opções de tratamento limitadas, principalmente o riluzol, destacam a necessidade de pesquisa contínua. O riluzol, com o seu impacto demonstrado na atividade glutaminérgica, continua a ser uma ferramenta crucial, porém imperfeita, no controlo dos sintomas da ELA. Apesar dos seus benefícios, a natureza complexa da ELA requer estudos adicionais para encontrar novas abordagens terapêuticas e aprimorar os tratamentos personalizados. A investigação em curso promete resultados melhorados e uma compreensão mais profunda desta doença neurodegenerativa.

Referências

- [1] M. Zufiria, F. J. Gil-Bea, R. Fernández-Torrón, J. José-Poza, J. L. Muñoz-Blanco, R. Rojas-García, J. Riancho, A. L. de Munain, *Prog. Neurobiol.* **2016**, *142*, 104-129. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2016.05.004.
- [2] L. C. Wijesekera, P. N. Leigh, *Orphanet J. Rare Dis.* **2009**, *4*, 1-22. DOI: 10.1186/1750-1172-4-3.
- [3] J. P. Loeffler, G. Picchiarrelli, L. Dupuis, J. L. G. De Aguilar, *Brain Pathol.* **2016**, *26*, 227-236. DOI: 10.1111/bpa.12350.
- [4] M. Jia, *Physiol. Behav.* **2017**, *176*, 139-148. DOI: 10.1016/j.ncl.2015.07.001.
- [5] A. M. Blokhuis, E. J. N. Groen, M. Koppers, L. H. Van Den Berg, R. J. Pasterkamp, *Acta Neuropathol.* **2013**, *125*, 777-794. DOI: 10.1007/s00401-013-1125-6.
- [6] M. P. Panades, P. Couratier, K. Sidle, G. Sorarù, G. Tsiygoulis, A. C. Ludolph, *Front. Neurol.* **2021**, *12*, 10-13, 2021. DOI: 10.3389/fneur.2021.633854.
- [7] R. P. Dash, R. J. Babu, N. R. Srinivas, *Clin. Pharmacokinet.* **2018**, *57*, 1385-1398. DOI: 10.1007/s40262-018-0655-4.
- [8] J. D. Rothstein, *Cell* **2017**, *171*, 725. DOI: 10.1016/j.cell.2017.10.011.
- [9] D. Petrov, C. Mansfield, A. Moussy, O. Hermine, *Front. Aging Neurosci.* **2017**, *9*, 68. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00068.
- [10] A. Doble, *Neurology* **1996**, *47*, 8233-8241. DOI: 10.1212/WNL.47.6_suppl_4.233s.
- [11] J. D. Rothstein, L. J. Martin, R. W. Kuncl, *N. Engl. J. Med.* **1992**, *326*, 1464-1468. DOI: 10.1056/NEJM199205283262204.
- [12] G. J. Groeneveld, H. J. M. van Kan, J. S. Toraña, J. H. Veldink, H.-J. Guchelaar, J. H. J. Wokke, L. H. van den Berg, *J. Neurol. Sci.* **2001**, *191*, 121-125. DOI: 10.1016/S0022-510X(01)00613-X.
- [13] M. L. Wagner, B. E. Landis, *Drugs Today* **1997**, *31*, 738-744. ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK67154.
- [14] Rilutek (riluzole): product monograph. Sanofi-aventis Canada Inc., Laval. 11 de maio, 2010. products. sanofi.ca/en/rilutek.pdf (acedido em 20/12/2024).
- [15] S. Ajroud-Driss, M. Saeed, H. Khan, N. Siddique, W. Y. Hung, R. Sufit, S. Heller, J. Armstrong, P. Casey, T. Siddique, T. J. Lukas, *Amyotrophic Lateral Sclerosis* **2007**, *8*, 305-309. DOI: 10.1080/17482960701500650.
- [16] H. J. M. van Kan, L. H. van den Berg, G. J. Groeneveld, R. J. H. M. van der Straaten, P. W. J. van Vught, L. L.-A.-Huen, H.-J. Guchelaar, *Biopharm. Drug Dispos.* **2008**, *29*, 139-144. DOI: 10.1002/bdd.594.
- [17] U. M. Zanger, M. Schwab, *Pharmacol. Ther.* **2013**, *138*, 103-141. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2012.12.007.
- [18] M. K. Jaiswal, *Mol. Cell. Ther.* **2014**, *2*, 26. DOI: 10.1186/2052-8426-2-26.
- [19] B. Testa, B. Clement, *Biotransformation Reactions and their Enzymes*, in "The Practice of Medicinal Chemistry", 4th ed., C. G. Wermuth, D. Aldous, P. Raboisson, D. Rognan (Eds.), Ed. Elsevier Ltd, Lausanne, **2015**, 561-584. DOI: 10.1016/B978-0-12-417205-0.00024-9.
- [20] G. J. Sanderink, B. Bourneque, J. Stevens, M. Petry, M. Martinet, *J. Pharmacol. Exp. Ther.* **1997**, *282*, 1465-1472. DOI: 10.1016/S0022-3565(24)36944-7.

- [21] M. K. Jaiswal, *Motoneuron Specific Calcium Dysregulation and Perturbed Cellular Calcium Homeostasis in Amyotrophic Lateral Sclerosis: Recent Advances Gained from Genetically Modified Animals and Cell Culture Models, in Motor Neuron Diseases: Causes, Classification and Treatments*, 1st ed., B. J. Turner, J. B. Atkin (Eds.), Nova Science Publishers, **2012**, 3, 244. htscholars.mssm.edu/en/publications/motoneuron-specific-calcium-dysregulation-and-perturbed-cellular--2.
- [22] N. Nagoshi, H. Nakashima, M. G. Fehlings, *Molecules* **2015**, 20, 7775-7789. DOI: 10.3390/molecules20057775.
- [23] M. K. Jaiswal, W.-D. Zech, M. Goos, C. Leutbecher, A. Ferri, A. Zippelius, M. T. Carri, R. Nau, B. U. Keller, *BMC Neurosci.* **2009**, 10, 64. DOI: 10.1186/1471-2202-10-64.

>

Diogo Monteiro

*School of Science and Technology,
Universidade NOVA de Lisboa.*

Aluno na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Licenciatura em Bioquímica e encontra-se neste momento a realizar o Mestrado em Química Bioorgânica. drs.monteiro@campus.fct.unl.pt

CIENCIAVITAE/7A17-5564-0241

>

Raquel Pinto

*School of Science and Technology,
Universidade NOVA de Lisboa.*

Aluna na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Licenciatura em Química Aplicada e encontra-se neste momento a realizar o Mestrado em Química Bioorgânica. rc.pinto@campus.fct.unl.pt

CIENCIAVITAE/991E-125B-3E1D

>

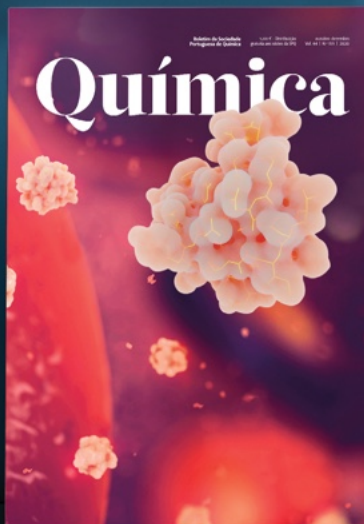
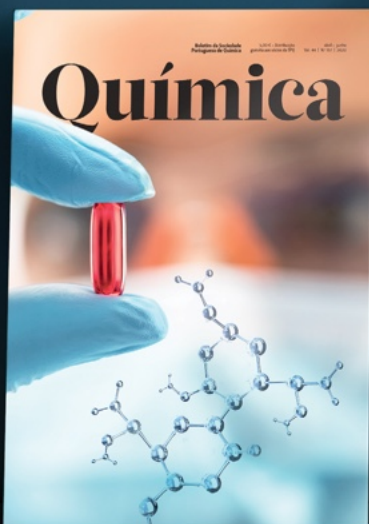
Rúben Neto

*School of Science and Technology,
Universidade NOVA de Lisboa.*

Aluno na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Licenciatura em Química Aplicada e encontra-se neste momento a realizar o Mestrado em Química Bioorgânica. rfj.neto@campus.fct.unl.pt

CIENCIAVITAE/831F-82F1-1F51

Partilhe a investigação no **Química**
e dê visibilidade ao seu trabalho na
principal publicação da SPQ



Novas Velhas Maneiras de Ensinar Técnicas Laboratoriais: o Exemplo do Ensino Musical

>
Rui M. Borges dos Santos

Old New Ways of Teaching Laboratory Techniques. *The teaching of a musical instrument is a prime example of student-centered learning. However, this Bologna Process principle often clashes with the massification of higher education in experimental sciences. However, there are new tools that allow to bridge these two worlds. In that example, it is fundamental first to listen to other interpreters, then to record oneself, and finally to evaluate one's own interpretation (all this was done during the author's piano classes with a simple cassette player/recorder). This article describes a methodology in which students replicate this process for fundamental laboratory techniques in Chemistry (facilitated by the generalization of mobile phones with cameras and the internet). They can thus observe what quality work means, monitor it in their work, and evaluate it by comparison with the example of the correct technique. It is also described how to complement this learning with effective feedback, peer assessment, and micro-credentials.*

O ensino de um instrumento musical é um exemplo máximo de aprendizagem centrada no aluno. Este paradigma do Processo de Bolonha choca muitas vezes com a massificação do ensino superior em ciências experimentais. Mas existem ferramentas novas que permitem aproximar estes dois mundos. Naquele exemplo, é fundamental primeiro ouvir outros intérpretes, depois gravar-se e finalmente avaliar a própria interpretação (tudo isto feito, no tempo das aulas de piano do autor, com um simples leitor/gravador de cassetes). Neste artigo descreve-se uma prática pedagógica em que os alunos replicam este processo em relação a técnicas laboratoriais básicas de Química (facilitado pela generalização de telemóveis com câmara e internet). Podem assim observar o que significa trabalho de qualidade, monitorizá-la no seu trabalho e avaliá-lo por comparação com o exemplo da técnica correta. Descreve-se ainda como complementar a aprendizagem com feedback efetivo, avaliação pelos pares e micro-creditação.

Introdução

No filme Avatar [1], a atriz Sigourney Weaver destrói a credibilidade da sua personagem, a cientista-chefe da expedição, em menos de 10 segundos, ao demonstrar que não sabe usar uma simples micropipeta (Figura 1). Sem a ilibar de responsabilidades, verifica-se que o mesmo acontece com muitos alunos do ensino superior, que chegam a anos mais avançados sem conseguirem ainda dominar as técnicas mais fundamentais, o que pode até levar a questionar o valor das aulas laboratoriais, de longe as mais caras da Universidade [2,3].

De facto, embora as aulas de laboratório no ensino de ciências experimentais sejam consideradas essenciais, tem havido propostas para a sua reforma ou até, tendo em conta o seu elevado custo, a sua

eliminação. As críticas resultam de que, no seu modelo tradicional, elas consistem muitas vezes em seguir uma "receita" de resultados garantidos, avaliada apenas no final e em grupo, sem cada aluno poder receber a avaliação do seu desempenho a tempo de o poder corrigir. Não havendo evidências da aprendizagem, pode argumentar-se que as aulas laboratoriais "não valem o que custam" [2]. Na base deste problema está uma falha fundamental: geralmente, o trabalho laboratorial propriamente dito não é avaliado (ou não o é diretamente, mas apenas indiretamente, p. ex. através de minitests e relatórios) [3].

A metodologia aqui descrita pretende contrariar esta tendência, ao permitir avaliar diretamente (in-

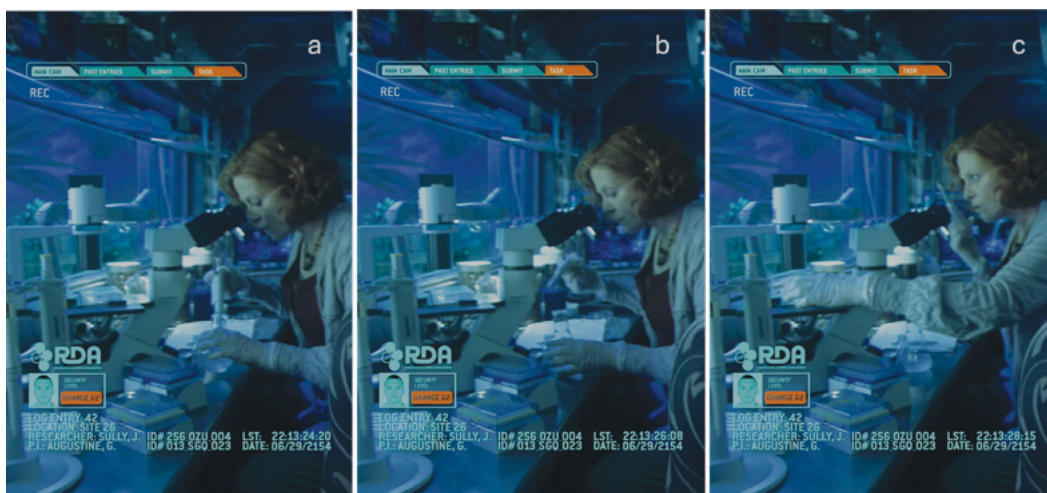


Figura 1 - A cientista-chefe da expedição, no filme Avatar [1], (a) aparentemente a iniciar uma pipetagem (não é claro se sequer acionou o êmbolo), (b) a elevar a ponta e (c) acabando por inverter completamente a pipeta que, além de invalidar a eventual medida do líquido, inunda o filtro e potencialmente o mecanismo da pipeta.

cluindo avaliação pelos pares e *feedback* efetivo do professor) e documentar (com micro-creditação) o trabalho de cada aluno no laboratório. O objetivo é trazer para o ensino das técnicas laboratoriais uma estratégia usada no ensino de um instrumento musical, onde o sucesso da assim chamada “avaliação formativa usando modelos” está amplamente demonstrado [4], consistindo na sequência de (1) ouvir uma interpretação (geralmente escolhida pelo professor), (2) tocar enquanto se grava e (3) ouvir, comparar e avaliar a própria interpretação. Conceptualmente, parece (e é) simples replicar esta estratégia no contexto aqui pretendido, tendo-se escolhido para a sua implementação a componente laboratorial de uma disciplina de Química Geral (*vd. infra*). O protocolo a seguir é o mesmo para cada técnica (Figura 2): cada aluno (1) estuda previamente um vídeo que demonstra a técnica correta; (2) executa no laboratório a técnica, enquanto é gravado usando

o seu telemóvel; (3) junto com o seu par, visualiza a demonstração da técnica e avalia-a (avaliação pelos pares [5]), preenchendo uma ficha que entrega no fim da aula, enviando depois o seu vídeo para avaliação pelo professor. Na próxima aula o professor, depois de analisar cada vídeo, transmite a respetiva avaliação ao aluno (*feedback* efetivo [6]) e, caso verifique a proficiência necessária na técnica, atribui-lhe a respetiva medalha (micro-creditação [7]), o que não só motiva os alunos como poderá servir para documentar as competências adquiridas ao longo do curso.

Descrição e implementação

Esta prática pedagógica (PP) foi implementada no ano letivo de 2022/2023 na componente laboratorial da unidade curricular (UC) de Química Geral do 1.º ano (1.º semestre) da licenciatura em Ciências Biomédicas da Faculdade de Medicina e Ciências Biomédicas da

Figura 2 - Estratégia da avaliação formativa usando modelos, transposta do ensino de um instrumento musical (em cima), para o ensino de técnicas laboratoriais (em baixo): (1) estudar o modelo, (2) demonstrar enquanto grava, (3) rever e avaliar (imagens geradas com a aplicação *DreamStudio* da *Stability AI*).



Universidade do Algarve. Consistiu em sete aulas práticas, sendo a primeira (#1) de apresentação, incluindo uma demonstração que pretende cativar para o estudo da química (reação do relógio de iodo). Os restantes seis trabalhos, comuns a este tipo de UC na generalidade do ensino superior, foram adaptados para incluir a aplicação desta PP a três técnicas consideradas fundamentais - pesagem, pipetagem e titulação - sendo duas aulas (#3 e #5) focadas diretamente na sua aplicação e as outras na demonstração do que foi aprendido, mas mantendo-se a coerência com o programa da UC. A sequência dos trabalhos por aula foi: #2) modelação molecular; #3) preparação de soluções (pesagem e pipetagem); #4) entalpia de neutralização; #5) determinação de acidez (titulação); #6) constante de acidez; #7) estudo e demonstração de cinética. A #2, sendo *dry-lab*, serve de "tampão" enquanto as turmas (e os grupos) se formam (essencial numa UC de 1.º ano). A #3 é a primeira em que os alunos usam esta PP, estando inteiramente focada nas duas técnicas a aprender e na explicação da metodologia. A #4 é uma prática tradicional (PT), aproveitando-se para o professor transmitir a avaliação dos vídeos realizados na aula anterior. Na #5 preparam uma solução por pesagem e outra por diluição, demonstrando as técnicas que aprenderam na #3, e aplicam esta PP à titulação. A #6 é novamente uma PT, onde se transmite a avaliação do vídeo da titulação. A #7 consiste no estudo cinético da mesma reação da aula #1 e posterior demonstração sincronizando-a com uma música. É um trabalho que se pretende motivador, mas cujo principal objetivo é exigir que cada aluno faça bastantes pipetagens (*vd. infra*), de forma a praticar a técnica que tipicamente se revela como a mais difícil (concordando com o exemplo do filme!). A introdução desta PP no currículo laboratorial normal não necessita assim de recursos adicionais, além dos usados na criação de trabalhos laboratoriais eventualmente novos (#1 e #7 neste exemplo, idealizados de forma a funcionarem com reagentes triviais). Apenas a (pouca) logística informática para a receção dos vídeos dos alunos e atribuição de medalhas necessita ser eventualmente implementada. A Figura 3 ilustra as medalhas atribuídas neste exemplo.



Figura 3 - Medalhas correspondentes à proficiência nas técnicas de (a) preparação de uma solução por pesagem e (b) por diluição, e (c) titulação, facilmente criadas usando *clipart* de acesso livre juntamente com o *Microsoft PowerPoint*.

Ao ser inspirada no ensino de um instrumento musical, a razão de ser desta metodologia pode ser facilmente justificada aos alunos com exemplos que lhes serão potencialmente familiares, além de proporcionar também ao professor o reforço intelectual para melhor o fazer. Fora do contexto musical e em sentido lato, a avaliação formativa usando modelos é defendida desde os anos 80, tal como o *feedback* efetivo [8]. No contexto do ensino de práticas laboratoriais só mais recentemente foram implementadas, já em conjunto com a micro-creditação, por Towns *et al.* (precisamente aplicadas à pipetagem!) [9]. Finalmente, Seery *et al.* [10] reuniram e expandiram os exemplos de Towns *et al.* a outras técnicas, incluindo ainda a avaliação pelos pares e descrevendo em detalhe uma possível implementação da metodologia e da sua avaliação. É com base nos trabalhos destes autores que se descreve a prática pedagógica a seguir, reforçada sempre pelo contexto musical. Idealmente, esta metodologia deve ser realizada em grupos de dois alunos, em que um é o demonstrador e o outro o avaliador, invertendo de seguida os papéis. Como indicado, divide-se em três etapas: (1) *pré-lab* - cada aluno estuda o modelo, o vídeo com o exemplo da técnica correta; (2) *lab* - o aluno demonstrador realiza a técnica enquanto é gravado pelo colega de grupo, o avaliador, com o telemóvel daquele (do demonstrador); (3) *pós-lab* - os alunos revêm o vídeo e avaliam-no. Desta forma possibilita-se a todos os alunos que aprendam a apreciar a técnica correta, a monitorizar a sua interpretação e a avaliar a qualidade do seu desempenho, e assim a desenvolverem autonomamente estratégias para continuamente o melhorarem. Detalha-se de seguida cada etapa desta metodologia.

Antes do início das aulas laboratoriais, a nova prática pedagógica deve ser amplamente divulgada e explicada aos alunos. Para isso verificou-se ser essencial disponibilizar um documento com a explicação das etapas da metodologia e alertando para a importância da primeira: estudar o modelo antes da aula! Também pode ser útil que este documento contenha algumas recomendações sobre como filmar com o telemóvel, obviamente não porque os alunos não saibam, mas para os recordar que necessitam de bateria e espaço de memória suficientes. Como estão envolvidas gravações, é também essencial garantir nesta fase que o Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) da Universidade seja cumprido, o que pode ser conseguido, p. ex., através do preenchimento individual de um formulário de consentimento pelos alunos.

O modelo de técnica correta pode ser obtido de várias formas. A gravação pelo professor ou pelos técnicos de laboratório é uma possibilidade, mas é mais fácil (e consensual) obtê-lo a partir de repositórios externos [10,11]. Uma hipótese que merece certamente

ser explorada é a de usar os vídeos criados pelos próprios alunos que sejam exemplares, em anos seguintes.

Para melhor organizar o trabalho no laboratório, além do protocolo deverá ser ministrado a cada aluno uma ficha contendo o “guião” da técnica correta dividida em passos essenciais (aconselham-se cinco; ver exemplo na Tabela 1), com espaço para preencher a avaliação de cada passo, de preferência comentada. A ficha poderá ser seguida pelo demonstrador (mas idealmente deverá ser memorizada, equivalente a, no contexto musical, tocar seguindo a pauta vs. de memória), e deverá ser preenchida pelo avaliador, sendo no final da aula assinada por ambos e entregue ao professor. Ao inverterem de seguida os papéis, no final da aula cada aluno terá demonstrado e avaliado cada técnica, e assinado as duas fichas respetivas, uma como demonstrador e outra como avaliador. Apesar da notória experiência dos alunos em gravações de vídeo com os telemóveis, verificou-se ser útil dar algumas recomendações antes do início da atividade: registar todos os passos do guião, focar as mãos do demonstrador, salientar segmentos “chave” (e.g. mostrador da balança após a pesagem, nível do líquido na pipeta), etc.

Depois da aula cada aluno, para cada técnica, terá o vídeo da sua demonstração gravada no seu telemóvel. Pretendendo-se *feedback* efetivo, em que o professor discute a avaliação da demonstração da técnica com cada aluno na aula seguinte (tipicamente, daí a 15 dias), o aluno deverá enviar o(s) vídeo(s) para o professor num prazo que o permita (uma semana neste caso). Escolheu-se para isso a plataforma *YouTube*, grátis e de fácil utilização, devendo o aluno guardar os vídeos em modo “*unlisted*” (para aumentar a privacidade, mas não “*private*” pois isso impediria a visualização pelo professor) e enviar apenas o *link* para o professor (mas não o vídeo, para não sobrecarregar o espaço geralmente limitado dos servidores das Universidades). Apesar de não ter sido pedido, verificou-se que todos os alunos editaram os seus vídeos antes da submissão, introduzindo banda-sonora, legendas, efeitos (e.g. *fast-forward* em pontos da técnica mais demorados, *fade in/out* entre os diferentes passos), etc.

Figura 4 - Classificações obtidas pelos alunos para cada técnica (a - pesagem, b - pipetagem, c - titulação) resultante da avaliação dos vídeos pelo professor.

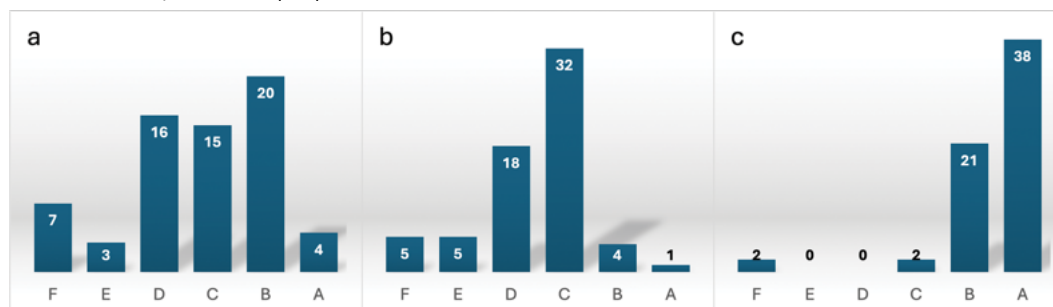


Tabela 1 - Exemplo do guião de apoio à realização da técnica da titulação: a) instruções triviais (que não necessitam gravação); b) indicação clara de quando iniciar e terminar a gravação; c) espaço para os comentários do avaliador, da técnica dividida nos cinco passos a avaliar (ver texto). Sugere-se incluir também uma tabela para os registos mais importantes (e.g., os volumes inicial e final de titulante adicionado, neste caso).

Protocolo		<input checked="" type="checkbox"/>	Comentário do avaliador
1	Junte o material de vidro necessário e verifique se está limpo		(a)
Inicie a gravação do vídeo agora (b)			
2	Preparar a bureta com o NaOH <i>segurar funil sobre a bureta, não aferir no 0,0, remover funil.</i>		(c)
3	Marcar volume inicial <i>focar o volume inicial e ler com duas casas decimais.</i>		(c)
4	Adicionar indicador e iniciar titulação <i>uso de um “fundo” branco, adicionar titulante girando o Erlenmeyer, notar velocidade da mudança de cor.</i>		(c)
5	Adicionar cuidadosamente perto do fim <i>adicionar gota a gota, lavar ponta da bureta e paredes do Erlenmeyer com pequenos esguichos de água, atingir o ponto final com sucesso (focar Erlenmeyer).</i>		(c)
6	Marcar volume final <i>focar o volume final e ler com duas casas decimais, registar volume de titulante usado.</i>		(c)
Termine a gravação agora (b)			

O prazo relativamente curto para a avaliação dos (muitos) vídeos é facilitado pela avaliação de cada técnica em cinco passos (constantes do guião) adequadamente escolhidos para que possam ter peso equivalente na nota final. Atribuindo a cada um 0 (execução falhada), 1 (execução conseguida) ou ½ (falha(s) não grave(s)), o resultado final da soma adequa-se a uma escala que se verificou fácil de contabilizar e de transmitir aos alunos: A (5 valores), B (4,5 valores), C (4 valores), D (3,5 valores), E (3 valores) e F (< 3 valores). Por se pretender motivar os alunos, foi atribuída medalha (micro-creditação) para classificação superior a F, desde que não se tenha notado uma falha muito grave (e.g., numa pesagem, reintroduzir o sólido no frasco ou, numa pipetagem, deixar o líquido chegar à pompeta). Refira-se que o trabalho de avaliação ficou também muito facilitado pela verificação do grande empenho dos alunos na realização do trabalho e pela elevada qualidade dos vídeos produzidos. A Figura 4 contém os resultados obtidos para cada técnica. Note-se como a pipetagem foi de facto a técnica de mais difícil mestria, e como no último trabalho desta

metodologia o desempenho foi marcadamente superior (vd. “Avaliação e perspectivas futuras”).

Refira-se, finalmente, como a música esteve presente na implementação desta metodologia também nos temas escolhidos para a primeira e última aulas, aliada ao poder igualmente cativante das reações-relógio. Na primeira aula (apresentação) foi demonstrada a reação do relógio de iodo, pedindo-se voluntários para prepararem alguns ensaios (num mínimo de três) com concentrações diferentes, levando a tempos de viragem diferentes. Os alunos foram depois desafiados a correlacionarem o volume de solvente com o tempo de viragem, de forma a prepararem um ensaio cujo aparecimento da cor coincida com um momento “dramático” duma música, tendo-se escolhido para isso a introdução de “Also sprach Zarathustra” de R. Strauss (popularizada pelo filme “2001: Odisseia no Espaço” e, mais recentemente, “Barbie”!). Na última aula, este trabalho foi feito duma forma sistemática e muito mais exigente, em que a turma toda, trabalhando em conjunto, preparou vários ensaios (entre 10 e 15, dependendo do n.º de alunos da turma) de forma a conseguir que, iniciando a reação em todos eles ao mesmo tempo, a viragem coincidisse com os disparos de canhão do final da “Abertura 1812” de Tchaikovsky [12]. Com este trabalho, além de compreenderem os conceitos de cinética química envolvidos, cada aluno realizou entre 6 a 12 pipetagens com um elevado grau de exigência (sob pena da sincronização com a música falhar). Este é um elemento essencial da aprendizagem de um instrumento musical que, na opinião do autor, urge também trazer para o ensino das técnicas laboratoriais: *practice makes perfect* (Figura 5).

Figura 5 - No último trabalho, depois do estudo cinético da reação do relógio de iodo, os alunos prepararam uma série de balões de Erlenmeyer com volumes cuidadosamente medidos para que, em cada um deles e em sequência (como ilustrado de cima para baixo nesta foto, captada no instante da viragem do ensaio sensivelmente ao meio da imagem), o aparecimento da cor azul coincida com cada disparo de canhão do final da “Abertura 1812” de Tchaikovsky, a tocar em fundo no laboratório. Nesta turma cada aluno realizou um mínimo de 10 pipetagens durante a aula.



Avaliação e perspectivas futuras

É importante transmitir como os resultados obtidos com esta metodologia foram excelentes e recompensadores para alunos e professores. No caso dos alunos, as classificações obtidas foram bastante superiores às da

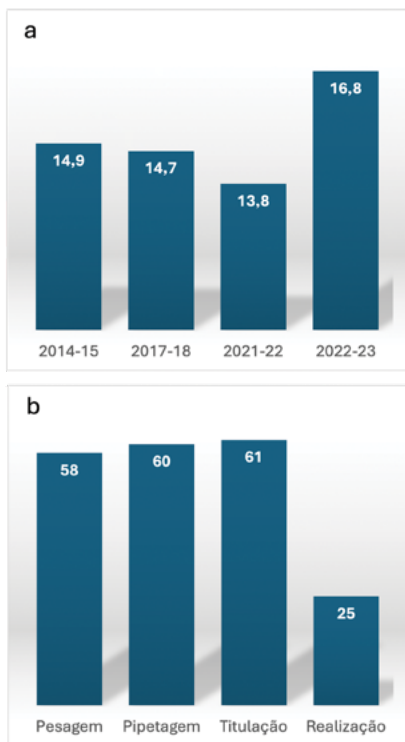
prática tradicional (vd. *infra*). Notou-se também uma evolução muito mais rápida e sólida na proficiência das técnicas alvo e no desempenho laboratorial, em geral, ao longo do semestre. E sobretudo notou-se um enorme empenho dos alunos, não só nas aulas, mas também pela qualidade dos vídeos produzidos (onde, diga-se de passagem, a sua proficiência é bastante superior à do autor). No caso dos professores, tendo o autor tido a oportunidade de transmitir esta metodologia [13], o *feedback* dos colegas que a implementaram corresponde na íntegra à verificação acima indicada sobre os seus resultados.

Para melhor comparar esta prática pedagógica (PP) com a tradicional, podem usar-se as classificações obtidas na aula #5 (determinação de acidez). Este trabalho, além de ser comum a vários cursos, foi realizado numa altura do semestre em que já se pode exigir alguma qualidade no trabalho laboratorial, tanto em relação à técnica base do trabalho (titulação) como às anteriores (pesagem e pipetagem). A Figura 6a representa a média das classificações obtidas pelos alunos neste trabalho em alguns cursos recentes (com mais de 30 alunos), nomeadamente Dietética e Nutrição (2014-15), Biologia Marinha (2017-18) e Ciências Biomédicas (2021-22 e 2022-23, este último o ano em que a PP foi implementada). As medalhas atribuídas são outro indicador importante, pois em 65 alunos a esmagadora maioria conseguiu obtê-las (Figura 6b). Finalmente, deve realçar-se a qualidade dos vídeos realizados, 25 dos quais (no total dos 195) se destacaram pela sua produção audiovisual cuidada, e aos quais foi decidido atribuir uma nova medalha, a de “Realização” (diferente das anteriores por não estar relacionada com um objetivo da cadeira, mas igualmente motivadora para os alunos).

No final do semestre foi feito um inquérito, anónimo e facultativo, sobre a perceção da importância desta PP para a compreensão, autonomia e confiança em cada técnica aprendida. Os resultados mostram uma claríssima melhoria nos três aspetos em relação a cada técnica (medidos em escala de Likert, Figura 7), atribuída a esta PP (Figura 8a). Aproveitou-se ainda o exercício para inquirir os alunos sobre a sua preparação laboratorial anterior, tendo os resultados reforçado a necessidade das aulas laboratoriais no ensino superior (Figura 8b).

Existem, no entanto, dois aspetos desta metodologia que podem eventualmente ser melhorados. O primeiro prende-se com a avaliação pelos pares: verificou-se que na generalidade (senão totalidade) dos casos, o aluno avaliador adotou uma postura de “tutor” do demonstrador (*buddy vs. peer* [5]), indicando-lhe os passos a seguir durante a realização da técnica e limitando-se depois a fazer um sinal de visto nos espaços correspondentes da ficha de avaliação.

Figura 6 - a) média das classificações obtidas no trabalho #5 (determinação de acidez) em anos recentes de cursos com mais de 30 alunos (a metodologia aqui descrita foi implementada em 2022-23); b) medalhas atribuídas em cada técnica, num total de 65 alunos, incluindo a de “Realização” (ver texto).



Apesar de não ser este o objetivo, existem limitações de tempo que podem justificar esta avaliação mais “ligeira” e, sendo este espírito de equipa também ele um potenciador da aprendizagem [5], não foi feito nenhum esforço para contrariar esta abordagem dos alunos (os resultados obtidos parecem justificar esta opção). O segundo passa pelo relativo desconhecimento da micro-creditação e uso de medalhas no ensino superior em Portugal, contrastando, p. ex., com o ensino secundário, embora aí sobretudo associadas a estratégias de gamificação. Apesar da atribuição de medalhas ser trivial (estão integradas na generalidade dos *learning management systems*, como p. ex. no Moodle, usado na Universidade do Algarve [14]), verificou-se que não existe ainda o ecossistema necessário para que possam ser usadas para além da motivação dos alunos. Mas precisamente por permitirem focar a aprendizagem em conhecimentos e competências específicos e individuais, as medalhas, associadas a um ecossistema reconhecido de micro-creditação, vão mais uma vez ao encontro do paradigma do processo de Bolonha da aprendizagem centrada no aluno [15]. Espera-se assim que, num futuro próximo, metodologias como a aqui descrita possam também constituir exemplos da “abordagem europeia das micro-credenciais”, de acordo com a recomendação pelo Conselho da União Europeia para oportunidades de aprendizagem flexíveis e inclusivas [7].

Figura 7 - Resultados do inquérito sobre a evolução da compreensão, autonomia e confiança dos alunos para cada técnica (a - pesagem, b - pipetagem e c - titulação).

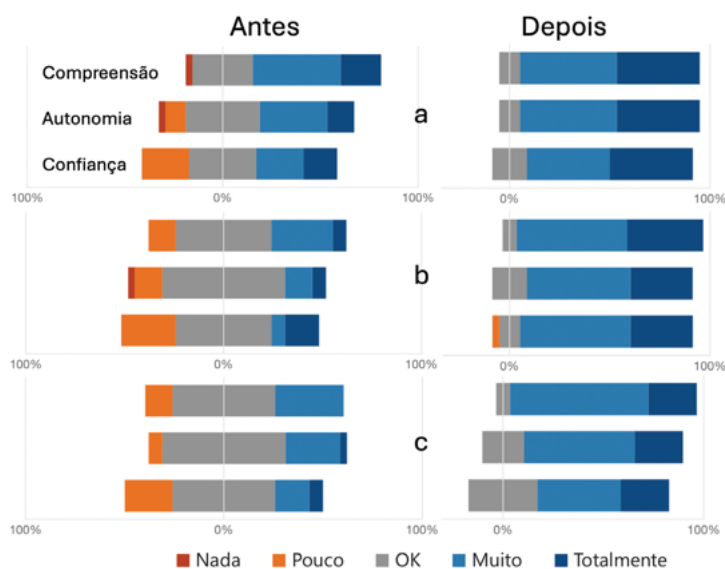
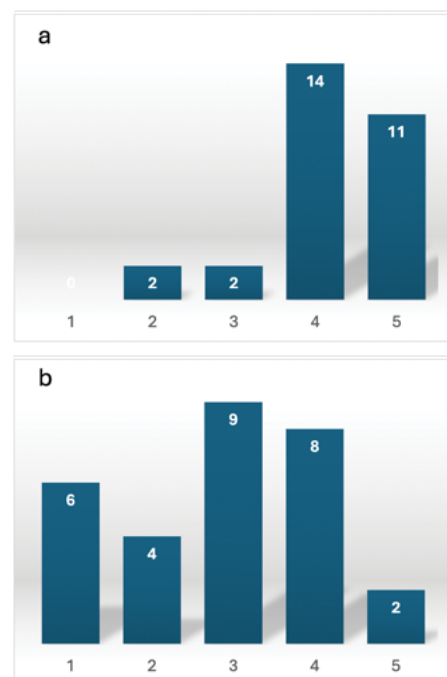


Figura 8 - a) Resultados do inquérito à questão “Em relação às aulas laboratoriais tradicionais, em que medida achou que os vídeos contribuíram para a melhoria da aprendizagem?” (1 - nada; 5 - essencial); b) Resultados do inquérito à questão “Antes da Universidade, como caracteriza a sua experiência em laboratórios de química?” (1 - nula, 3 - regular, 5 - completa).



Conclusão

A transposição da prática pedagógica de avaliação formativa usando modelos, muito usada no ensino de um instrumento musical para o ensino de práticas laboratoriais (complementada com *feedback* efetivo, avaliação pelos pares e micro-creditação), não só responde às críticas que podem ser feitas ao modelo tradicional das aulas de laboratório como produz resultados muito superiores na compreensão, autonomia e confiança dos alunos para cada técnica aprendida. Refira-se ainda que a sustentabilidade desta prática pedagógica é total, pois existe no ensino musical desde que a tecnologia o permite e o seu sucesso está largamente documentado. A transferibilidade (no ensino de ciências experimentais) afigura-se também como total, com as devidas adaptações nos conteúdos, o que pode ser atestado pelo *feedback* de colegas que a implementaram já em diversas áreas (física, biotecnologia, farmácia, biologia e fisiologia, além da química). Um aspeto desta metodologia, o registo das competências adquiridas com as medalhas (micro-creditação), poderá ainda ser usado num contexto mais lato, *e.g.*, nas várias disciplinas com componente experimental de um curso, para fazer parte do suplemento ao diploma do aluno.

Informação suplementar

Os protocolos com os dois trabalhos sobre as três técnicas fundamentais do exemplo de aplicação desta prática pedagógica, incluindo os três respetivos “guiões”, podem ser encontrados em b-quimica.spq.pt/files/files/BSPQ/N176_Suplementar.pdf. Toda a restante documentação referida (notas explicativas aos alunos sobre a metodologia, formulário RGPD usado, protocolos dos restantes trabalhos da UC e ficheiros de apoio, *e.g.*, excerto da música usada no trabalho #7), estão também disponíveis por pedido ao autor por email.

pt/files/files/BSPQ/N176_Suplementar.pdf. Toda a restante documentação referida (notas explicativas aos alunos sobre a metodologia, formulário RGPD usado, protocolos dos restantes trabalhos da UC e ficheiros de apoio, *e.g.*, excerto da música usada no trabalho #7), estão também disponíveis por pedido ao autor por email.

Agradecimentos

O autor agradece aos colegas da Universidade do Algarve (UALg) Clara Costa e André Lopes pelas várias sugestões que melhoraram a implementação desta prática pedagógica, e em particular a Isabel Cavaco, ainda pelo apoio no cumprimento do RGPD e pela ideia da medalha da “Realização”; aos responsáveis pelos laboratórios do Departamento de Química e Farmácia da UALg João Duarte, Catarina Pires e Rosário Lopes, pela constante disponibilidade e valiosas contribuições na implementação de trabalhos novos; aos colegas de outras instituições que gentilmente partilharam as suas experiências pedagógicas e de implementação desta metodologia a diversas áreas, em particular Carla Reis (Instituto Politécnico de Setúbal), Manuela Silva (Instituto Superior de Agronomia) e Deolinda Auxtero (Escola Superior de Saúde Egas Moniz); à UALg pela distinção desta metodologia com o Prémio Boa Prática de Excelência em 2023 e; *last but not least*, aos alunos do 1.º ano da licenciatura em Ciências Biomédicas da UALg de 2022/23, pelo empenho e energia contagiante com que aceitaram este desafio para trabalhar no laboratório de uma forma diferente.

Referências

- [1] Cena entre Sigourney Weaver e Sam Worthington aos ca. 1h 09min do filme AVATAR (2009), J. Cameron (Dir.), 20th Century Fox.
- [2] S. L. Bretz, *J. Chem. Educ.* **2019**, *96*, 193-195. DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00874.
- [3] N. C. H. Araud, *C&EN* **2020**, *98*, 17-19. DOI: 10.1021/cen-09818-feature1.
- [4] C. D. Cash, S. E. Allen, A. L. Simmons, R. A. Duke, *J. Res. Music Educ.* **2014**, *62*, 89-99. DOI: 10.1177/0022429413520409.
- [5] A. Musgrove, *Anal. Bioanal. Chem.* **2023**, *415*, 3299-3303. DOI: 10.1007/s00216-023-04755-y.
- [6] A. Williams, *Int. J. Educ. Res.* **2024**, *10*, 473-501. DOI: 10.46328/ijres.3404.
- [7] Uma Abordagem Europeia das Microcredenciais, European Education Area. education.ec.europa.eu/pt-pt/education-levels/higher-education/micro-credentials (acedido em junho de 2024).
- [8] D. R. Sadler, *Instr. Sci.* **1989**, *18*, 119-144. DOI: 10.1007/bf00117714.
- [9] M. Towns, C. J. Harwood, M. B. Robertshaw, J. Fish, K. O'Shea, *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 2038-2044. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00464.
- [10] M. K. Seery, H. Y. Agustian, E. D. Doidge, M. M. Kucharski, H. M. O'Connor, A. Price, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2017**, *18*, 403-419. DOI: 10.1039/c7rp00003k.
- [11] H. Frisk, Peer Reviewed Scientific Video Journal - Methods and Protocols | JOVE.jove.com (acedido em junho de 2024).
- [12] M. Whitman, *J. Chem. Educ.* **1983**, *60*, 229. DOI: 10.1021/ed060p229.
- [13] R. M. Borges dos Santos, “Novas velhas maneiras de ensinar técnicas laboratoriais”, Comunicação Oral, 9.º Congresso Nacional de Práticas Pedagógicas no Ensino Superior, Universidade do Algarve, 6 e 7 de Julho de 2023. [Badges. docs.moodle.org/404/en/Badges](https://badges.docs.moodle.org/404/en/Badges) (acedido em junho de 2024).
- [14] Microbol. Framework. microbol.microcredentials.eu/microbol-framework-published (acedido em junho de 2024).

>

Rui M. Borges dos Santos

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve.

É Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve, membro do Centro de Ciências do Mar (Algarve) e membro associado do Centro de Química Estrutural (Lisboa), desenvolvendo investigação na área da energética molecular. Paralelamente, possui os cursos gerais de Composição e de Piano da Escola de Música do Conservatório Nacional, e colabora regularmente em projetos de cruzamento entre ciência e arte.

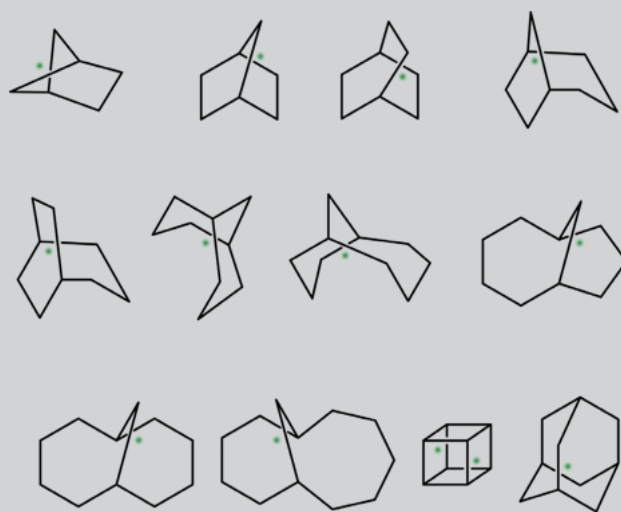
rmsantos@ualg.pt

[ORCID.org/0000-0002-4837-244X](https://orcid.org/0000-0002-4837-244X)



Quimioinformática Avançada

O *Cheminformatics 2.0* é um blogue sobre *software* de informação química criado por Alex Clark, um cientista canadiano, doutorado em química, e também engenheiro de *software* e empresário. Os tópicos incluem: aplicativos que foram projetados (ou redesenhados) para plataformas móveis (*e.g.*, *tablets* e *smartphones*), serviços baseados na nuvem que oferecem acesso a dados químicos e cálculos, e também redes sociais com dados químicos. Um exemplo recente é a divulgação do *WebMolKit 2.0*. O *WebMolKit* (molmatinf.com) é uma ferramenta baseada na *web* para a visualização, edição e análise de estruturas químicas. Esta ferramenta permite desenhar moléculas, visualizar as suas propriedades e gerar representações químicas interativas. A versão 2.0 é uma versão atualizada da biblioteca de código aberto destinada a plataformas *JavaScript* que incorpora novas funcionalidades, como a resolução de cruzamentos de linhas de ligação utilizando um algoritmo de pseudo-incorporação.



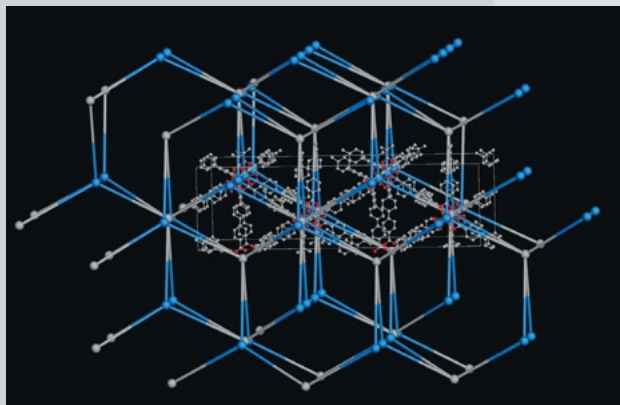
Resolução de cruzamentos de linhas para estruturas *pseudo* 3D: @ *Cheminformatics 2.0*.

Veja mais em cheminf20.org

>

Vasco Bonifácio

vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt



Topologia de um MOF @ *Crystalsymmetry*.

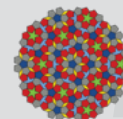
Veja mais em crystalsymmetry.wordpress.com

>

Vasco Bonifácio

vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt

Cristalografia Fascinante



O site *The Fascination of Crystals and Symmetry* foi criado na sequência de um curso *online* sobre cristalografia. O conteúdo é gerido por Frank Hoffmann, investigador da Universidade de Hamburgo, na Alemanha. Determinar a topologia de uma rede metalo-orgânica (MOF, do inglês *Metal-Organic Framework*) pode ser uma tarefa difícil e tediosa, especialmente para quem não é experiente nesta área. No site encontramos informação sobre duas ferramentas que nos podem poupar muito trabalho, oferecendo uma análise totalmente automática, a *TopCryst* (topcryst.com) e a *CrystalNets* (progs.coudert.name/topology). A *TopCryst* permite determinar a topologia de uma estrutura cristalina a partir de um arquivo CIF (*Crystallographic Information File*). A *CrystalNets* é uma ferramenta de código aberto desenvolvida para a identificação topológica de materiais cristalinos. Está disponível como uma biblioteca escrita em *Julia*, e pode ser utilizada diretamente através de uma interface *web* ou integrada em *scripts Python*.

Batatas! É Impressão Minha ou Estou a Sentir Aqui Alguma QUÍMICA?

Nas batatas, como em tudo o que nos rodeia, há muita QUÍMICA, mas parece que alguns a sentimos e outros, infelizmente, não! Há anúncios publicitários que teimam em referir que os alimentos que consumimos não possuem químicos...

A batata (*Solanum tuberosum*) é cultivada em cerca de 80% dos países e a produção mundial é superior a 300 milhões de toneladas por ano, valor apenas ultrapassado pelo trigo, milho e arroz. É muita batata para sentir pouca QUÍMICA!

A composição QUÍMICA da batata varia consoante o local de cultivo, as práticas agrícolas, a maturidade na colheita e o historial de armazenamento subsequente. A análise QUÍMICA das batatas permite-nos saber que é constituída principalmente por água (75%, em média) e amido (65-80% do conteúdo de matéria seca). A fécula de batata contém cerca de 21% de amilose, 75% de amilopectina, 0,1% de proteína e 0,08% de fósforo. Começam a sentir alguma QUÍMICA?

O amido, o componente nutricional mais importante, é um polissacarídeo constituído por moléculas de glicose ligadas entre si por ligações glicosídicas. É, possivelmente, o polímero mais comum na alimentação humana. Um polímero (do grego poli-, “muitos” e -meros, “parte”) é composto por muitas moléculas QUÍMICAS que se uniram entre si através de uma reação QUÍMICA. Sentem a QUÍMICA?

Mas, se calhar, as batatas perdem a sua química quando as fritamos, e é por isso que existe quem não sinta nenhuma QUÍMICA nas batatas!

O que transforma a batata na batata frita é a fritura. Fritar as batatas é um processo que envolve uma QUÍMICA bastante genial e, além disso, traz muita felicidade às nossas papilas gustativas. Quando se submergem as batatas em óleo ou azeite bem quente começa a ocorrer uma série de reações QUÍMICAS. Quando o calor do óleo ou do azeite se espalha pelas batatas (o que não acontece muito rapidamente porque a batata é um mau condutor de calor), um processo de gelatinização começa e a batata amolece. No entanto, à superfície das batatas, a água que a compõe evapora porque a temperatura do óleo/azeite é superior à temperatura de ebulição da água, formando-se uma crosta leve e seca. Esta é a base da crocância. Sentem a QUÍMICA estaladiça? Se a crosta ultrapassar os 100 °C, atinge a temperatura a que se inicia a reação QUÍMICA conhecida como reação de Maillard que



é responsável pela cor amarelo-acastanhada das batatas fritas. Sentem a QUÍMICA da cor? Entretanto, outra reação QUÍMICA acontece. O óleo/azeite oxida-se gradualmente e produz moléculas que se misturam com a reação de Maillard produzindo os aromas que nos atraem para as batatas fritas. Sentem a QUÍMICA do aroma?

Podemos ainda tentar melhorar o sabor das batatas adicionando sal, NaCl, um composto químico reconhecido por intensificar o sabor! Sentem aqui mais QUÍMICA?

Também podemos adicionar um preparado à base de tomate, especiarias e pimento, açúcar, cebola em pó, farinha de arroz, tomate em pó e alho em pó, um autêntico *cocktail* de produtos com muitos compostos químicos! E ainda acidificantes como o ácido cítrico ou o ácido málico, especiarias (pimentão fumado), que costuma conter entre outros químicos a capsaicina, plantas aromáticas (salsa), que contém entre outros, cálcio (Ca), ferro (Fe), potássio (K), miristicina e apiol, pimento verde em pó, corante (extrato de pimentão), provavelmente mais capsaicina entre outras substâncias QUÍMICAS. Estes componentes existem, por exemplo, nas batatas fritas receita camponesa, à venda na maior parte dos supermercados. Agora sim, todos sentem já aqui alguma QUÍMICA!

Saiba mais em:

French fries – the science behind perfectly crispy fries ktchnrebel.com/french-fries-perfect-crispy (acedido em 23/03/2025).

F. Pedreschi, *Drying Tech.* **2012**, 30, 707-725. DOI: 10.1080/07373937.2012.663845.

The chemistry of fried food, youtube.com/watch?v=oTfgfoVb6io (acedido em 23/03/2025).

Batata Frita Lisa Camponesa Pingo Doce, pingodoce.pt/produtos/marca-propria-pingo-doce/pingo-doce/batata-frita-lisa-camponesa-pingo-doce-170-g/ (acedido em 23/03/2025).

>

Marta Piñeiro

mpineiro@qui.uc.pt

Ciência para Barrar: Manteiga Feita em Casa

> Marta C. Corvo

Introdução

A ciência feita com as coisas vulgares do dia a dia tem inspiração garantida na cozinha. Os alimentos têm dentro de si inúmeros segredos, desde os mais simples, aos mais complicados. Será que conseguimos revelar alguns? Nesta experiência divertida e deliciosa, vamos descobrir como fazer manteiga caseira a partir de natas.



Material

- Recipiente de medida;
- Natas frescas (com elevado teor de gordura) fora do frigorífico há 5 horas;
- Copo;
- Frasco de vidro de 300 mL com tampa que vede bem;
- Cronómetro ou relógio;
- Saco de plástico pequeno.

Procedimento:

1. Com o auxílio do recipiente de medida, transferir $\frac{1}{2}$ chávena de natas para dentro do frasco e vedar bem com a tampa.
2. Preparar o cronómetro e começar a contar o tempo.
3. Em simultâneo, começar a agitar o frasco com força.



4.

Ao fim de alguns minutos, o líquido muda de textura e começa a formar algo mais sólido. Verificar o tempo e continuar a agitar!

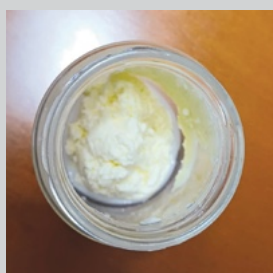
5.

Quando se ouvir algo sólido a bater dentro do frasco, pode terminar-se a agitação e registar o tempo.



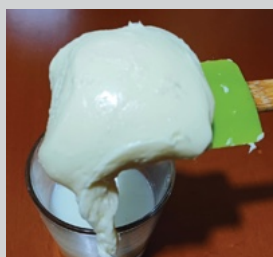
6.

Abrir o frasco e separar o líquido que se formou, chamado de leiteiro, deitando-o dentro do copo.



7.

Retirar o sólido que se formou -a manteiga - para dentro do saco e provar.



Explicação

O leite e as natas são muito mais do que parecem! Dentro deles existe água, gordura e outras coisas como proteínas e açúcares. Só que a gordura não gosta nada de se misturar com a água. Para conseguirem estar juntas, formam uma mistura especial chamada **emulsão**. No leite existem microgotas de gordura dentro da água graças à ajuda das proteínas que as seguram no lugar, funcionando como um escudo à sua volta. Quando agitámos as natas, estivemos a dar energia a este sistema, e as proteínas deixaram de conseguir segurar as gotas de gordura. Elas começaram a juntar-se todas e formaram um bloco maior:

a **manteiga**! O que sobrou é o líquido chamado **leitelho**, que também pode ser usado em bolos e panquecas. O tempo que demora até atingir a manteiga depende da temperatura a que as natas se encontram, do seu teor de gordura, e da força da agitação. Normalmente demora entre 5-6 minutos para que natas à temperatura ambiente se transformem em manteiga. Podem fazer-se variações desta experiência, como por exemplo, observar quanto tempo será necessário para produzir manteiga a partir de natas que estejam frias, ou verificar qual a quantidade de manteiga obtida consoante a quantidade de natas utilizada.

Bibliografia

- [1] Adaptado de *Science Buddies*: "Scrumptious Science: Shaking for Butter", sciencebuddies.org/stem-activities/scrumptious-science-shaking-for-butter?from=Blog (consultado em 28/02/2025).

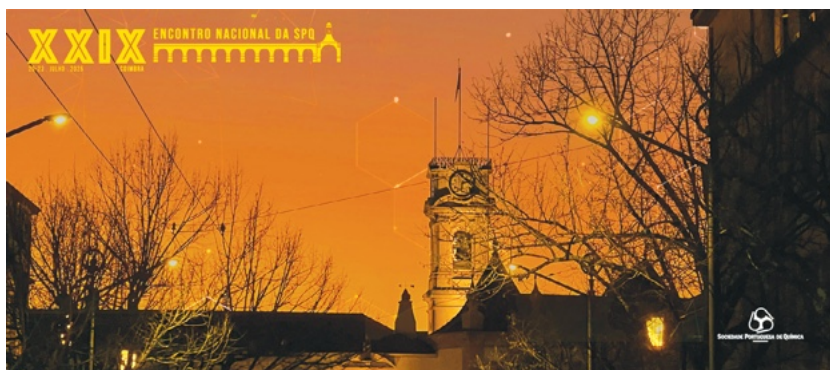
>

Marta C. Corvo

Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Universidade Nova de Lisboa.
i3N/CENIMAT.

Marta Corvo é investigadora no i3N-CENIMAT, Dep. Ciência dos Materiais da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, dedicada à

ressonância magnética nuclear. Além da divulgação de ciência, interessa-se pelo desenvolvimento de novos materiais para captura de CO₂, armazenamento de energia e preservação de obras de arte. marta.corvo@fct.unl.pt
ORCID.org/0000-0003-0890-6133



Mais informações disponíveis em: xxixenspq.events.chemistry.pt

XXIX Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química

O XXIX Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química terá lugar na **Universidade de Coimbra, de 20 a 23 de julho de 2025**. O tema do congresso será **“Química, a Ciência que nos une”**. Sendo o maior evento em Portugal organizado pela SPQ, este congresso é uma oportunidade única para todas as áreas da química se reunirem. A química está presente em tudo à nossa volta e em nós mesmos, sendo essencial à vida e ao quotidiano, mas o seu uso exige responsabilidade e sustentabilidade para beneficiar a todos e ao planeta. Num mundo que exige mudanças,

a química – Ciência Central da Transformação – tem um papel fundamental e unificador. O Encontro será marcado pela entrega dos prestigiados Prémios Ferreira da Silva, Fraústio da Silva, e da Medalha Vicente Seabra. Este ano, teremos novamente o Prémio Luso-Espanhol e, pela primeira vez, o Prémio Luso-Italiano. Além disso, o evento encerrará o ciclo de conferências “Químicas”. Para além de um programa científico de excelência, o Encontro conta também com um programa social vibrante que proporcionará momentos de descontração e *networking* entre os participantes.

Molecules4Life

O segundo Encontro internacional bienal Molecules4Life terá lugar em **Vila Real, entre 10 e 12 de setembro de 2025**. O Encontro, organizado pelo Centro de Química-Vila Real (CQ-VR) e sob os auspícios da Sociedade Portuguesa de Química, foi concebido para promover colaborações entre químicos e cientistas de outras áreas com interesses comuns. O tema desta segunda edição, *Molecules4...Sustainable Development*, centrar-se-á em estratégias para compreender, melhorar e criar soluções sustentáveis que apoiem a

proteção ambiental e o bem-estar global. A reunião está organizada em torno de cinco tópicos principais: Fluxos moleculares com impacto ambiental (solo, água e atmosfera); Remediação ambiental e controlo da poluição; Materiais sustentáveis; Materiais para energia; Segurança alimentar e tecnologias de rótulos limpos. Reunindo diversas abordagens sob o tema da Sustentabilidade, este evento tem como objetivo promover a interdisciplinaridade e a partilha de experiências, conhecimentos e ideias inovadoras num ambiente único onde a ciência se mistura com eventos sociais e culturais.



Mais informações disponíveis em: molecules4life-2025.events.chemistry.pt

International Joint Meeting GLUPOR 15 & GLYCOTwinning 2025

A 15.ª Reunião Internacional do Grupo Português de Hidratos de Carbono – GLUPOR 15, terá lugar de **15 a 17 de setembro de 2025** na histórica cidade de **Coimbra**, onde o passado e o futuro convergem, oferecendo um cenário inspirador para a exploração e colaboração científica. O Encontro é uma iniciativa do Grupo Português de Hidratos de Carbono e da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), com o objetivo de aproximar cientistas que trabalham em diferentes áreas da investigação em hidratos de carbono. Este ano, a GLUPOR 15 será associada à Rede Internacional *GLYCOTwinning: Building Networks to Excel in Glycoscience*, reunindo especialistas nacionais e internacionais em áreas transversais da glicociência na interface da biologia, imunologia, química,



Mais informações disponíveis em: glupor15.events.chemistry.pt

bioquímica, biotecnologia, ciência dos materiais, ciência alimentar, ciência médica e microbiologia. Conhecida como a “Cidade do Conhecimento”, Coimbra é a sede da Universidade de Coimbra, a mais antiga universidade de Portugal e Património Mundial da UNESCO. Quer esteja a explorar as suas ruas antigas, a desfrutar do calor das suas gentes ou a trocar ideias com colegas cientistas, Coimbra promete uma experiência única e enriquecedora.

Conferência Final do Projeto Europeu *SupraLife* em *Biomateriais e Sistemas Supramoleculares Multifuncionais para Aplicações Biomédicas*

No âmbito do projeto europeu *Twinning SupraLife* (Grant Agreement No. 101079482), terá lugar na **Universidade de Aveiro, entre os dias 29 de setembro e 3 de outubro de 2025**, a conferência final subordinada ao tema *Biomateriais e Sistemas Supramoleculares Multifuncionais para Aplicações Biomédicas*. Este evento incluirá apresentações plenárias por parte de cientistas de renome internacional no domínio da química, sistemas supramoleculares e biomateriais em tópicos que incluem: sistemas supramoleculares biomiméticos e bioinspirados, polímeros (multi)funcionais, (bio)materiais e hidrogéis poliméricos dinâmicos e responsivos, revestimentos e filmes poliméricos, estruturas/sistemas/biomateriais multi-escala, sistemas injetáveis, superfícies e estruturas bioinstrutivas para *screening* e libertação controlada de fármacos, biossensores, nanomedicina, diagnóstico, teranóstica, engenharia de tecidos e medicina regenerativa. O evento incluirá ainda comunicações orais e em painel pela comunidade científica. A submissão de resumos encontra-se disponível até **15 de junho de 2025**. A



Funded by the European Union. The SUPRALIFE project has received funding from the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. 10079482.

Mais informações disponíveis em: supralife.eu

inscrição no evento com taxa reduzida poderá ser efetuada até **31 de julho de 2025** – desconto adicional aplicável para sócios SPQ. Mais informações acerca dos palestrantes convidados, registo na conferência e submissão de resumos podem ser encontradas no website supralife.eu/finalconference e redes sociais X/Twitter e LinkedIn.

Agenda

(por razões alheias ao *Química*, alguns dos eventos poderão sofrer ajustes de calendarização)

> maio de 2025

04 - 08 de maio de 2025, Brunner, Suíça
SCS Conference on Stereochemistry 2025
(Bürgenstock Conference)
scg.ch/component/eventbooking/bc25

05 - 06 de maio de 2025, Nápoles, Itália
Mid-Season Sustainable Pharmaceutical
Applications Conference (MiSuSPharmA)
misuspharma.webnode.it

05 - 07 de maio de 2025, Mülheim an der Ruhr,
Alemanha
100 Years Fischer-Tropsch Process
dechema.de/en/Fischer_Tropsch_Process_2025

08 - 09 de maio de 2025, Milão, Itália
NextGenBiocat 2025: An International Young
Investigator Symposium
nextgenbiocat.org

12 - 14 de maio, 2025, Roma, Itália
17th International Conference on Hybrid and Organic
Photovoltaics (HOPV25)
nanoge.org/HOPV25

12 - 15 de maio de 2025, Chicago, EUA
ACSMEDI-EFMC Medicinal Chemistry Frontiers 2025
medchemfrontiers.org

12 - 16 de maio de 2025, La Rochelle, França
International Symposium on Green Chemistry
(ISGC 2025)
isgc-symposium.com

13 - 15 de maio de 2025, Barcelona, Espanha
12th International Chlor-Alkali Technology
Conference and Exhibition
eurochlor2025.org

13 - 15 de maio de 2025, Rüdeshheim, Alemanha
Beilstein Nanotechnology Symposium 2025
beilstein-institut.de/en/symposia/defect-
mediated-engineering-of-nanomaterials

18 - 22 de maio de 2025, Montreal, Canadá
247th ECS Meeting
electrochem.org/247

18 - 23 de maio de 2025, Porto, Portugal
15th Fundamentals of Adsorption (FOA15)
foa15.events.chemistry.pt

19 - 23 de maio de 2025, Ronce-les-Bains, França
French Conference on Catalysis (FCCat 2025)
fccat2025.sciencesconf.org

21 - 23 de maio de 2025, Bolonha, Itália
12th Asian-European Symposium on Metal Mediated
Organic Synthesis (SMOS-12)
smos-12.org

25 - 28 de maio de 2025, Gargnano, Itália
International School of Process Chemistry 2025
(ISPROCHEM 2025)
isprochem.unimi.it

28 - 30 de maio de 2025, Newtown, Reino Unido
58th European Symposium on Biological and Organic
Chemistry (ESBOC)
rsc.org/events/detail/79883/european-
symposium-on-biological-and-organic-chemistry

junho de 2025

01 - 05 de junho de 2025, Budapeste, Hungria
International Conference on Green & Sustainable
Chemistry (ICGSC2025)
icgsc2025.mke.org.hu

02 - 05 de junho de 2025, Sicília, Itália
13th International Conference on Environmental
Catalysis (ICEC 2025)
icec2025.com

03 - 06 de junho de 2025, Bari, Itália
1st International Symposium on Deep Eutectic
Solvents (ISYDES 2025)
isydes.org

08 - 12 de junho de 2025, Belgrado, Sérvia
19th International Conference on Chemistry and the
Environment (ICCE 2025)
icce2025.com

09 - 12 de junho de 2025, Valência, Espanha
33rd European Biomass Conference and Exhibition
(EUBCE 2025)
eubce.com

10 - 13 de junho de 2025, St. Andrews, Escócia
International Conference on Sustainable Chemistry
for Net Zero (ICSC-NZ)
icsc-nz.com

11 - 13 de junho de 2025, Bratislava, Eslováquia
The XXIII European Food Chemistry Conference
(EUROFOODCHEM XXIII)
eurofoodchem2025.schems.sk

11 - 13 de junho de 2025, Castelló, Espanha
XVI International School on Organometallic Chemistry
"Marcial Moreno Mañas" (ISOC-MMM 2025)
sites.google.com/uji.es/isocmmm2025

11 - 14 de junho de 2025, Valência, Espanha
14th International Conference on the History of
Chemistry (14ICHC)
esdeveniments.uv.es/116631

12 - 13 de junho de 2025, Chicago, EUA
EWOC 2025 (Empowering Women in Organic
Chemistry)
ewochem.org

15 - 18 de junho de 2025, Uppsala, Suécia
17th International Symposium on Applied
Bioinorganic Chemistry (ISABC17)
isabc2025.com

15 - 19 de junho de 2025, Gargnano, Itália
XLIX "Attilio Corbella" International Summer School
on Organic Synthesis (ISOS 2025)
corbellasummerschool.unimi.it

16 - 18 de junho de 2025, Estocolmo, Suécia
3rd National Meeting of the Swedish Chemical
Society (SCS2025)
scs2025.se

19 - 20 de junho de 2025, Catania, Itália
Analytical Spectroscopy Meeting (ISA 2025)
soc.chim.it/it/divisioni/analitica/ISA2025

22 - 27 de junho de 2025, Groningen, Países Baixos
European Polymer Congress 2025 (EPF 2025)
epf2025.org

23 - 25 de junho de 2025, Palermo, Itália
AMYC-BIOMED 2025
amycbiomed2025.webnode.page

23 - 27 de junho de 2025, Lisboa, Portugal
22nd International Conference on Carbon Dioxide
Utilization (22ICCDU)
iccd2025.events.chemistry.pt

23 - 27 de junho de 2025, Bangucoque, Tailândia
20th Asian Chemical Congress (20ACC)
acc2025thailand.com

29 de junho - 03 de julho de 2025, Basileia, Suíça
17th International Symposium on Biocatalysis and
Biotransformations (BIOTRANS 2025)
biotrans2025.com

29 de junho - 03 de julho de 2025, Copenhaga,
Dinamarca
23rd European Symposium on Organic Chemistry
(ESOC 2025)
esoc2025.com

29 de junho - 03 de julho de 2025, Pisa, Itália
Joint 50th Congress of the Physical Chemistry
Division (SCI) e 5th European Conference of Physical
Chemistry (EuChemS)
eventi.societachimica.it/app/events/
cdc50__5th_ecpc

30 de junho - 04 de julho de 2025, Roma, Itália
15th European Biophysics Congress (EBSA 2025)
ebsa2025.eu

julho de 2025

01 - 04 de julho de 2025, Grenoble, França
9th International Conference of the Institut des
Métaux en Biologie de Grenoble (9th IMBG)
imbg2025.com

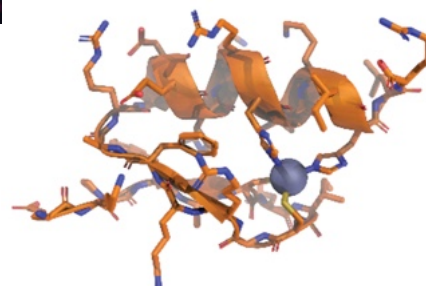
02 - 04 de julho de 2025, Cracóvia, Polónia
11th European Variety in University Chemistry
Education Conference (EuroVariety 2025)
eurovariety2025.confer.uj.edu.pl



Errata

Design de Proteínas e a Previsão da sua Estrutura - O Prémio Nobel da Química 2024, atribuído a David Baker, Demis Hassabis e John Jumper

No último n.º da versão impressa do QUÍMICA (N.º 175, vol. 48), na pág. 243, legenda Figura 5, onde se lê "...proteína (PDB 1zaa) - esquerda..." deve ler-se "...proteína (PDB1zaa) - em cima...". Na mesma legenda, onde se lê "...ião zinco (PDB 1fsd) - direita" deve ler-se "...ião zinco (PDB 1fsd) - em baixo". A estrutura correta da Figura 5 (em cima) é:



Boletim da Sociedade
Portuguesa de Química

Química

www.spq.pt

janeiro-março
Vol. 49 | N.º 176 | 2025



SOCIEDADE
PORTUGUESA
DE QUÍMICA