

Química





Editorial | 142

Direção | 143

Notícias | 144

Atualidades Científicas | 162

Ongoing

165

CyChest: Gestão Integrada do
Ciclo do Castanheiro no Parque
Natural de Montesinho | **165**

Teses

167

Iron Gall Ink and Blotting
Sands on Portuguese Written
Heritage - a Comprehensive
Study and Developments in
Conservation Treatments | **167**

Development of Analytical
Strategies for Evaluation of
Biopharmaceuticals | **168**

Artigos

169

Uma Nova Estrutura Universal de
Deteção de Vida na Terra e
no Sistema Solar – Alcance e
Limitações | **169**

Mecanoquímica na
Europa: De Onde Vimos
e Onde Estamos | **179**

O Imperador D. Pedro II do Brasil e
a Química | **187**

Jonathan Pereira: um Luso-Descen-
dente na Vanguarda da Farmacologia
Vitoriana | **194**

O Ensino da Química em
Revisão: Novas Aprendizagens
para Novos Desafios | **201**

Nas Redes | 205

Química Entre Nós | 206

Espaço dos Mais Novos | 207

Destaques | 209

Agenda | 211



Os resultados das duas primeiras fases do Concurso Nacional de Acesso (CNA) ao Ensino Superior de 2026 foram conhecidos recentemente. Para além da leitura global, estes resultados constituem uma oportunidade para compreender melhor o lugar que a Química ocupa nas escolhas dos candidatos ao ensino superior.

Cerca de 90% da oferta concentrou-se nas formações em Bioquímica, Engenharia Química, Engenharia Química e Biológica e Química. Os resultados revelam, contudo, diferenças assinaláveis no preenchimento das vagas, tanto entre estas tipologias de cursos como nas restantes formações e entre instituições, como evidenciam

os dados e a análise apresentados no texto da Direção, publicado neste número. A comparação com 2025 revela um quadro global relativamente estável após a 1.^a fase: ficaram por preencher 20,1% das vagas em 2025 e 20,0% em 2026. Após a 2.^a fase, porém, a proporção de vagas por preencher diminuiu de 17,9% para 14,8% da oferta inicial. Entre as tipologias de cursos com maior número de vagas, a evolução foi distinta: em Bioquímica, as vagas por preencher diminuíram de 10,6% para 5,5% e, em Química, de 56,2% para 36,8%, enquanto em Engenharia Química e Engenharia Química e Biológica se registou um ligeiro aumento, de 9,4% para 10,7%.

Estes resultados mostram que não existe uma realidade única na procura de formações ligadas à Química. Entre as situações que merecem particular atenção está a ausência de colocados na formação em Física e Química, num contexto de escassez de professores nesta área. Importa, contudo, distinguir a procura desta formação das diferentes vias de acesso à profissão docente. Além disso, os resultados das colocações, por si só, não permitem compreender as razões que orientam as escolhas dos candidatos. Para além da leitura dos resultados de cada ano, importa compreender a evolução da atratividade destas formações num horizonte temporal mais alargado. Uma análise dessa natureza poderá considerar a evolução das vagas e do seu preenchimento, a procura e as preferências dos candidatos e as diferenças entre instituições e regiões, bem como explorar, através de inquéritos ou outras abordagens, as motivações e perceções que condicionam essas escolhas. Só assim será possível distinguir oscilações pontuais de tendências mais persistentes e identificar os fatores que influenciam a escolha destas formações.

As questões relacionadas com o ensino da Química estão também no centro da atividade da Divisão de Ensino e Divulgação da Química da SPQ, que recentemente promoveu o XII ENEQ. Foi por ocasião deste encontro que a família do Professor Carlos Corrêa ofereceu à SPQ a aguarela que ilustra a capa deste número. Falecido em 2025, Carlos Corrêa deixou uma marca profunda no ensino e na divulgação da Química, contribuindo para a formação de sucessivas gerações de estudantes e investigadores. A escolha desta aguarela constitui, assim, uma forma de o *QUÍMICA* e a SPQ agradecerem o gesto da família e prestarem homenagem ao Professor Carlos Corrêa.

Este número fica também marcado pela notícia do falecimento de Joaquim Moura Ramos. Professor, investigador e figura relevante da comunidade química portuguesa, teve igualmente uma ligação particular ao *QUÍMICA*, cuja direção assumiu entre 1985 e 1988. O seu percurso científico e académico, bem como o contributo que deixou à Química e à SPQ, merecem uma homenagem que ultrapassa o âmbito de uma breve referência editorial. O próximo número do *QUÍMICA* procurará prestar-lhe essa homenagem.

>
Paulo Mendes

BOLETIM DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE QUÍMICA
 PROPRIEDADE DA 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 182, julho-setembro 2026

REDAÇÃO, EDIÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

Av. Prof. Gama Pinto, 2 – 1649-003 Lisboa.
 Tel.: 217 904 785
 bspq@uevora.pt • www.spq.pt

Diretor: Paulo Mendes

Diretores-adjuntos: Ana Paula Esteves, Carlos Monteiro, Maria José Lourenço, Tânia Coelho, 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

Sersilto, Empresa Gráfica, Lda.
 Travessa Sá e Melo, 209, Apartado 1208
 4500-116 Gueifães, Maia
 +351 229 436 920
 administracao@sersilto.pt
 Tiragem: 1.275 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

Ensino da Química: Um Compromisso Coletivo

Há um ano, neste mesmo espaço, foram discutidos os padrões distintos de procura e de ocupação de vagas nas principais instituições de ensino superior do país, para os cursos de Química, Bioquímica e Engenharia Química. Era evidente que, embora alguns cursos mantivessem uma procura estável e elevada, outros enfrentavam desafios consideráveis na atração de novos estudantes. As tendências, apesar de marcadamente distintas, não tinham correlações óbvias. No caso da Engenharia Química, por exemplo, havia cursos no topo da tabela das taxas de ocupação e, simultaneamente, o único curso sem estudantes colocados na 1.ª fase de acesso em 2025.

Por si só, este facto singular revelava a complexidade da questão, mostrando que os resultados requeriam uma análise que fosse para além da tipologia dos cursos, nomeadamente nas três grandes áreas acima referidas. A questão deve ser abordada sistematicamente considerando não apenas a tipologia, mas também a localização geográfica, a demografia e a situação específica dos ciclos de estudos da área 442 – Química.

O paradigma educativo da Química como Ciência Central tem vindo a evoluir num sentido mais abrangente, assente no pensamento sistémico e numa química verde e sustentável. E as escolhas dos nossos estudantes parecem também apontar nesse sentido, penalizando as tipologias mais tradicionais e indo ao encontro daquelas que evidenciam mais claramente a ligação intrínseca da química com os sistemas terrestres e sociais. O papel central da química, na atualidade, só ganha expressão na resposta aos desafios e às oportunidades globais da sociedade moderna.

A Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) tem estado particularmente atenta a esta evolução, acompanhando com preocupação a diminuição do número de estudantes em cursos de Química e apoiando ativamente as instituições de ensino superior na definição de estratégias para reforçar a sua atratividade.

O Decreto-Lei n.º 56/2026 introduziu um enquadramento que permite maior flexibilidade no número de provas de ingresso exigidas para cada par instituição/ciclo de estudos. Imediatamente após a sua publicação, a SPQ solicitou ao Ministério da Educação, Ciência e Inovação (MECI) uma reunião, com carácter de urgência, para discutir a aplicação do decreto aos ciclos de estudos da área 442 – Química. Apesar de esta solicitação ter sido amplamente subscrita pelos intervenientes mais ativos do processo educativo, nos diferentes níveis de atuação, não obtivemos qualquer resposta da tutela.

Em 2026, o número de vagas no Concurso Nacional de Acesso (CNA) disponíveis para cursos de componente química ascendeu a 1269. Após o encerramento da 2.ª fase, estavam por preencher 188 vagas, o que se traduz numa taxa global de preenchimento de 85,2%. O preenchimento das vagas por tipologia de curso (Figura 1) continua a revelar uma situação inquietante para os cursos da área de Química em Portugal, marcada por dificuldades significativas em captar estudantes e por uma procura muito desigual entre cursos e instituições. A situação é particularmente expressiva nas licenciaturas tradicionais em Química, em que o preenchimento das vagas na 1.ª fase varia consideravelmente, ficando alguns cursos com menos de metade

Figura 1 – Taxa de preenchimento das vagas por tipologia de curso na 1.ª e na 2.ª fase do CNA 2026.

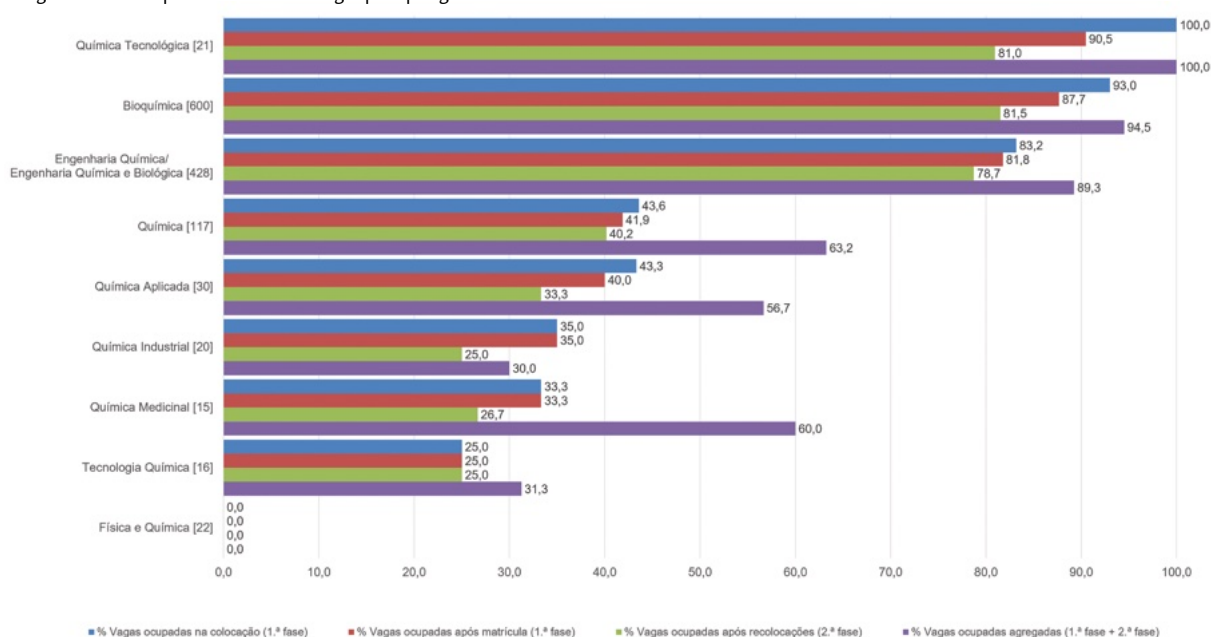
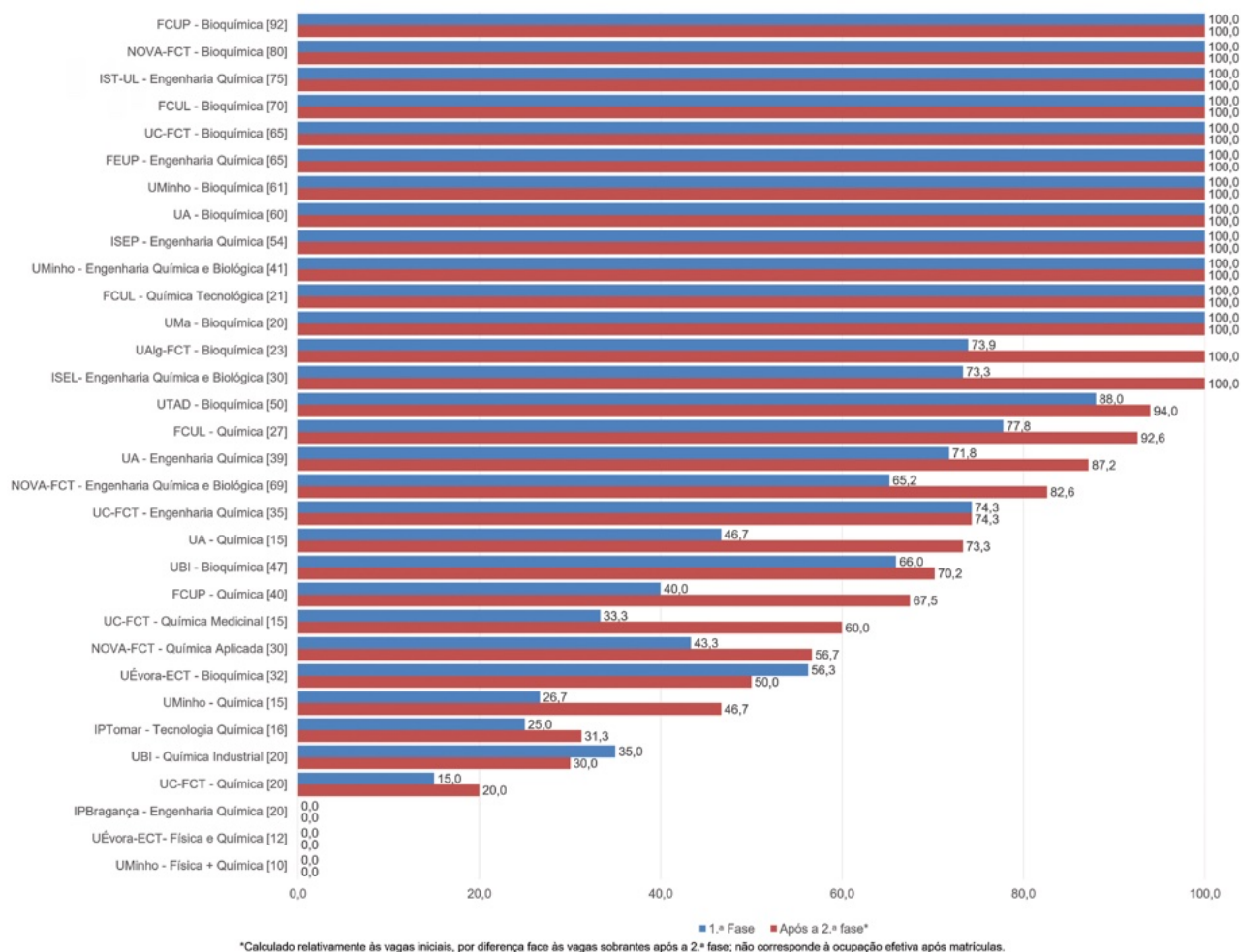


Figura 2 – Taxa de preenchimento das vagas por curso na 1.ª e na 2.ª fase do CNA 2026.



das vagas preenchidas. Na 2.ª fase, apesar de alguma recuperação, persistem vagas por preencher.

O cenário é, contudo, heterogéneo. A Bioquímica e a Engenharia Química apresentam resultados globalmente mais favoráveis, com várias instituições a preencherem a totalidade das vagas logo na 1.ª fase (Figura 2). Ainda assim, também nestas áreas existem cursos com níveis de preenchimento inferiores ao expectável.

Os dados do CNA 2026 evidenciam fragilidades persistentes na atratividade de muitos cursos de Química, exigindo medidas que valorizem esta ciência e reforcem a sua relevância social. Trata-se de um desafio nacional que requer uma abordagem sistémica, contemplando a especificidade destes cursos, as condições de acesso ao ensino superior e a sustentabilidade da formação. É igualmente urgente valorizar a carreira docente, incentivar a formação de professores e repensar os mecanismos de retenção, combatendo o défice de docentes nas áreas científicas de base. Importa ainda ajustar o enquadramento regulamentar concretizando o espírito

de flexibilização previsto no Decreto-Lei n.º 56/2026, de forma a promover a captação de estudantes e a sustentabilidade dos cursos da área 442 – Química.

Fomentar a procura dos cursos de Química exige uma estratégia integrada, desde os primeiros anos de escolaridade até ao ensino superior. É necessário despertar vocações através de um ensino mais experimental, evidenciar o contributo da Química para os desafios da sociedade e valorizar as oportunidades profissionais que proporciona. Este esforço exige um compromisso duradouro entre os responsáveis pelas políticas educativas, as instituições de ensino, os professores, a comunidade científica e as empresas. Valorizar a Química é investir na capacidade científica, tecnológica e industrial do país.

>

Joaquim L. Faria

FEUP – Universidade do Porto
Presidente da SPQ
jlfaria@fe.up.pt

>

Paulo Mendes

Universidade de Évora
Diretor do QUÍMICA
bspq@uevora.pt

XII Encontro Nacional de Ensino da Química Promove Reflexão sobre Sustentabilidade e Inovação Pedagógica

Nos dias 3 e 4 de setembro de 2026 realizou-se, na Escola Secundária Frei Gonçalo de Azevedo, em São Domingos de Rana, o XII Encontro Nacional de Ensino da Química (XII ENEQ), uma iniciativa da Divisão de Ensino e Divulgação de Química da Sociedade Portuguesa de Química (DEDQ-SPQ), subordinada ao tema “A Sustentabilidade no Ensino da Química”.

O Encontro constituiu um espaço de reflexão, partilha e valorização de práticas inovadoras no ensino da Química, abordando temas como a Química Verde, a educação para a cidadania e a sustentabilidade, a alimentação sustentável e a segurança alimentar, a inovação pedagógica, a formação de professores e a articulação interdisciplinar entre a Química e a área de Cidadania e Desenvolvimento.

O programa contou com sessões plenárias e palestras dinamizadas por Ana Rita Duarte (FCT-UNL), Adelino Galvão (IST-UL), Joaquim Luís Faria (FEUP), Cristina Soares (ISEP/IPP), João Marôco (ULusofona), Priscila Doran (NUCLIO) e Isabel Ribau Coutinho (FCT-UNL). As intervenções permitiram refletir sobre a sustentabilidade no ensino da Química, a educação para a cidadania, a ciência cidadã, a educação *maker*, o trabalho prático em sala de aula e a importância de metodologias inovadoras na aprendizagem.

Foram também dinamizados diversos *workshops* dedicados a metodologias STEM, atividades experimentais e interdisciplinares a partir das conservas, modelação 3D, calculadoras gráficas, animação de reações químicas através de *stop motion*, ciência cidadã e práticas laboratoriais sustentáveis.

No encerramento, foram distinguidos os alunos vencedores do concurso de rótulos de conservas. Foi atribuído ainda o prémio para a melhor comunicação oral ao trabalho “Covalente: da ligação química à escrita criativa na promoção da literacia científica no ensino secundário”, de Florbela Maria Pedro Rodrigues e dos alunos da Escola Secundária do Forte da Casa, assim como o prémio para a melhor comunicação em painel com o trabalho “CEB – Célula de Energia Biológica – Projeto de Bioeletricidade”, de Paula Gordo e dos alunos da mesma escola.



Abertura do XII Encontro Nacional de Ensino da Química (XII ENEQ).



Intervenção de Joaquim Luís Faria (FEUP e Presidente da SPQ).

No âmbito da Assembleia Geral da DEDQ, procedeu-se ao balanço de atividades, seguido pela apresentação de candidaturas ao cargo de presidente para o próximo biénio.

Os trabalhos terminaram com a entrega do Prémio Carlos Corrêa – DEDQ-SPQ Jovem Investigador em Ensino da Física e da Química a Inês de Andrade Baeta Guerreiro Cebola, numa cerimónia que contou com os três filhos do Professor Carlos Corrêa. A filha Carla Correia, em representação da família, proferiu algumas palavras, ofereceu à SPQ e ao seu Presidente duas aguarelas do espólio do Professor e ainda um prémio pecuniário à Investigadora distinguida.



Workshop “Criar e Animar Reações Químicas com *Stop Motion*”, César Marques (AE Professor Ruy Luís Gomes, Laranjeiro).



Workshop “Química, Tecnologia e Sustentabilidade: Uma Abordagem STEM”, Fernanda Neri (ES D. Maria II, Braga; representante *Texas Instruments*).

A DEDQ-SPQ agradece profundamente a todos os oradores, formadores, participantes, alunos, professores, membros das comissões e entidades que contribuíram para o sucesso do XII ENEQ. O envolvimento e a partilha de experiências de todos foram essenciais para afirmar este encontro como um espaço de aprendizagem e valorização do ensino da Química.

A próxima edição do Encontro Nacional de Ensino da Química já está a ser desenhada. A DEDQ-SPQ

continuará a promover a participação e a colaboração da comunidade educativa e científica. Se ainda não faz parte da Divisão de Ensino e Divulgação de Química, aguardamos por si, pelas suas ideias e pelo seu contributo.

Mais informações sobre o XII ENEQ em xieneq.events.chemistry.pt.

>

Tânia Coelhotania.coelho@spq.pt

XIII ENCMP e IV RGC Reuniram a Comunidade Nacional de Catálise, Materiais Porosos e Carbono no ISEL



Sessão de Abertura do XIII ENCMP & IV RGC.

O XIII Encontro Nacional de Catálise e Materiais Porosos (XIII ENCMP), realizado em conjunto com o IV Encontro do Grupo do Carbono (IV RGC), decorreu no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), de 15 a 17 de junho de 2026. O encontro reuniu mais de uma centena de participantes, entre investigadores, docentes e estudantes, refletindo o dinamismo e o crescimento das comunidades científicas ligadas à catálise, aos materiais porosos e aos materiais de carbono.

O programa científico incluiu três lições plenárias, sete comunicações convidadas e a apresentação do jovem investigador distinguido com o Prémio Ramôa Ribeiro 2026, Pedro Mendes, do Instituto Superior Técnico. Foram igualmente apresentadas as comunicações dos vencedores do Prémio Ramôa Ribeiro para a Melhor Tese de Doutoramento em Catálise, Joana Carvalho Lopes, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), e do Prémio para a Melhor Tese de Doutoramento em Materiais de Carbono, Ana Sofia Guedes Gorito dos Santos, também da FEUP.

Ao longo dos três dias foram apresentadas 48 comunicações orais e 47 painéis científicos, evidenciando a qualidade da investigação desenvolvida em Portugal, bem como as colaborações internacionais estabelecidas pelos grupos de investigação nacionais. Foram ainda atribuídos os prémios para a Melhor Comunicação Oral, a Fernanda Roman, e para o Melhor Painel Científico, a Zulema Cruz-Serrano.

Uma das novidades desta edição foi a iniciativa



Foto de grupo dos participantes no XIII ENCMP & IV RGC.

“Explica-Me”, destinada a promover a comunicação de ciência junto de públicos não especializados e a estimular o desenvolvimento de competências de divulgação científica entre jovens investigadores e estudantes. A atividade contou com a participação de 10 concorrentes, tendo sido atribuído o Prémio “Explica-Me” a José Ricardo Monteiro Barbosa pelo trabalho considerado mais eficaz na comunicação da sua mensagem científica.

O evento constituiu também uma oportunidade para divulgar duas importantes conferências internacionais que decorrerão em Portugal: a *Carbon 2028 – The World Conference on Carbon* a realizar no Porto, e a *FEZA 2029 – 11th Conference of the Federation of the European Zeolite Associations*, que terá lugar em Lisboa. A realização destes eventos em Portugal, com o apoio da Sociedade Portuguesa de Química, através da Divisão de Catálise e Materiais Porosos e do Grupo do Carbono, constitui um importante reconhecimento internacional da excelência da investigação nacional nestas áreas.

Mais informações sobre o XIII Encontro Nacional de Catálise e Materiais Porosos (XIII ENCMP) e o IV Encontro do Grupo do Carbono (IV RGC) em xiencmp-ivrgc.events.chemistry.pt.

>

Filipa Ribeirofilipa.ribeiro@tecnico.ulisboa.pt

>

Ana Paula Carvalhoapcarvalho@ciencias.ulisboa.pt

QUITEL2026: IA e Simulação Biomolecular Dominam o Debate Científico em Coimbra

O 49.º Congresso de Químicos Teóricos de Expressão Latina (QUITEL2026) teve lugar em Coimbra, de 5 a 10 de julho de 2026, reunindo cerca de 160 investigadores de 27 países, com 86 comunicações orais e 66 comunicações em painel, depois das últimas edições na Colômbia (Cartagena das Índias, 2025), Bélgica (Namur, 2024) e Uruguai (Montevideo, 2023). Esta edição, organizada pelos departamentos de Química e de Engenharia Química da Universidade de Coimbra, refletiu a evolução natural da química teórica e computacional, mostrando como os métodos clássicos da disciplina — química quântica, dinâmica molecular e modelação de estruturas eletrónicas — continuam a alimentar e a dialogar com as abordagens mais recentes de inteligência artificial e simulação biomolecular, presentes em várias conferências plenárias e *keynotes* do programa.

Um dos momentos mais aguardados foi a conferência “*An AI-First Approach to Rational Drug Design at Isomorphic Labs*”, de Alicia Higuero (Isomorphic Labs, Reino Unido), *spin-off* da Google DeepMind (empresa dos vencedores do Prémio Nobel da Química em 2024). A investigadora apresentou o *Isomorphic Labs Drug Design Engine* (IsoDDE), um sistema computacional unificado que mais do que duplica a precisão do AlphaFold 3 num *benchmark* exigente de generalização proteína-ligando, modelando com sucesso fenómenos complexos como o “*induced fit*” e a identificação de novos bolsos de ligação — um avanço com aplicação direta em campanhas de desenvolvimento de novos fármacos.

Entre as restantes *keynotes*, destacaram-se contributos que combinam IA e física computacional para acelerar a descoberta de fármacos e a compreensão de sistemas biomoleculares.

Stefano Forli (*Scripps Research*, EUA) apresentou o “*Reactive Docking*”, uma extensão do AutoDock que reduz o custo computacional por ligando de 45 minutos para 2,5 segundos, permitindo *screening* covalente à escala do proteoma.

Adrian Roitberg (*University of Florida*, EUA | AMBER) discutiu a evolução dos potenciais aprendidos por máquina (“*machine-learned potentials*”), desde a previsão de energias e forças para sistemas moleculares específicos, até modelos de redes neuronais capazes de generalizar a compostos fora do conjunto de treino.

Andrea Cavalli (EPFL, Suíça e diretor da CECAM) apresentou avanços em “*dynamical docking*” e cálculos de energia livre de ligação via métodos de amostragem otimizada, combinando dinâmica molecular com IA para acelerar a exploração do espaço conformacional em descoberta de fármacos.

Alexandre Bonvin (Universidade de Utrecht, Países



Foto de grupo.

Baixos) apresentou a nova plataforma HADDOCK para modelação integrativa de macromoléculas biomoleculares, destacando a sinergia entre previsões geradas por IA e modelação baseada em física, com aplicações em complexos antígeno-anticorpo e nanocorpos.

Jean-Philip Piquemal (*Sorbonne Université*, França) apresentou o FeNNix-Bio1, um modelo fundacional de *machine learning* treinado exclusivamente com dados sintéticos de química quântica, capaz de simular dinâmica atômica reativa em sistemas biológicos com precisão de sub-kcal/mol, aplicado ao cálculo de energias livres de hidratação e ligação proteína-ligando.

Finalmente, Giuseppe M. J. Barca (*Monash University*, Austrália) — vencedor da Medalha Dirac 2025 da WATOC, a mais alta distinção internacional atribuída a um químico teórico e computacional com menos de 40 anos, e também galardoado com o Prémio Gordon Bell 2024 da ACM pela primeira simulação biomolecular com precisão quântica realizada à escala *exascale* no supercomputador Frontier (*Oak Ridge National Laboratory*) — discutiu no QITEL2026 algoritmos de estrutura eletrónica nativos para GPU e a sua integração com modelos de IA e *frameworks* de orquestração “*agentic*” para *pipelines* autónomos de engenharia molecular.

O painel de honra recordou o percurso histórico da disciplina, com Alejandro Toro-Labbé (PUC Chile), que assinalou os 100 anos da mecânica quântica e os 50 anos do QITEL, Manuel Yáñez (*Universidad Autónoma de Madrid*), sobre reatividade intrínseca em sistemas deficientes em eletrões, e António Varandas (Universidade de Coimbra), sobre estratégias de “*tiling*” e extrapolação para simulações *ab initio* de sistemas moleculares de grande dimensão.

Para além das conferências plenárias e *keynotes*, o programa científico incluiu ainda uma mesa-redonda dedicada à Computação de Alto Desempenho (HPC), que reuniu representantes de vários centros de super-

computação do espaço europeu e latino-americano, promovendo uma reflexão conjunta sobre o acesso a infraestruturas de cálculo intensivo, os desafios da computação *exascale* e as oportunidades de colaboração transatlântica para a comunidade de química teórica e computacional de expressão latina.

O congresso incluiu também uma sessão dedicada a ferramentas e plataformas de *software* científico, na qual foram apresentadas e discutidas soluções computacionais relevantes para a investigação em química quântica, dinâmica molecular e ciência de dados aplicada à química, reforçando a ligação entre o desenvolvimento metodológico e a sua aplicação prática pela comunidade científica.

O programa foi ainda enriquecido por diversas comunicações orais e em painel, apresentadas por

investigadores de todas as fases da carreira científica, desde estudantes de doutoramento a investigadores seniores, cobrindo áreas tão diversas como astroquímica, catálise, fotoquímica, materiais para energia, química supramolecular e simulação de sistemas biológicos complexos, um reflexo da amplitude e vitalidade da química teórica e computacional na comunidade de expressão latina. O QUITEL2026 contou com o apoio da Universidade de Coimbra, CECAM, FCTUC, Câmara Municipal de Coimbra, Turismo Centro de Portugal, Springer Nature, LabOrders, ioChem-BD, CERES UC.

Mais informações em quitel2026.com.

>

Sérgio F. Sousa

sergiofsousa@eq.uc.pt

3rd Workshop on Benchmarking Solid State Properties Decorreu na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Decorreu, de 16 a 17 de julho de 2026, na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Ciências-ULisboa), o 3rd Workshop on Benchmarking Solid State Properties (3workshopbestcsp.campus.ciencias.ulisboa.pt). O evento, realizado com o apoio da SPQ, integrou-se nas atividades da Ação COST BEST-CSP (best-csp.eu), uma rede europeia que tem três objetivos principais: (i) a produção de dados de referência sobre estruturas cristalinas, propriedades termodinâmicas e propriedades espectroscópicas de sólidos orgânicos; (ii) a utilização desses dados no desenvolvimento e validação de métodos de previsão de estruturas e propriedades físicas/termodinâmicas desse tipo de sólidos; (iii) a realização de um *blind test* coordenado pelo Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC), para avaliar o sucesso das metodologias usadas por diferentes grupos de investigação e empresas do setor envolvidos na Ação.

Estiveram presentes cerca de 130 participantes, da academia e da indústria, oriundos de 23 países diferentes, sendo também de realçar o significativo número de patrocinadores que se associaram ao evento (Anton Paar, Caixa Geral de Depósitos, Ciências-ULisboa, FCIências, LaborSpirit, Paralab, Specanáltica, SPQ, Turismo de Portugal, Unican, XTalPi). O programa científico incluiu *keynote lectures* (Herma Cuppen, Universidade de Radboud; Steven P. Brown, Universidade de Warwick; Gustavo Santiso-Quñones, *Eldico Scientific*; e Gérard Coquerel, Universidade de Rouen Normandie), cerca de duas dezenas de



Foto de grupo dos participantes e alguns momentos relevantes registados durante o 3rd Workshop on Benchmarking Solid State Properties.

apresentações *flash*, uma apresentação focada em oportunidades de financiamento compatíveis com o tema da Ação (Mafalda Pinto Basto, FCIências.ID), uma apresentação de patrocinador (Y. Zhang, XTalPi) e uma apresentação sobre os primeiros resultados do *blind test* (Jonas Nyman, *The Cambridge Crystallographic Data Centre*). Tanto as apresentações orais como as sessões dedicadas a comunicações em painel foram sempre muito participadas.

Decorreram, também, durante o *workshop*, reuniões dos diferentes grupos de trabalho que constituem a Ação, destinadas a avaliar os progressos realizados até à data em cada setor e a definir orientações futuras.

É ainda de destacar a atribuição de três prémios destinados às melhores apresentações *flash* (Job Gieling, *Université Catholique de Louvain*; Rute Rodrigues, Ciências-ULisboa; Cheng-long Stephan, *Université Rouen Normandie*) e três correspondentes às melhores apresentações em painel (Szymon Grabowsky, *Jagiellonian University*; Christina Kolokytha, *National and Kapodistrian University of Athens*; Maurycy Nowak, *University of Warsaw*).

O número considerável de participantes e de comunicações incluídas no *workshop*, bem como os

resultados apresentados nas reuniões dos grupos de trabalho e na sessão sobre o *blind test* deram uma excelente indicação da vitalidade da Ação. O considerável peso de jovens investigadores que participaram no *workshop* e na sua organização permitiu também antever um futuro promissor para a área científica multidisciplinar em que a Ação se desenvolve.

>

Manuel Minas da Piedade

mepiedade@ciencias.ulisboa.pt

Semana Eurachem 2026: “a Focus for Analytical Chemistry in Europe”

De 10 a 15 de maio de 2026 decorreu a semana Eurachem 2026 (“a focus for analytical chemistry in Europe”) no Hotel Meliá Lisboa Aeroporto. A Eurachem (eurachem.org) foi a primeira organização internacional, criada em 1989, para promover a qualidade das análises químicas qualitativas e quantitativas nos mais diversos sectores. Esta organização foi fundada devido à relevância socioeconómica destas análises e às conhecidas fragilidades na qualidade e objetividade da informação produzida nestas determinações.

Esta série de eventos começou no dia 10 de maio com um curso em Avaliação da Incerteza da Medição, recorrendo a dados da validação do método analítico, seguindo o novo guia Eurachem/CITAC publicado em março. Este guia descreve formas metrologicamente fundamentadas de avaliação e otimização da incerteza da medição recorrendo a estes dados analíticos. Os dias 11 e 12 de maio foram dedicados ao “Eurachem/CITAC Workshop on Quality in Analytical Measurements: Uncertainty Evaluation and Results Interpretation”, cuja primeira sessão foi dedicada ao novo guia. O jantar do *workshop* decorreu no Museu de Marinha, tendo o transporte sido gentilmente cedido pela Marinha Portuguesa. O curso e o *workshop* contaram com 76 e 108 participantes, provenientes dos cinco continentes. O dia 13 de maio foi dedicado a reuniões dos grupos de trabalho da Eurachem que elaboram os guias Eurachem utilizados em todo o mundo. Os dias 14 e 15 de maio



Foto de grupo dos participantes no Eurachem 2026.

foram dedicados à Assembleia Geral da Eurachem, na qual o comité executivo e os delegados nacionais discutiram a gestão da organização.

Os participantes da semana Eurachem avaliaram muito positivamente a qualidade dos conteúdos e a organização dos eventos. O comité de organização agradece a colaboração da SPQ, dos patrocinadores e dos membros do comité científico pelo empenho na organização desta série de eventos.

Mais informações podem ser encontradas em eurachem2026.events.chemistry.pt.

>

Ricardo Bettencourt da Silva

rjsilva@ciencias.ulisboa.pt

XVII Simpósio Internacional de Biogeoquímica Estuarina (XVII IEBS)

Interligando os Desafios Atuais e as Lacunas Existentes na Biogeoquímica de Estuários: foi este o mote para o XVII IEBS, que se realizou no Centro de Congressos do Instituto Superior Técnico, Lisboa, entre os dias 17 e 20 de maio de 2026. Sob este enquadramento, o simpósio reuniu cerca de 50 especialistas de todo o mundo com o objetivo de promover o estado da arte

da biogeoquímica estuarina e costeira, destacando trabalhos interdisciplinares nas mais diversas áreas das ciências do mar e zonas costeiras.

Há décadas que os ambientes costeiros enfrentam as consequências de alterações profundas e frequentemente imprevisíveis. Estas mudanças são impulsionadas pela variabilidade climática, pela intensificação das atividades humanas na interface terra-mar e por perturbações de origem natural e antropogénica. Como resultado, os ecossistemas costeiros estão a evoluir de sistemas naturalmente regulados para condições cada vez mais moldadas pela influência das atividades humanas. Compreender, por isso, sistemas dinâmicos e complexos como os estuários, bem como a transformação, o destino e o transporte de contaminantes e o respetivo impacto na sociedade, continua a constituir um desafio para a comunidade científica. Neste contexto, cada sessão temática iniciou-se com oradores convidados: *Biogeoquímica estuarina e costeira do nitrogénio, do carbono e do enxofre*, por Hermann W. Bange, GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Alemanha; *Poluição Aquática: Dos Compostos Químicos aos Microplásticos – Impactos na Biota e na Saúde Humana*, por Marta Martins, NOVA FCT, Portugal; *Minerais críticos: um papel central na transição verde, mas ainda uma compreensão fragmentada da sua biogeoquímica em ambientes de transição*, por Huy Duc Hang, Trent University, Canadá; e *Invasões Biológicas e Biogeoquímica Estuarina*, por Pedro Morais, University of Texas Marine Science Institute, EUA. Vários trabalhos multidisciplinares que abordaram as fontes, o comportamento e o destino de nutrientes, matéria orgânica, gases que provocam efeito de estufa, diversos compostos orgânicos, contaminantes históricos e contaminantes emergentes de preocupação ambien-



Foto de grupo dos participantes no XVII IEBs.

tal, tais como elementos críticos para a tecnologia, microplásticos, PFAS e outros elementos ainda pouco estudados, foram apresentados durante o simpósio, quer em comunicações orais quer em painel.

A par do programa científico, o programa social do simpósio contou com uma atividade de *team building* e mostrou aos participantes as paisagens da região de Lisboa e Sintra, assim como algumas tradições portuguesas, como a gastronomia típica e o Fado. Da comissão organizadora do simpósio fizeram parte: Centro de Química Estrutural (CQE), Instituto Superior Técnico (IST), Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Universidade do Algarve (UALG), e Sociedade Portuguesa de Química (SPQ).

Mais informações podem ser encontradas em iebs2026.events.chemistry.pt.

> **Carlos E. Monteiro**
carlos.e.monteiro@tecnico.ulisboa.pt

> **Ricardo Bettencourt da Silva**
rjsilva@ciencias.ulisboa.pt

> **Alexandra Cravo**
acravo@ualg.pt

20th International Conference on Electroanalysis (ESEAC 2026)

A 20.ª Conferência Internacional de Eletroanálise – ESEAC 2026 teve lugar em Lisboa, Portugal, entre os dias 7 e 11 de junho de 2026. Cerca de 300 investigadores, provenientes de todas as partes do mundo, reuniram-se para apresentar e discutir os mais recentes avanços em diversos domínios da química eletroanalítica moderna, numa edição particularmente memorável que assinalou o 40.º aniversário da série de conferências.

O ESEAC deu continuidade aos encontros internacionais bienais, iniciados em 1986 pelo Professor Malcolm R. Smyth. As edições anteriores realizaram-se em Dublin, Irlanda (1986); Turku, Finlândia (1988); Gijón, Espanha (1990); Noordwijkerhout, Países Baixos (1992); Veneza,

Itália (1994); Durham, Reino Unido (1996); Coimbra, Portugal (1998); Bona, Alemanha (2000); Cracóvia, Polónia (2002); Galway, Irlanda (2004); Bordéus, França (2006); Praga, Chéquia (2008); Gijón, Espanha (2010); Portorož, Eslovénia (2012); Malmö, Suécia (2014); Bath, Reino Unido (2016); Rodes, Grécia (2018); Vilnius, Lituânia (2022) e Ulm, Alemanha (2024).

O ESEAC 2026 foi um encontro científico dinâmico, proporcionando aos participantes a oportunidade de conhecer os mais recentes avanços em todas as áreas principais da eletroanálise, um domínio de investigação com um papel fundamental em diversas disciplinas, desde as ciências da vida à ciência dos materiais, abrangendo tanto



Sessão de Abertura.

investigação fundamental como aplicações tecnológicas. Evidenciando a notável evolução desta área ao longo das últimas décadas, o programa científico contemplou um vasto conjunto de temas, incluindo eletroanálise à escala micro e nano, ferramentas eletroquímicas híbridas, novos materiais de eletrodo para dispositivos eletroquímicos, sensores e biossensores eletroquímicos, materiais para conversão e armazenamento de energia, dispositivos *wearable*, tecnologias de impressão 3D, eletroanálise *in vivo* e em microfluídica, análises clínicas e aplicações médicas, sistemas fotoeletroquímicos, tecnologias eletroquímicas microbianas, estudos eletroanalíticos em eletrocatalise, eletroanálise de alimentos, sistemas agrícolas e ambientais, estudos fundamentais de técnicas eletroanalíticas assistidas por inteligência artificial e conversões eletroquímicas.

A conferência teve início com uma receção de boas-vindas realizada na Faculdade de Ciências Médicas da Universidade NOVA de Lisboa, no domingo, dia 7 de junho, enquanto o programa científico decorreu entre 8 e 11 de junho na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Durante a cerimónia de abertura, realizada a 8 de junho, os participantes foram recebidos pelo Presidente da Conferência, Felipe Conzuelo, tendo ainda oportunidade de assistir a uma apresentação sobre a história da ESEAC, conduzida por Ari Ivaska, organizador da segunda edição da conferência, realizada na Finlândia em 1988.

O evento contou com 283 participantes inscritos, provenientes de 42 países, que tiveram a oportunidade de assistir a um programa científico de elevada qualidade. Foram ministradas quatro palestras plenárias, tendo o programa contando ainda com 12 palestras de oradores convidados. O programa científico foi complementado por 96 comunicações orais e 165 apresentações em painel.



Auditório durante as sessões do evento.

Na tarde de 10 de junho, os participantes tiveram oportunidade de conhecer alguns dos principais pontos de interesse da região e de promover o convívio científico num ambiente mais informal. Foi organizada uma visita à vila de Sintra. Posteriormente, realizou-se o jantar de gala da conferência, no histórico Palácio Conde d'Óbidos, em Lisboa.

O programa científico terminou no dia 11 de junho. Durante a cerimónia de encerramento foram anunciados os vencedores dos sete prémios para melhor comunicação em painel: Daan Vangerven (Universidade de Antuérpia, Bélgica), Karolina Kwaczyński (Universidade de Łódź, Polónia) e Katherine Bettencourt (Universidade de Lisboa, Portugal), distinguidos com prémios patrocinados pela revista *The Analyst* (Royal Society of Chemistry); Mia Ambuski (*Colorado State University*, EUA) e Rafaela C. de Freitas (UFSCar, Brasil), premiadas pela revista *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (Springer); Krittamate Buppasirakul (VISTEC, Tailândia) e Lilian Collins (Universidade de Strathclyde, Reino Unido), distinguidos com prémios patrocinados pela ACS Publications.

Na sequência da conferência, encontra-se aberta uma edição especial da revista *Electroanalysis* (Wiley-VCH) para submissão de artigos científicos resultantes dos trabalhos apresentados, dando continuidade à tradição das anteriores edições da ESEAC. Foi ainda anunciado que a próxima edição da conferência, ESEAC 2028, será presidida por Stefano Cinti e decorrerá em Nápoles, Itália.

A Comissão Organizadora agradece a todos os participantes, palestrantes e patrocinadores que contribuíram para o sucesso do ESEAC 2026.

Mais informações acerca deste evento podem ser encontradas em eseac2026.events.chemistry.pt.

Participantes do ESEAC 2026.



>
Felipe Conzuelo
felipe.conzuelo@itqb.unl.pt

Participação na 21.^a Assembleia de Delegados da *European Young Chemists' Network* (EYCN)

A Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) esteve representada na 21.^a Assembleia de Delegados da *European Young Chemists' Network* (EYCN) pelo delegado João António, ex-membro da Direção do Grupo de Químicos Jovens (GQJ) e atual vice-presidente da EYCN, e pelas delegadas Isabel Barbosa e Catarina Ribeiro, ambas membros da atual Direção do GQJ. A Assembleia decorreu entre os dias 10 e 12 de julho, em Antuérpia, reunindo representantes de sociedades de química de toda a Europa para discutir o presente e o futuro da rede europeia de jovens químicos.

O evento constituiu uma oportunidade privilegiada para reforçar a colaboração internacional, partilhar boas práticas e definir estratégias para promover o envolvimento dos jovens químicos na comunidade científica europeia. Ao longo da Assembleia foram debatidos projetos em curso, apresentadas novas iniciativas e discutidas formas de fortalecer a cooperação entre as diferentes sociedades nacionais. A participação ativa da SPQ nestas reuniões é fundamental para garantir que a voz dos jovens químicos portugueses continua representada ao nível europeu, permitindo não só contribuir para as decisões da EYCN, mas também trazer para Portugal novas oportunidades de colaboração, formação e participação em iniciativas internacionais. A presença dos delegados do GQJ reforça o compromisso da SPQ com a internacionalização e com o desenvolvimento da próxima geração de químicos, promovendo a integração dos jovens investigadores numa rede europeia dinâmica, colaborativa e orientada para o futuro.



Foto de grupo dos Delegados da *European Young Chemists' Network*.

Testemunho da delegada Catarina Ribeiro

“Antes de partir para Antuérpia, conhecia a maior parte da equipa *Global Connections* da EYCN apenas de reuniões *online*. Um dos momentos que mais me marcou nesta Assembleia foi precisamente conseguir finalmente pôr um rosto a essas pessoas: o convívio

presencial aproximou-nos e ajudou-me a perceber melhor as motivações e os objetivos que nos unem enquanto equipa. Marcou-me também o exercício prático sobre o processo de decisão na União Europeia, em que simulámos os passos necessários para que uma proposta seja discutida e aprovada no Parlamento Europeu: percebi, na prática, como a complexidade do processo legislativo europeu exige diálogo e capacidade de construir consensos. Mais do que uma reunião de trabalho, esta Assembleia foi também uma oportunidade para conhecer jovens químicos de toda a Europa e perceber que, apesar das diferentes realidades de cada país, partilhamos muitos dos mesmos desafios. Fico com um sentimento renovado de pertença à comunidade científica europeia e com vontade de continuar a contribuir ativamente para a EYCN.”

Testemunho da delegada Isabel Barbosa

“Enquanto membro da *Networks Team* da EYCN, tive oportunidade de ajudar a definir as iniciativas que a equipa vai desenvolver nos próximos meses, desde a promoção da saúde mental na comunidade química até um novo programa de *mentoring*, pensado para aproximar estudantes e jovens investigadores de profissionais mais experientes. Foi interessante conhecer melhor o trabalho feito em parceria com o *European Institute for Industrial Leadership* (EIL) e acompanhar as discussões com a *American Chemical Society Younger Chemists Committee* (ACS YCC). A mesa-redonda com antigos membros da EYCN deixou-me uma boa lição: muitos construíram parte do seu percurso profissional a partir das ligações estabelecidas nesta rede, o que confirma que a EYCN vai muito além da organização de eventos. Por fim, a atividade de política científica, em que simulámos a negociação de uma legislação europeia para reduzir as emissões de PFAS, mostrou-me na prática como a decisão política na União Europeia depende do diálogo entre cientistas, decisores e sociedade. Saio desta Assembleia com a noção clara de que a EYCN é, acima de tudo, um espaço onde se criam colaborações e oportunidades que ultrapassam fronteiras.”

Testemunho do delegado João António

“Como vice-presidente da EYCN, esta Assembleia deu-me também espaço para pensar numa pergunta que me acompanha há algum tempo: existirá, de facto, um “jovem químico europeu”? A Europa científica constrói-se em torno da ideia de um espaço comum, mas as desigualdades entre países continuam a ser reais — no financiamento à investigação, nos salários,

na estabilidade contratual, no acesso a infraestruturas. Um jovem químico que começa a carreira em Portugal, na Alemanha ou na Hungria pertence à mesma comunidade científica europeia, mas parte de condições muito diferentes. É por isso que uma rede como a EYCN me parece particularmente relevante: ao juntar representantes de diferentes países, dá voz a cada sociedade nacional, independentemente da sua dimensão, e ajuda a transformar realidades muito distintas numa posição comum, que pode chegar a instituições como

o Parlamento Europeu. Esta Assembleia deixou-me a certeza de que essa participação é essencial: as decisões sobre o futuro da química não devem ser tomadas só para os jovens investigadores, mas também com eles. Afinal, se somos o futuro da química europeia, devemos também ter voz ativa na sua construção.”

>

Grupo de Químicos Jovens da SPQ

ggj@spq.pt

Portugal Conquista Medalha de Bronze na Olimpíada Internacional de Química

A delegação portuguesa conquistou uma medalha de bronze na 58.^a Olimpíada Internacional de Química (*International Chemistry Olympiad – IChO 2026*), que decorreu entre 10 e 19 de julho, em Tashkent, no Uzbequistão, reunindo mais de 350 estudantes de mais de 90 países e territórios. A medalha foi conquistada por Leonardo Aires, estudante da Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, que repete a distinção alcançada na edição de 2025, realizada no Dubai (Emirados Árabes Unidos), tornando-se medalhado de bronze pelo segundo ano consecutivo na mais prestigiada competição mundial de Química para estudantes do ensino secundário.

Portugal foi representado por Leonardo Aires e Lisa Sarabando, da Escola Secundária Dr. Mário Sacramento (Aveiro), Diogo Pires, da Escola Secundária Emídio Garcia (Bragança) e Mário Fernandes, da Escola Secundária Almeida Garrett (Vila Nova de Gaia). Os quatro estudantes foram selecionados entre os melhores participantes das Olimpíadas de Química+ e da prova PNQ2+, iniciativas promovidas pela Sociedade Portuguesa de Química.

A preparação da equipa nacional decorreu no Departamento de Química da Universidade de Aveiro e envolveu os finalistas das Olimpíadas Nacionais de Química+ de 2025 e os estudantes apurados na prova PNQ2+, realizada em outubro de 2025. Ao longo do ano letivo de 2025–2026, estes estudantes receberam formação específica com vista à representação de Portugal nas competições internacionais de Química, nomeadamente na Olimpíada Internacional de Química (IChO) e nas Olimpíadas Ibero-americanas de Química (OIAQ), que este ano terão lugar no Brasil. O programa foi coordenado por João Pereira, mentor da equipa portuguesa, e contou com a colaboração dos docentes e investigadores Vasco Batista, Francisco Avelino, Rita Ferreira, Ricardo Santos, Manuel António Coimbra e Carlos Monteiro.

A Olimpíada Internacional de Química (IChO) é uma das mais prestigiadas competições científicas para estudantes do ensino secundário. Ao longo de um exigente exame teórico e prático, com cerca de



dez horas de competição, os participantes colocam à prova os seus conhecimentos científicos e competências laboratoriais. Nesta edição, todos os elementos da equipa portuguesa demonstraram um desempenho de elevado nível, contribuindo para reforçar a presença de Portugal entre as delegações com resultados consistentes nesta competição internacional.

Este resultado dá continuidade ao percurso de afirmação internacional de Portugal nas principais competições científicas para estudantes do ensino secundário. Nos últimos anos, as equipas nacionais têm conquistado distinções na Olimpíada Internacional de Química (IChO), nas Olimpíadas Ibero-americanas de Química (OIAQ) e na Olimpíada Europeia das Ciências Experimentais (EOES), refletindo a qualidade da formação científica dos estudantes portugueses e o trabalho desenvolvido pelas escolas, universidades, mentores e pela Sociedade Portuguesa de Química na preparação das equipas nacionais e promoção de *Boa Química para o Futuro*.

>

Sara M. A. Pinto

sm Pinto@qui.uc.pt

>

Amparo Faustino

faustino@ua.pt

Delegação Regional de Aveiro da SPQ Elege Nova Direção para o Próximo Triénio

No dia 27 de julho de 2026 realizou-se a eleição da equipa que irá dirigir a Delegação Regional de Aveiro da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) no triénio com início em 2026. A lista eleita é presidida por Maria do Amparo Ferreira Faustino, docente do Departamento de Química da Universidade de Aveiro, integrando como vogais Ana Daniela Gonçalves Firmino e José Luís da Silva Araújo, do Departamento de Educação e Psicologia da mesma Universidade. A nova direção regional assume como missão contribuir para a afirmação da Química como ciência central e transversal à sociedade, dando continuidade ao trabalho que a SPQ tem desenvolvido em prol de uma “Boa Química para o Futuro”. Da saúde ao ambiente, da energia aos novos materiais, a Química está no cerne das respostas aos grandes desafios do nosso tempo. É essa relevância que a equipa agora eleita se propõe tornar mais visível e mais próxima da comunidade. Entre as prioridades para este triénio destaca-se o reforço da ligação às escolas e à formação de professores. A própria composição da direção, que reúne a investigação em Química e a área da educação, traduz essa aposta: aproximar a ciência que se faz nos laboratórios daquela que se ensina na sala de aula, transmitindo a estes públicos a mensagem de que a Química é uma boa aposta



Foto da equipa agora eleita. Da esquerda para a direita: Ana Daniela Firmino, Amparo Faustino e José Luís Araújo.

e que vale a pena investir nela para construir um futuro sustentável. Ao fazê-lo, a Delegação de Aveiro pretende inspirar as novas gerações e valorizar o papel dos docentes como agentes centrais na promoção da cultura científica.

“A SPQ conta com todos, e a nova Direção Regional da Delegação de Aveiro conta também contigo”.

>

Amparo Faustino

faustino@ua.pt

>

José Luís Araújo

jlaraújo@ua.pt

>

Daniela Firmino

danielaafirmino1@ua.pt

Delegação de Braga da SPQ Elege Nova Presidência e Traça Plano para o Triénio 2026-2028

A Delegação de Braga da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) reuniu-se em Assembleia Geral Regional a 27 de julho de 2026, com uma ordem de trabalhos que incluiu um balanço das atividades do triénio 2023–2025, a eleição da nova presidência e a apresentação do plano de atividades para o próximo mandato.

Durante o mandato anterior, a delegação de Braga organizou anualmente as semifinais da Universidade do Minho das Olimpíadas de Química Mais e das Olimpíadas de Química Júnior, com o número consistente de equipas participantes ao longo dos anos — nas Olimpíadas de Química Mais, de 18 equipas em 2023 para 21 em 2026, e nas Júnior, com 30 equipas desde 2024. Em 2023 organizou ainda a Final Nacional das Olimpíadas de Química Júnior, com 20 equipas de todo o país.

Entre os marcos de maior dimensão está a organização do XXIX Encontro Luso-Galego de Química, realizado no Forum Braga entre 10 e 12 de novembro de 2025, que reuniu 400 participantes inscritos e 400 comunicações, incluindo um simpósio sobre produção e armazenamento de energia (em co-organização com



Foto da equipa eleita (da esquerda para a direita): Ana Paula Bettencourt, Susana Costa e Alice Carvalho.

a Rede CRUSOE) e a atribuição do Prémio Fundação Ramón Areces para a melhor comunicação oral de um(a) jovem investigador(a). A delegação contribuiu também para o Ciclo de conferências SPQ – Químicas, com uma palestra proferida pela Prof. Maria Alice Carvalho, intitulada “Quando as dificuldades se transformam em oportunidades”.

Na sequência da convocatória de 26 de junho de 2026, feita pelo presidente da Assembleia Geral, Prof. Baltazar de Castro, foi apresentada uma única candidatura à presidência da delegação para um novo mandato no triénio 2026–2028, liderada por Susana Costa, tendo como vogais Ana Paula Bettencourt e Maria Alice Carvalho. A votação decorreu entre as 16h30 e as 17h00, tendo sido eleita a lista única apresentada.

Para o próximo mandato, a candidatura propõe a continuidade da organização das semifinais das Olimpíadas de Química Mais e Júnior, apoio à organização do “8th Symposium on Medicinal Chemistry of University of Minho”, que decorrerá em maio de 2027, a avaliação da possibilidade de organizar novos encontros científicos (a articular com a Presidência e o Conselho Diretivo da SPQ), e o lançamento de uma iniciativa de oficinas

temáticas em Química destinada a professores e alunos do ensino secundário, distribuída ao longo do ano letivo, com temas como cromatografia e espectroscopia, entre outros, ligados aos conteúdos dos 11.º e 12.º anos de escolaridade. Esta iniciativa pretende estreitar a ligação entre as escolas e a universidade, contribuir para a orientação vocacional dos alunos e a formação e apoio aos professores. O plano prevê ainda abertura a outras iniciativas propostas pelos sócios da delegação de Braga, desde que enquadradas no objeto estatutário da SPQ de promover a investigação, o ensino e a aplicação da Química em Portugal.

>

Alice Carvalho

mac@quimica.uminho.pt

>

Ana Paula Bettencourt

abete@quimica.uminho.pt

>

Susana Costa

spc@quimica.uminho.pt

Delegação Regional de Coimbra da SPQ Elegeu uma Nova Direção

A Delegação de Coimbra da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ) elegeu uma nova direção, constituída por Sara Pinto, Natália Silva e Fábio Rodrigues.

A nova equipa assume o compromisso de reforçar a atividade da Delegação na região, promovendo iniciativas que estimulem a participação da comunidade química local e contribuam para a divulgação da ciência. Entre as prioridades definidas para o mandato, destacam-se: a) promoção de eventos científicos que valorizem o papel da química no desenvolvimento sustentável e na inovação tecnológica; b) organização das Olimpíadas de Química, assegurando a continuidade e o crescimento desta iniciativa, que envolve anualmente centenas de estudantes e constitui uma das principais ações de estímulo ao interesse pela química; e c) aumento da visibilidade da Delegação através de uma comunicação regular, da divulgação das suas atividades e da criação de oportunidades de participação para jovens químicos.

Com estas propostas, a nova direção pretende fortalecer o papel da Delegação de Coimbra na pro-



Foto da equipa eleita (da esquerda para a direita): Fábio Rodrigues, Sara Pinto e Natália Silva.

moção da química e reforçar a ligação entre a SPQ e as comunidades académica e escolar, os profissionais e a sociedade civil da região.

>

Sara Pinto

smpinto@qui.uc.pt

>

Natália Silva

natalia.silva@qui.uc.pt

>

Fábio Rodrigues

fabio.rodrigues@uc.pt

Delegação de Lisboa da Sociedade Portuguesa de Química 2026-2028

No dia 27 de julho decorreram as eleições para a delegação de Lisboa da SPQ para o mandato 2026–2028. A lista composta por Carlos Baleizão (Instituto Superior Técnico), Teresa Santos Silva (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa) e Jaime Coelho (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa) obteve a confiança da esmagadora maioria dos sócios votantes.

A equipa que agora inicia a sua atividade, para além de assegurar a representação institucional da SPQ na região de Lisboa quando necessário e de colaborar ativamente com a Direção da Sociedade, propõe-se reforçar o envolvimento dos docentes e investigadores da comunidade química das instituições de ensino superior e dos centros de investigação da



Foto da equipa eleita (da esquerda para a direita): Carlos Baleizão, Teresa Santos Silva e Jaime Coelho.

região de Lisboa na vida da SPQ, promovendo uma participação mais ativa nas iniciativas da Sociedade, bem como nas atividades desenvolvidas pelas suas divisões e grupos. A nova equipa pretende ainda dedicar uma atenção particular aos estudantes de 2.º e 3.º ciclos, promovendo uma maior proximidade

à SPQ e incentivando a sua participação nas atividades da Sociedade, contribuindo assim para a renovação e fortalecimento da SPQ. A nova equipa pretende chegar aos mais jovens, despertar desde cedo a sua curiosidade e o gosto pela Química e assim contribuir para uma sociedade mais informada, esclarecida e consciente do papel da ciência no mundo que nos rodeia.

> **Carlos Baleizão**
carlos.baleizao@tecnico.ulisboa.pt

> **Jaime Coelho**
jacoelho@ciencias.ulisboa.pt

> **Teresa Santos Silva**
tsss@fct.unl.pt

Delegação do Porto da SPQ Reforça Compromisso com a Investigação, a Educação e a Divulgação da Química

No passado dia 10 de julho foi reeleita a Delegação do Porto da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), que continuará a ser liderada por Victor Freitas, docente da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). A equipa diretiva integra ainda Carlos Afonso, da Faculdade de Farmácia da Universidade do Porto (FFUP), e Cláudia Silva, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), enquanto vogais da delegação. Ao longo das últimas décadas, a Delegação do Porto tem desempenhado um papel particularmente ativo na promoção da investigação, da educação e da divulgação da Química, em particular na região Norte do país e em estreita colaboração com a SPQ.

Entre as iniciativas de maior relevância destacam-se os encontros científicos organizados em colaboração com o *Colegio Oficial de Químicos de Galicia* (COLQUIGA), uma parceria consolidada há 42 anos e que constitui uma referência no panorama ibérico da Química. Anualmente, realizam-se, de forma alternada em Portugal e na Galiza (Espanha), os Encontros Luso-Galegos de Química e os Encontros Galego-Portugueses, respetivamente. Estes eventos percorrem diferentes cidades dos dois territórios e distinguem-se pela forte participação de jovens investigadores, em particular estudantes de doutoramento e de mestrado, aos quais é proporcionada a oportunidade de apresentar os seus trabalhos científicos sob a forma de comunicações orais ou em painel. Para muitos destes participantes, trata-se da primeira experiência de comunicação pública dos resultados da sua investigação, contribuindo de forma significativa

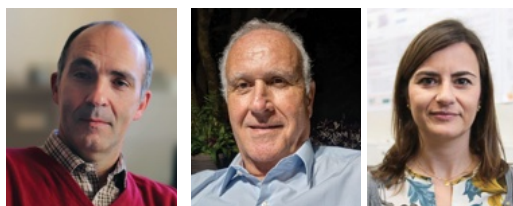


Foto da equipa eleita (da esquerda para a direita): Victor Freitas, Carlos Afonso e Cláudia Silva.

para a sua formação científica e desenvolvimento profissional. O ano de 2026 corresponde à realização do XXX Encontro Galego-Português, em Pontevedra, cuja programação inclui a participação de diversos investigadores portugueses e espanhóis de reconhecido mérito. Destaca-se igualmente a presença de Thomas Cech, laureado com o Prémio Nobel da Química de 1989, conferindo um elevado prestígio científico ao encontro. A preparação destes eventos implica uma estreita articulação entre a Delegação do Porto e a direção da COLQUIGA, através de várias reuniões de trabalho ao longo do ano. Por seu turno, o próximo encontro Luso-Galego terá lugar em 2027, na Universidade de Aveiro, estando em curso os preparativos para trazer a este encontro um Prémio Nobel.

Outro eixo fundamental da atividade da Delegação do Porto é a coordenação e dinamização regional das Olimpíadas Portuguesas de Química, usualmente designadas por Olimpíadas de Química. As Olimpíadas de Química Júnior, às quais podem concorrer todos os alunos que frequentem os 8.º e 9.º anos de escolaridade em Portugal, têm lugar nas instalações da FCUP e da

FEUP. Por seu lado, as Olimpíadas de Química Mais, dirigidas a todos os estudantes que frequentem os 10.º e 11.º anos de escolaridade, têm lugar na FCUP. Estas iniciativas constituem importantes instrumentos de promoção da cultura científica junto dos mais jovens, permitindo aos participantes prosseguir para as fases nacionais e, posteriormente, integrar as equipas que representam Portugal em competições internacionais.

A Delegação do Porto tem igualmente apoiado a organização de congressos, encontros científicos, *workshops* e sessões temáticas promovidos pelas diferentes divisões e grupos especializados da SPQ. Paralelamente, desenvolve um conjunto diversificado de atividades de divulgação científica, colaborando com escolas da região na receção de estudantes às universidades e promovendo a participação de docentes e investigadores em ações junto da comunidade escolar. Numa perspetiva de adequar as atividades da Delegação aos desafios atuais, pondera-se a criação de um *podcast* sobre Química, dedicado à divulgação da investigação e do ensino da Química, podendo incluir uma série de episódios subordinada ao tema “Carreiras em Química”. Esta iniciativa permitiria dar a conhecer diferentes convidados de diferentes áreas de atividade e com percursos distintos ligados à Química, através de conversas com convidados com experiências diversificadas, contribuindo simultaneamente para

aproximar a Química da sociedade, dos estudantes e dos jovens em início de carreira.

Nos termos dos estatutos da SPQ, o presidente da Delegação do Porto integra os órgãos dirigentes desta Sociedade, participando ativamente nos processos de decisão e assegurando a representação das atividades e dos interesses da comunidade química da região. Em articulação com a Direção Nacional da SPQ, a Delegação tem procurado contribuir para o fortalecimento do papel da Química em Portugal, apoiando iniciativas que promovam melhores condições para o desenvolvimento científico e profissional dos químicos portugueses. Para o próximo mandato, a Delegação pretende reforçar a sua intervenção junto do tecido empresarial e industrial, aprofundando as ligações com entidades empregadoras e promovendo uma maior valorização dos profissionais das diferentes áreas, cuja formação tem a Química como componente estruturante. Este objetivo enquadra-se na missão mais ampla da SPQ de aproximar a academia, a investigação e a indústria, criando oportunidades de colaboração que contribuam para o desenvolvimento científico, tecnológico e económico do país.

>

Victor Feitas

vfeitas@fc.up.pt

>

Carlos Afonso

cafonso@ff.up.pt

>

Cláudia Silva

cgsilva@fe.up.pt

Ciência na Rua 2026: a Química Saiu para a Rua em Estremoz

O centro de Estremoz voltou a transformar-se num grande espaço de encontro entre ciência, arte e sociedade, com a realização da 9.ª edição do *Ciência na Rua – Festival de Ciência e Arte*. Promovido pelo Centro Ciência Viva de Estremoz, pela Câmara Municipal de Estremoz e pela Universidade de Évora, o evento regressou em 2026 após uma interrupção de 12 anos e reuniu, no dia 20 de junho, investigadores, artistas e público num programa diversificado de experiências, demonstrações, jogos, exposições, música, teatro e outras formas de animação.

Sob o tema “Sustentabilidade... Insustentável?!” , o festival organizou-se em torno de sete grandes temas: Terra – dinâmica; Evolução – extinções; População – pegadas; Energia – viciados; Sujamos – desperdiçamos; Clima – alterações e Futuro – passado, levando para o espaço público diferentes perspetivas sobre alguns dos principais desafios que se colocam atualmente à sociedade. As estimativas da organização apontam para a presença de cerca de 3500 pessoas, confirmando a forte adesão do público que caracterizou anteriores edições da iniciativa.

A Química centrou a sua participação no tema “Sujamos... desperdiçamos”, abordando a utilização dos

recursos e a produção e valorização de resíduos. Partindo de produtos e materiais que fazem parte do quotidiano — dos medicamentos às pilhas e baterias, passando pela biomassa, pelos plásticos e pelos têxteis — procurou-se mostrar de que forma a Química está presente ao longo de todo o seu ciclo de vida, incluindo nas possibilidades de reutilização, recuperação e valorização após a sua utilização, e como o conhecimento químico é indispensável para compreender e reduzir os respetivos impactos.

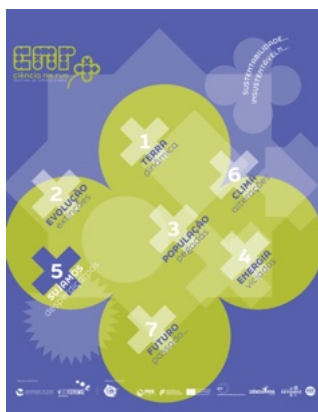
A participação da Química foi construída em torno de uma ideia comum: compreender aquilo que utilizamos, de onde vem, como é produzido, o que acontece depois da sua utilização e de que forma podemos fazer melhor. A Química Verde e a relação da Química com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) constituíram elementos agregadores desta abordagem, evidenciando o papel da Química na procura de soluções mais sustentáveis, desde a utilização eficiente dos recursos e a prevenção e valorização de resíduos até ao desenvolvimento de materiais, produtos e processos mais seguros e duradouros.

A participação no *Ciência na Rua* constituiu também

uma oportunidade para comunicar Química fora dos contextos habituais. O contacto direto entre investigadores e visitantes, num ambiente informal e aberto, permitiu partilhar de objetos e situações familiares para conversar sobre ciência e mostrar que muitas das decisões associadas à sustentabilidade exigem conhecimento, pensamento crítico e cidadãos cientificamente informados.

Depois do regresso em 2026 e da adesão registada nesta edição, o Ciência na Rua terá continuidade em 2027. A próxima edição está já prevista para 11 de setembro, quando Estremoz voltará a receber a Ciência e a Arte nas suas ruas.

Mais informações acerca deste evento em ciencianarua.com.



Temas da Ciência na Rua 2026.



Equipa da "Química" no Ciência na Rua 2026.

> **Paulo Mendes**
pjgm@uevora.pt

> **Cristina Galacho**
pcg@uevora.pt

Técnico Fuel Cell: da Química do Hidrogénio à Mobilidade Sustentável

A participação do *Técnico Fuel Cell* (TFC) no XII Encontro Nacional de Ensino da Química (XII ENEQ) constituiu uma oportunidade para dar a conhecer o trabalho desenvolvido pela equipa e reforçar a ligação entre Química, engenharia e mobilidade sustentável.

O *Técnico Fuel Cell* é uma equipa de estudantes do Instituto Superior Técnico dedicada ao desenvolvimento de soluções para uma mobilidade mais eficiente e sustentável. Através da participação na *Shell Eco-marathon*, a equipa desenvolve veículos que integram engenharia, inovação e investigação aplicada, com especial foco no hidrogénio como vetor energético.



Equipa do Técnico Fuel Cell (TFC) na Shell Eco-marathon.

Atualmente, o TFC tem dois protótipos: o TFCamões, um veículo elétrico autónomo, e o TFCO2, um veículo movido a hidrogénio. Neste último, a eletroquímica está no centro do sistema de propulsão. Através de uma *fuel cell*, o hidrogénio é separado em prótons e eletrões por meio de reações eletroquímicas. Enquanto os prótons atravessam a membrana, os eletrões percorrem um circuito elétrico externo, gerando a corrente elétrica que alimenta o motor

elétrico do veículo. No cátodo, os prótons, os eletrões e o oxigénio combinam-se, formando água como principal produto da reação. Desta forma, a energia química armazenada no hidrogénio é convertida diretamente em energia elétrica, sem necessidade de combustão.



Protótipo de veículo TFCO2, movido a hidrogénio, apresentado no XII ENEQ.

Para aprofundar o conhecimento desta tecnologia, o TFC encontra-se também a desenvolver a primeira *fuel cell* integralmente em contexto universitário em Portugal. O projeto envolve o estudo e *reverse engineering* de arquiteturas existentes, seguido de ciclos de projeto, fabrico e ensaio. Como primeiro marco, foi desenvolvido um MVP (*Minimum Viable Product*), uma vez que se encontra numa fase inicial de investigação, constituído por três células, estabelecendo as bases para a otimização do desempenho, eficiência e fiabilidade do sistema. O objetivo final é chegar a um protótipo de 50 células, desenvolvido especificamente para as necessidades dos veículos do TFC. Mais do que reproduzir uma tecnologia existente,

este projeto de investigação procura dar à equipa controlo sobre o desenvolvimento e a otimização da *fuel cell*, permitindo adaptar o sistema, explorar soluções de maior eficiência energética e alcançar um melhor desempenho global do veículo.

O próximo objetivo centra-se no desenvolvimento do primeiro protótipo do TFC simultaneamente movido a hidrogénio e autónomo, integrando a tecnologia de *fuel cell* com sistemas de condução autónoma.

O TFC agradece à Sociedade Portuguesa de Química o convite e a oportunidade de partilhar o projeto. Juntos, damos energia ao futuro da mobilidade!

>

Inês Ferreira

ines.ferreira@tecnicofuelcell.com



Protótipo da Fuel Cell do TFC.

Clube Ciência Viva na Escola, em Lamego, Promove a Química Através dos **Desafios da SPQ**

O Clube Ciência Viva na Escola CCVnE – As Voltas Entre Ciência (AVES), do Agrupamento de Escolas da Sé, em Lamego, tem participado ativamente em diversas iniciativas promovidas pela Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), proporcionando aos alunos experiências de aprendizagem que aliam curiosidade, experimentação e descoberta científica.

Entre as atividades desenvolvidas destaca-se a participação no *Desafio de Natal 2025 – Natal dos Mais Novos*, que permitiu explorar conceitos de Química através de experiências relacionadas com materiais, cores e transformações químicas associadas à época natalícia.

O clube participou também no projeto *Química para Pequenos Cientistas*, adaptando conceitos fundamentais da Química a alunos mais jovens através de atividades experimentais simples, seguras e adequadas à sua faixa etária. A iniciativa revelou-se uma oportunidade para despertar a curiosidade científica e promover uma compreensão mais próxima dos fenómenos do quotidiano.

Para além destes desafios, o clube assinalou o Dia Internacional das Mulheres e Raparigas na Ciência, destacando o contributo de cientistas que marcaram a história da investigação científica. A atividade procurou



sensibilizar os alunos para a importância da igualdade de oportunidades nas áreas STEM e inspirar novas gerações para carreiras científicas.

As diferentes iniciativas desenvolvidas permitiram reforçar competências científicas, promover o trabalho colaborativo e estimular o pensamento crítico dos alunos, valorizando o processo de aprendizagem através da observação, da experimentação e da descoberta.

A participação nas atividades promovidas pela SPQ tem constituído um importante incentivo para o desenvolvimento da cultura científica na escola, contribuindo para aproximar os alunos da Química e das suas múltiplas aplicações na sociedade.

>

Ana Maria Oliveira

Clube de Ciência Viva na Escola, AVES, As Voltas Entre Ciência
ana.oliveira@aves.edu.pt

Pequenos Cientistas, Grandes Descobertas: Uma Aventura Química no Algarve

Os alunos do 4.º ano da *Nobel Algarve British International School* participaram no projeto “Química para Pequenos Cientistas”, promovido pela Sociedade Portuguesa de Química, numa iniciativa que aliou experimentação, criatividade e comunicação científica.

Integrado no projeto “Pequenos Cientistas do 1.º ao

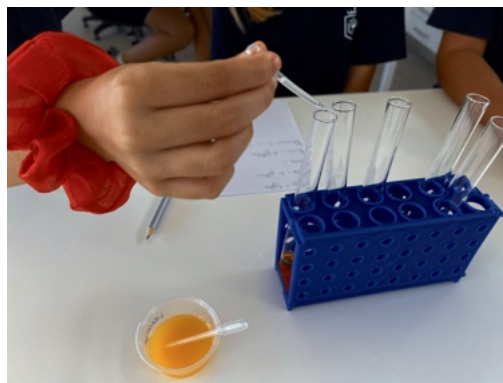
4.º Ano”, desenvolvido pela escola há 15 anos, o desafio envolveu 46 alunos e contou com a coordenação da professora Margarida Duarte, responsável pelo projeto, em colaboração com a professora Rute Oliveira, docente de Física e Química.

A partir de quatro atividades experimentais — *O Sabão Mágico: Como o Sabão Limpa?*, *O Poder das Enzimas: A Digestão em Ação!*, *O Amido nos Alimentos: Onde está a Energia?* e *A Vitamina C: O Escudo do Nosso Corpo* — os alunos exploraram conceitos fundamentais de Química relacionados com o quotidiano, como a higiene, a alimentação, a digestão e a saúde.

As atividades foram enquadradas por histórias especialmente concebidas para introduzir os temas científicos de forma próxima e motivadora. Ao longo do projeto, os alunos realizaram experiências laboratoriais, criaram modelos, desenharam microrganismos e imaginaram super-heróis inspirados na vitamina C, combinando imaginação e conhecimento científico.

Um dos momentos mais marcantes foi a utilização do laboratório de Química da escola, onde os alunos puderam trabalhar com materiais laboratoriais e contactar de forma mais próxima com o ambiente da investigação científica.

O projeto incluiu ainda uma componente de comunicação científica. No final, as duas turmas partilharam entre si os conhecimentos adquiridos, desenvolvendo competências de apresentação e divulgação da ciência.



A iniciativa terminou de forma original com a criação de um *rap* sobre os temas explorados. A letra foi desenvolvida pelos alunos em colaboração com o professor de Música, resultando numa produção que acompanhou a apresentação final do projeto.

Mais do que respostas, a experiência despertou novas perguntas e reforçou a curiosidade científica dos participantes, demonstrando que a Química pode ser descoberta de forma prática, criativa e divertida desde os primeiros anos de escolaridade.

>

Rute Oliveira

rute.oliveira@nobelalgarve.com

Impressão 3D ao Serviço do Ensino das Ciências em Queluz

O Clube Ciência Viva da Escola Básica e Secundária Padre Alberto Neto, em Queluz, tem vindo a utilizar a impressão 3D para desenvolver recursos educativos inovadores que aproximam os alunos das Ciências de forma prática e participativa.

Criado em 2022, o clube tem como objetivo promover o interesse pela ciência e desenvolver competências científicas, técnicas e tecnológicas. Entre os temas trabalhados destacam-se a Tabela Periódica dos Elementos e, mais recentemente, a água, tema central de várias atividades desenvolvidas pelos alunos.

A aquisição de uma impressora 3D permitiu criar diversos modelos didáticos destinados a apoiar a aprendizagem de conceitos científicos. Um dos primeiros projetos consistiu na construção de uma representação tridimensional da Tabela Periódica baseada na variação do raio atómico, permitindo visualizar de forma intuitiva tendências periódicas e compreender melhor as propriedades dos elementos químicos.

Desde então, a impressão 3D tem sido utilizada na produção de múltiplos recursos educativos, incluindo modelos de iões para o estudo dos compostos iónicos,

desafios de visão espacial baseados na construção de sólidos geométricos, modelos do Sistema Solar e representações do átomo segundo o modelo de Bohr. Muitos destes materiais foram concebidos para utilização direta em sala de aula, promovendo a participação ativa dos alunos através de atividades colaborativas e jogos educativos.



O projeto tem igualmente contribuído para o desenvolvimento de competências digitais, de modelação e de resolução de problemas, envolvendo os alunos em todas as etapas do processo, desde a conceção dos modelos até à sua produção. A impressão 3D revelou-se uma ferramenta versátil para transformar conceitos abstratos em objetos concretos, tornando a aprendizagem mais visual, interativa e motivadora.

A experiência demonstra como as tecnologias digitais podem ser integradas no ensino das Ciências para estimular a curiosidade, a criatividade e o pensamento crítico, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e próxima da realidade dos alunos.



>

Maria José Samora

Coordenadora do Clube Ciência Viva da Escola Básica e Secundária Padre Alberto Neto, Queluz
mariajsamora@gmail.com

ECTP 2026 Lifetime Award distingue **Carlos Nieto de Castro**

Carlos Nieto de Castro, professor jubilado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), foi distinguido com o *ECTP 2026 Lifetime Award*, durante a *23rd European Conference on Thermophysical Properties* (ECTP 2026). A distinção reconhece uma carreira científica de excelência e o impacto internacional do seu contributo para o desenvolvimento da Termofísica ao longo de várias décadas.

Na conferência plenária intitulada *Touching the Unknown: My Odyssey in Thermophysics*, Carlos Nieto de Castro revisitou o seu percurso académico e científico, evocando os mestres, colaboradores e estudantes que marcaram a sua carreira, bem como figuras maiores da cultura portuguesa, como Luís de Camões, Garcia de Orta e Fernando Pessoa. Destacou igualmente o papel das propriedades termofísicas na resposta aos desafios da sustentabilidade e da transição energética, apresentando exemplos de investigação desenvolvida nos Laboratórios de Termodinâmica e de Propriedades de Transporte da FCUL.

Na mensagem dirigida às novas gerações de cientistas, apelou à preservação da curiosidade científica, à



coragem para explorar o desconhecido e à importância da investigação, da inovação e da colaboração internacional na construção do conhecimento.

Mais informações sobre o prémio em ectp2026.com/awards.

>

Carlos Monteiro

cmonteiro@ua.pt

Prémio Carlos Corrêa – DEDQ–SPQ Distingue Jovem Investigadora em Ensino da Física e da Química

A Divisão de Ensino e Divulgação de Química (DEDQ), através da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), instituiu o Prémio Carlos Corrêa – Jovem Investigador em Ensino da Física e da Química, destinado a distinguir dissertações de mestrado de elevado mérito científico e pedagógico nesta área, com particular relevância para o ensino da Química.

Na sua primeira edição, o prémio foi atribuído a Inês de Andrade Baeta Guerreiro Cebola, jovem investigadora, professora de Física e Química e Mestre em Ensino de Física e Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário pelo Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. Esta distinção reconhece a qualidade e a relevância do seu trabalho (*Narrativas Científicas e Bandas*



Entrega do prémio a Inês de Andrade Baeta Guerreiro Cebola.



Inês de Andrade Baeta Guerreiro Cebola, vencedora do Prémio Carlos Corrêa 2026.

Desenhadas no Ensino dos Aspetos Quantitativos das Reações Químicas - Um trabalho com alunos do 11.º ano), bem como o seu contributo para a investigação e para a inovação no ensino da Física e da Química.

A cerimónia de entrega decorreu no dia 4 de setembro de 2026 durante o XII Encontro Nacional de Ensino da Química, realizado na Escola Secundária Frei Gonçalo de Azevedo, em São Domingos de Rana. A vencedora recebeu um diploma da SPQ, entregue no âmbito da cerimónia.

A sessão contou também com a presença de Carla Corrêa, filha do Professor Carlos Corrêa, em

representação da família. Para assinalar a instituição do prémio, a família decidiu associar-lhe, excecionamente, uma contribuição pecuniária destinada a apoiar os custos da propina do Mestrado da vencedora. Este gesto foi reconhecido e acolhido com especial agradecimento pela Direção da SPQ.

Mais informações sobre o prémio em spq.pt/premios/carlos_correa.

>

Tânia Coelho

tania.coelho@spq.pt

Investigadora do LAQV-REQUIMTE Distinguida em Congressos Internacionais

Margarida Teixeira, estudante de doutoramento em Química Sustentável no grupo FoodPolyphenolLab do LAQV-REQUIMTE, na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, foi distinguida com dois prémios internacionais pelo trabalho desenvolvido no âmbito do projeto FLOWERWISE, financiado pela FCT e orientado pelo investigador Hélder Oliveira e pelo professor Nuno Mateus.

Margarida Teixeira foi galardoada com o *Early Career Flower Award*, atribuído pela *British Society of Flavourists* a jovens investigadores que se destacam pelo seu trabalho na área das flores. O prémio permitiu-lhe participar no *1st Workshop on Human Responses to Flowers*, realizado na Universidade de Surrey, no Reino Unido, entre 24 e 26 de junho de 2026. O encontro reuniu investigadores de diferentes áreas, incluindo química, ciência dos alimentos, psicologia, horticultura e *design* floral. No âmbito da divulgação dos resultados do projeto FLOWERWISE, a investigadora participou ainda no *12th International Workshop on Anthocyanins & Betalains*, realizado em Salamanca, Espanha, entre 15 e 17 de julho de 2026. Aí apresentou um trabalho sobre as antocianinas da flor da ervilha-borboleta (*Clitoria ternatea*), reconhecidas pela sua elevada estabilidade comparativamente às de



outras fontes naturais, tendo a apresentação recebido o *Best Oral Communication Award*.

As duas distinções reconhecem o trabalho desenvolvido por Margarida Teixeira e o contributo da equipa do projeto FLOWERWISE para o estudo das flores comestíveis como fonte de ingredientes naturais com potencial para contribuir para uma alimentação mais saudável e sustentável.

>

Grupo de Químicos Jovens da SPQ

ggj@spq.pt

Teor de Cafeína em Suplementos Alimentares e Desportivos

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina), um alcaloide purínico, é uma das substâncias fisiologicamente ativas mais consumidas no mundo. Embora tradicionalmente consumida no café, no chá e em bebidas à base de cola, o mercado expandiu-se consideravelmente com a introdução de bebidas energéticas, “shots energéticos” concentrados e vários suplementos alimentares, particularmente os comercializados para desempenho desportivo e perda de peso. A dose letal de cafeína é de aproximadamente 10 g por pessoa (equivalente a cerca de 100 chávenas de café consumidas simultaneamente). No entanto, doses muito mais baixas podem causar efeitos adversos, incluindo sintomas cardiovasculares.

D. W. Lachenmeier (*Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt*, Karlsruhe, Alemanha) e colegas analisaram os níveis de cafeína em 23 alimentos e suplementos desportivos vendidos na Alemanha (2010-2025) e compararam-nos com as diretrizes da Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos (EFSA), além de avaliarem os alertas de segurança europeus para produtos com alto teor de cafeína. Os investigadores descobriram que vários suplementos excediam, em muito, os limites seguros de cafeína da EFSA (limite de dose única de 200 mg e limite de ingestão diária de 400 mg), alguns combinados com outros estimulantes como a sinefrina (um estimulante natural encontrado na laranja amarga). Para doses únicas, os produtos continham normalmente entre 225 e 596 mg de cafeína. Para a dosagem diária, o teor de cafeína nos produtos variava de 400 a 1000 mg, com um valor médio de aproximadamente 600 mg.

A análise das notificações do Sistema de Alerta Rápido para Alimentos e Rações (RASFF) em toda a Europa identificou 19 alertas relacionados com o teor excessivo de cafeína, dos quais sete classificados como “risco grave”. Esses casos de risco grave incluíam produtos com doses de cafeína até 900 mg/dia e combinações de cafeína com sinefrina. As regras atuais da UE sobre



Crédito: ChemistryViews

cafeína em suplementos são inconsistentes, com limites nacionais que variam de 80 mg/dia (Bélgica) a 300 mg/dia (Dinamarca), e a fiscalização é principalmente reativa. Os investigadores concluíram que os suplementos em doses elevadas podem facilmente exceder a ingestão segura, representando riscos cardiovasculares, distúrbios do sono ou *overdose*, particularmente em adolescentes (com idades entre 10 e 19 anos) e atletas. Como os consumidores muitas vezes subestimam a cafeína presente em pós concentrados ou na ingestão de várias fontes, são necessários limites máximos mais claros, rotulagem obrigatória e campanhas educativas para evitar a exposição accidental excessiva.

Fontes

Caffeine Content in Sports and Food Supplements, chemistryviews.org/caffeine-content-in-sports-and-food-supplements (acedido em 24/04/2026).

L. Rinke, A.-K. Kull, V. Bock, D. W. Lachenmeier, *ChemFoodChem* **2025**, 2, e00037. DOI: 10.1002/cfch.202500037.

>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Como é que as Tatuagens Afetam o Sistema Imunitário?

As tatuagens tornaram-se muito comuns, especialmente entre os jovens. Durante o procedimento de tatuagem, as agulhas penetram, repetidamente, a camada dérmica da pele introduzindo diferentes tipos de pigmentos seguindo um padrão definido. A permanência das tatuagens é conseguida pela utilização de pigmentos que não são

facilmente solúveis nos fluidos corporais, consistindo frequentemente numa mistura complexa de aglutinantes, solventes e aditivos. Enquanto o negro de fumo é o principal pigmento utilizado nas tatuagens pretas, as tatuagens coloridas contêm normalmente pigmentos orgânicos industriais que originalmente foram desenvolvidos para

uso em plásticos, vernizes ou tintas.

S. F. Gonzalez (*Università della Svizzera Italiana*, Bellinzona, Suíça) e colegas estudaram o modo como diferentes tintas de tatuagem se distribuem e se acumulam no sistema linfático de ratos. Após a tatuagem, as partículas de pigmento entram rapidamente no sistema linfático e são transportadas até aos gânglios linfáticos de drenagem, onde são fagocitadas por macrófagos (células do sistema imunitário). Como esses macrófagos não conseguem decompor a tinta, ocorre uma inflamação local crónica que pode persistir durante meses ou anos e pode causar *stress* contínuo ao sistema imunitário. Os investigadores observaram duas fases de resposta imunológica: uma inflamação aguda logo após a tatuagem e uma fase crónica mais duradoura associada à ativação das células imunitárias nos gânglios linfáticos. Num modelo com ratos, os animais tatuados apresentaram uma resposta mais fraca de anticorpos após administração de uma vacina de mRNA contra a COVID-19, sugerindo que a tinta induziu alterações na função imunológica. Resultados semelhantes foram observados em células imunológicas humanas expostas à tinta *in vitro*.

De acordo com os investigadores, este estudo levanta questões importantes sobre como a retenção prolongada dos pigmentos das tatuagens nos tecidos imunológicos pode influenciar as respostas a infeções e a vacinas, sugerindo, ainda, a necessidade de investigação adicional para avaliação dos efeitos sistémicos das tintas de



Crédito: ChemistryViews

tatuagem em seres humanos, de modo a compreender o seu impacto na imunidade.

Fontes

Tattoos Might Influence the Immune System, chemistryviews.org/tattoos-might-influence-the-immune-system (acedido em 24/04/2026).

A. Capucetti, J. Falivene, C. Pizzichetti, I. Latino, L. Mazzucchelli, V. Schacht, U. Hauri, A. Raimondi, T. Virgilio, A. Pulfer, S. Mosole, L. G.-Roma, W. Bäuml, M. Palus, L. Renner, D. Ruzek, G. G. Levy, M. Foerster, K. Chahine, S. F. Gonzalez, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2025**, 122, e2510392122. DOI: 10.1073/pnas.2510392122.

>

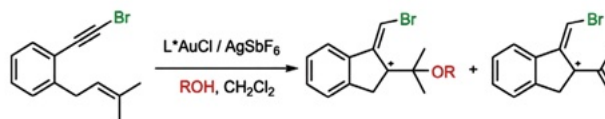
Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Elucidado Comportamento Inesperado em Reações Catalisadas por Ouro

Os haloalquinos muito polarizados constituem blocos de construção muito úteis em síntese orgânica devido à sua reatividade dupla, sob catálise por metais de transição: o sistema π permite a funcionalização com nucleófilos e a parte halogenada “oferece” a possibilidade de diversificação adicional mediante reações de acoplamento, ciclometalação oxidativa ou formação de vinilideno.

A. M. Echavarren (Instituto de Investigación Química da Catalunha (ICIQ, CERCA) e da *Universitat Rovira i Virgili*, Tarragona, Espanha) e colegas demonstraram por que algumas alcoxiciclações catalisadas por Au(I) originam produtos em proporções enantioméricas muito diferentes, mesmo quando formados na mesma reação. A equipa de investigação desenvolveu as primeiras ciclizações enantiosseletivas catalisadas por Au(I) de bromo-1,5- e bromo-1,6-eninos (na imagem), incluindo compostos *spiro*, utilizando ligandos fosfina



Crédito: ChemistryViews

quirais concebidos especificamente para esta reação. Combinaram experiências com cálculos da Teoria do Funcional da Densidade (DFT, *Density Functional Theory*) para compreender o mecanismo da reação e a razão pela qual a seletividade muda em diferentes condições. Os investigadores observaram que uma etapa fundamental da reação pode ser reversível. Quando isso acontece, pode ocorrer racemização de parte da mistura reacional, o que explica por que um produto de alcoxiciclação é enantiomericamente enriquecido, enquanto o produto da cicloisomerização é praticamente racémico. A seletividade também depende da quantidade de metanol presente: quantidades pequenas tornam a transferência de

hidreto competitiva, enquanto quantidades maiores promovem a alcoxiciclicização e originam produtos enriquecidos enantiomericamente. De modo mais detalhado, o catalisador de Au(I) liga-se à função alcino do enino, tornando-o mais reativo e pronto para a ciclicização. O alceno ataca o alcino ativado, formando uma nova ligação carbono-carbono e originando um intermediário cíclico com carga positiva. O ligando quiral em torno do ouro controla de que lado o anel se forma, favorecendo a formação de um dos enantiômeros. Após a ciclicização ocorre a competição entre duas vias de síntese: i) se um álcool estiver presente, reage rapidamente com o intermediário, “bloqueia” a quiralidade e origina um produto enantiomericamente enriquecido; ii) se não estiver álcool presente, o intermediário pode sofrer rearranjo por migração 1,2 de hidreto, o que promove a racemização.

Estes resultados ajudam a explicar os mecanismos que estão na base de uma das transformações mais representativas na catálise com

Au(I) e esclarecem os mecanismos complexos das alcoxiciclicizações catalisadas por este metal. O estudo também destaca a importância dos haloalquinos fortemente polarizados, que atuam como blocos de construção versáteis em química sintética, e cuja dupla reatividade permite uma maior funcionalização e síntese eficiente de estruturas complexas.

Fontes

Unexpected Behavior in Gold-Catalyzed Reactions Clarified, chemistryviews.org/unexpected-behavior-in-gold-catalyzed-reactions-clarified (acedido em 27/04/2026).

A. Cataffo, E. García-Padilla, I. Escofet, N. Fincias, A. Arnanz, G. Zuccarello, G. Tian, L. Cai, F. Khorasanidarehdor, F. Maseras, A. M. Echavarren, *Chem. Sci.* **2026**, 17, 5005-5015. DOI: 10.1039/d5sc09023g.

>

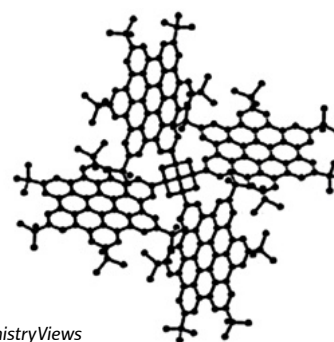
Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

Síntese de **Adamanfeno**

J. M. Fernández-García e N. Martín (Universidade Complutense de Madrid, Espanha) e colegas sintetizaram um novo nanografeno molecular denominado adamanfeno, constituído por um núcleo de adamantano, como *scaffold* central, que estabelece ligações covalentes a quatro unidades de hexabenzocoroneno (HBC). Dado que o adamantano representa a menor unidade estrutural da rede cristalina do diamante, este composto integra subestruturas de dois alótropos do carbono, o diamante (3D) e o grafeno (2D), numa única entidade molecular. Os investigadores utilizaram um processo de síntese em três etapas, envolvendo acoplamento de Sonogashira, cicloadição de Diels-Alder e oxidação de Scholl, para conseguir o controlo total sobre a disposição espacial dos fragmentos de HBC. Esta ciclodesidrogenação oxidativa final forma 24 novas ligações C-C numa única etapa, originando o produto totalmente grafitizado, com rendimento de 20%. Os autores consideram que esta é uma transformação notável, considerando a complexidade estrutural.

A difração de raios-X confirmou a estrutura tetraédrica rígida do adamanfeno, com um empacotamento poroso decorrente de interações π - π . Estudos eletroquímicos demonstraram que as unidades HBC do adamanfeno estavam eletronicamente isoladas. Por sua vez, a análise espectroscópica revelou comportamentos de fluorescência distintos em diferentes solventes.



Crédito: *ChemistryViews*

A “arquitetura” molecular híbrida 3D/2D única do adamanfeno fornece informações sobre a influência da dimensão na organização molecular e nas propriedades fotofísicas, podendo contribuir para o desenvolvimento de materiais avançados para eletrônica e fotônica.

Fontes

Adamanphene Synthesis, chemistryviews.org/adamanphene-synthesis (acedido em 19/04/2026).

M. Iglesias-Rabadán, J. Perles, J. M. Fernández-García, N. Martín, *ChemistryEurope* **2026**, 4, e70226. DOI: 10.1002/ceur.70226.

>

Ana Paula Esteves

aesteves@quimica.uminho.pt

CyChest: Gestão Integrada do Ciclo do Castanheiro no Parque Natural de Montesinho

>

Isabel Maria Duque Martins

isa@fe.up.pt

●●● O projeto CyChest – Gestão Integrada do Ciclo do Castanheiro no Parque Natural de Montesinho (PNM) – visa promover a valorização sustentável dos subprodutos gerados pela fileira da castanha, principal atividade económica da região. A produção de castanha mobiliza recursos fundamentais para a gestão agrícola e florestal do território, mas também origina quantidades significativas de resíduos, nomeadamente folhas, cascas e ouriços, que são frequentemente queimados para controlo de pragas.

O CyChest propõe uma abordagem inovadora baseada nos princípios da economia circular, transformando estes resíduos em matérias-primas para produtos de elevado valor acrescentado e contribuindo para o objetivo de resíduo zero. Portugal é o terceiro maior produtor europeu de castanha e cerca de 60% da produção nacional concentra-se na Terra Fria Transmontana, onde se localiza o PNM. Os subprodutos do castanheiro são ricos em compostos bioativos, como ácidos fenólicos, flavonoides e taninos, reconhecidos pelo seu potencial para aplicações alimentares, cosméticas e farmacêuticas. Assim, o projeto pretende desenvolver

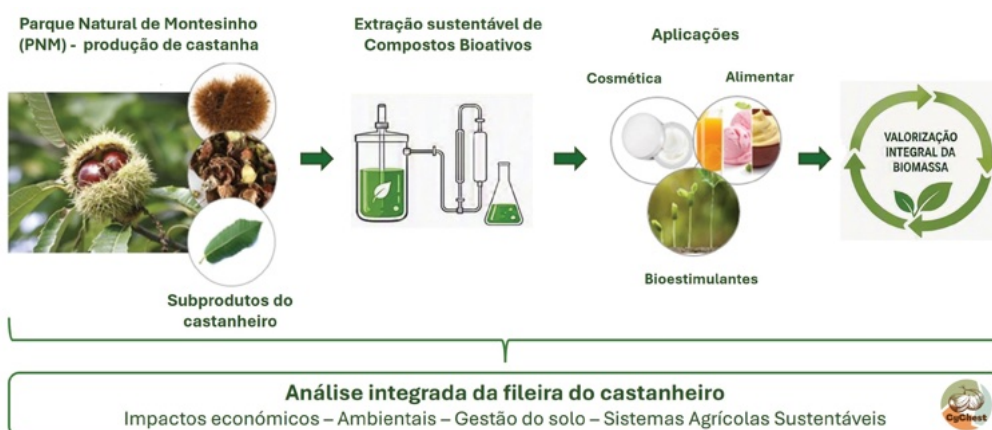
processos sustentáveis de extração destes compostos e promover a sua incorporação em ingredientes naturais para alimentos funcionais, produtos cosméticos e bioestimulantes agrícolas. Os bioestimulantes assumem especial relevância face aos desafios fitossanitários que afetam os soutos, nomeadamente a doença da tinta, o cancro do castanheiro e a vespa-das-galhas. Como produtos de origem biológica, constituem alternativas mais sustentáveis aos fertilizantes e pesticidas convencionais, contribuindo para aumentar a produtividade agrícola e a eficiência nutricional das plantas.

O CyChest inclui ainda uma análise integrada da fileira do castanheiro, avaliando cenários de implementação tecnológica e respetivos impactos económicos e ambientais, bem como a gestão dos sistemas agrícolas e dos solos da região. Ao promover a valorização dos recursos naturais, a competitividade das PME, a inovação e o desenvolvimento sustentável do PNM, o CyChest contribuirá para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, nomeadamente nos domínios da produção e consumo sustentáveis, crescimento económico, ação climática e inovação.

●●●



Isabel Maria Martins



>

Ficha Técnica do Projeto

Acrónimo: CyChest

Financiamento: Programa Promove da Fundação “la Caixa”; BPI e Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

Equipa: FEUP – Isabel Maria Duque Martins (IR), Andreia Sofia Silva Ribeiro, Cláudia Sofia Castro Gomes da Silva, Madalena Maria Gomes de Queiroz Dias, Ricardo Jorge Nogueira dos Santos, Joana Neves Lains, Beatriz Pinheiro Coelho Oliveira Ferrás; IPB – Maria Filomena Barreiro, Arantzazu Santamaria-Echart, Elsa Ramalhosa, Paula Batista, Heloísa Almeida, Ana Carolina Lima.

Iron Gall Ink and Blotting Sands on Portuguese Written Heritage - a Comprehensive Study and Developments in Conservation Treatments

>

Margarida P. Nunes

mrmnpn@uevora.pt

- **Tinta Ferrogálica e Areias Secantes no Património**
- **Escrito Português - Estudo Multidisciplinar e Contributos para os Tratamentos de Conservação.**

A tinta ferrogálica foi outrora considerada o meio de escrita mais importante do mundo ocidental, sobretudo pela sua indelebilidade. Foi profusamente usada entre os séculos XIII-XIX. Uma parte substancial do património escrito português foi redigido com esta tinta, contudo, permanece escassamente estudado de um ponto de vista analítico. Este trabalho compreende uma abordagem espectroscópica e microscópica para a caracterização de tinta ferrogálica numa coletânea de documentos históricos portugueses (sécs. XVI-XVIII). A sua interação com o suporte foi também estudada. Tintas enriquecidas em zinco foram identificadas, o que revelou práticas que se pensavam incomuns em Portugal. A quantidade de tinta por área superficial foi reconhecida como fator crítico no estado de conservação dos documentos. Este trabalho pôs em evidência as areias secantes usadas em Portugal (sécs. XVI-XIX). Atualmente, continua por ser esclarecido de que forma(s) a tinta potencia os mecanismos de degradação dos suportes celulósicos

e quais o(s) composto(s) responsável(is) pela sua cor.

Para tal, foram reproduzidas tintas a partir de receitas históricas, obtidos os precipitados e tintas secas, e caracterizados. As tintas foram também aplicadas em suporte Whatman® e envelhecidas artificialmente. Durante o envelhecimento verificou-se a redução de Fe(III) a Fe(II) em oxalatos e sulfatos. Um monocomplexo polifenólico de Fe(III), com ligando catecolato e ferro coordenado octaedricamente foi identificado como cromóforo da tinta. Este projeto introduz o uso de polioxometalatos-líquidos iónicos (POM-ILs) para atenuar a corrosão potenciada pela tinta. Validou-se esta hipótese a partir da síntese e caracterização do polioxotungstato do tipo Keggin monossubstituído por Fe. Os POM-ILs foram aplicados em *mockups* e o seu impacto e eficiência foram avaliados, indicando resultados promissores.

Estes materiais foram caracterizados com recurso a análise de imagem (ImageJ®), de composição química e mineralógica, análise multivariada e estatística. As técnicas de seleção usadas e a proveniência das areias foram discutidas.



Autora – Margarida Nunes (*Instituto de Ciencias del Patrimonio, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Santiago de Compostela, Espanha*)

Orientação – Teresa Ferreira (Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal; Departamento de Química e Bioquímica, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Portugal); Ana Claro (CHAM, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Lisboa, Portugal); Scott G. Mitchell (Instituto de Nanociência e Materiais de Aragón, Universidade de Zaragoza, Espanha)

Instituição Conferente do Grau – Universidade de Évora

Programa Doutoral – Química

Data – 14 de junho de 2024

Repositório – hdl.handle.net/10174/37172

Development of Analytical Strategies for Evaluation of Biopharmaceuticals

>

Diana Raquel de Lima Cunha

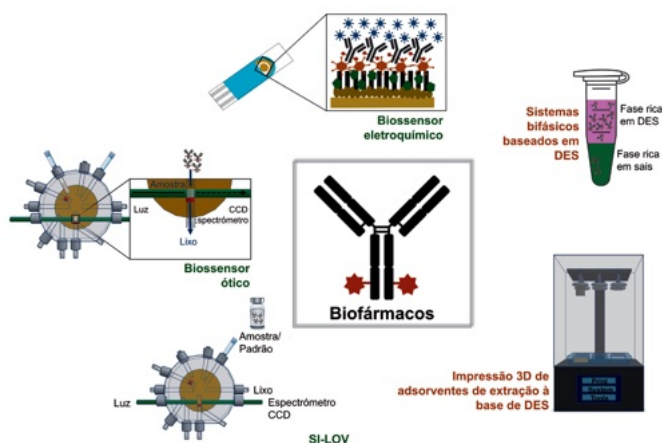
dianarl.cunha@gmail.com

- **Desenvolvimento de Estratégias Analíticas para a**
- **Avaliação de Biofármacos.** Nas últimas décadas, a avaliação de biofármacos evoluiu devido à expansão do mercado, maior exigência regulatória e necessidade de métodos analíticos automatizados e sustentáveis. Persistem desafios, sobretudo na monitorização de atributos críticos e na análise rápida em contexto clínico. Torna-se essencial dispor de ferramentas que assegurem o controlo de qualidade, a monitorização de processos e de fármacos, reduzindo o tempo de análise, o consumo de amostras e o impacto ambiental.

Esta tese explora a automatização, a miniaturização e a extração sustentável para melhorar a eficiência e a rapidez, através de estratégias analíticas para avaliação de biofármacos, especificamente anticorpos monoclonais terapêuticos (mAbs). Foram exploradas abordagens baseadas em biossensores (óticos e eletroquímicos), em análise por injeção em fluxo, e em técnicas de extração sustentáveis, visando maior eficiência sem comprometer a fiabilidade. Desenvolveu-se um biossensor eletroquímico

para deteção de glicoproteínas, baseado em lectinas e transdução impedimétrica. Em paralelo, foram implementados sistemas óticos miniaturizados em plataformas *lab-on-valve* (LOV) para quantificação automatizada de mAbs, reduzindo o consumo e simplificando processos. Investigou-se ainda a implementação de um sistema de injeção sequencial miniaturizado com espectrómetro compacto, combinando análise quantitativa e informação espectral, evidenciando o potencial de métodos UV para avaliação qualitativa rápida. Adicionalmente, foram propostas estratégias sustentáveis de extração com sistemas aquosos bifásicos baseados em solventes eutéticos, reduzindo o impacto ambiental do processo. Por fim, explorou-se a impressão 3D de adsorventes baseados em solventes eutéticos polimerizáveis para microextração.

Globalmente, o trabalho demonstra que a integração de automatização, miniaturização, deteção *label-free* e química verde permite uma análise biofarmacêutica mais eficiente e sustentável, com aplicação desde o desenvolvimento até ao controlo de qualidade e uso clínico.



Autora – Diana Cunha (LAQV, REQUIMTE, Laboratório de Química Aplicada, Departamento de Ciências Químicas, FFUP)

Orientação – Marcela Segundo (LAQV, REQUIMTE, Laboratório de Química Aplicada, Departamento de Ciências Químicas, FFUP); Maria Beatriz Qui-naz (LAQV, REQUIMTE, Laboratório de Química Aplicada, Departamento de Ciências Químicas, FFUP)

Instituição Conferente do Grau – Faculdade de Farmácia, Universidade do Porto

Programa Doutoral – Doutoramento em Ciências Farmacêuticas, especialidade Química Analítica

Data – 09/07/2025

Repositório – hdl.handle.net/10216/167614

Uma Nova Estrutura Universal de Detecção de Vida na Terra e no Sistema Solar – Alcance e Limitações

>

Carlos Ramos*
 José Orench
 Lara Brito de Gouveia
 Paulo Rodrigues
 Madalena Carvalho
 Ana Colaço
 Fátima Viveiros
 Catarina Silva
 Rute Cesário
 João Canário
 João C. Duarte
 Zita Martins

A New Universal Structure for the Detection of Life on Earth and in the Solar System. *For the scientific method to be properly applied in the study of the origin of life and its detection across the universe, quantification is essential. Without measurable and testable parameters, discussions on life's emergence remain, at least in part, speculative. Although relevant indicators such as molecular chirality, isotopic fractionation, and elemental ratios like C/N already exist, they remain anchored in the biochemical framework of Earth-based life, limiting their applicability in astrobiological contexts with radically different geochemical and environmental configurations. This article presents a critical analysis of the Theory of Increasing Functional Information, which aims to establish a universal and quantitative methodology based on the progressive growth of functional efficiency in complex systems, ultimately guiding their evolution from abiotic chemistry to biotic existence. The aim is to assess the scope and limitations of this proposal as a theoretical framework for life detection in the universe. Additionally, this study discusses the relevance of hydrothermal vents as key case studies for this assessment, as they are considered plausible planetary analogues where this framework can be tested and applied in the search for life beyond Earth.*

Para que o método científico seja corretamente aplicado ao estudo da origem da vida e da sua deteção no universo, a quantificação é essencial. Sem parâmetros mensuráveis e testáveis, as discussões sobre a emergência da vida permanecem, pelo menos em parte, especulativas. Embora já existam indicadores e metodologias relevantes nesse processo de quantificação, como a quiralidade molecular, o fracionamento isotópico e razões elementares como C/N, estes continuam ancorados na estrutura bioquímica da vida na Terra, limitando a sua aplicabilidade em contextos astrobiológicos com configurações geoquímicas e ambientais radicalmente diferentes. Este artigo apresenta uma análise crítica da “Teoria da Informação Funcional Crescente”, que visa estabelecer uma metodologia universal e quantitativa baseada no crescimento progressivo da eficiência funcional em sistemas complexos, orientando, em última instância, a sua evolução desde a química abiótica até à existência biótica. O objetivo é avaliar o alcance e as limitações desta teoria enquanto estrutura teórica aplicável na deteção de vida no sistema solar. As fontes hidrotermais são propostas como estudos de caso fundamentais para essa avaliação, uma vez que são consideradas análogos planetários plausíveis onde este enquadramento pode ser testado e aplicado na procura de vida para além da Terra.

Introdução

O método científico depende da quantificação para transformar as observações em conhecimento mensurável, testável e reproduzível. Sem essa base, a ciência permaneceria qualitativa e especulativa, limitando a nossa capacidade de fazer testes e previsões fiáveis [1]. Esta exigência torna-se ainda mais crítica no domínio da astrobiologia, onde a deteção de vida em ambientes extraterrestres requer critérios objetivos que transcendam os referenciais bioquímicos da vida terrestre.

Embora existam já indicadores mensuráveis utilizados na identificação de vida, como a quiralidade molecular, o fracionamento isotópico ou razões elementares como C/N, ou ainda o uso de tecnologias como a espectrometria de massa na deteção remota de bioassinaturas, todos permanecem fortemente ancorados nos parâmetros da bioquímica da Terra, o que limita a sua aplicabilidade em sistemas extraterrestres com configurações geoquímicas e ambientais radicalmente diferentes. É, por isso, necessário

desenvolver um enquadramento teórico que permita integrar esses dados de forma mais ampla e funcional.

Este artigo apresenta uma análise crítica da Teoria da Informação Funcional Crescente, proposta por Wong *et al.* [2], baseada no crescimento progressivo da eficiência funcional de processos em sistemas químicos complexos, numa linha contínua desde a sua origem abiótica até à sua possível existência biótica. Esta teoria resulta e é suportada na integração conceptual de dois modelos que a precederam: a redefinição de vida como sistema funcional de quatro pilares [3] e o conceito de Estabilidade Cinética Dinâmica (ECD) desenvolvido por Pross [4]. O objetivo deste trabalho é analisar criticamente o alcance e as limitações desta proposta enquanto estrutura aplicável à deteção da vida, especialmente em contextos onde os referenciais da vida terrestre possam não ser válidos. Como estudo de caso, são consideradas as fontes hidrotermais, ambientes geológicos com elevada complexidade química e energética, considerados análogos planetários plausíveis para testar a aplicabilidade desta Teoria à procura de vida para além da Terra.

Redefinir a vida

Em 2020, Bartlett e Wong [3] propuseram uma redefinição mais abrangente e funcional do conceito de vida, com o objetivo de torná-lo aplicável não apenas aos sistemas biológicos baseados na química da Terra, mas também à procura de vida em ambientes extraterrestres onde a geoquímica local e as condições ambientais poderão ser radicalmente diferentes. Tradicionalmente, a vida tem sido caracterizada com base em três processos principais: replicação, metabolismo e compartimentalização (Figura 1) [3].



Figura 1 – As três funções primárias consideradas essenciais para que um sistema na Terra seja considerado Vida. Fonte: Imagem adaptada [3].

Embora estes critérios sejam úteis e objetivos, permanecem centrados na bioquímica que se conhece na Terra, o que pode limitar a identificação de novas formas de vida, baseadas em processos químicos e elementos diferentes dos existentes na Terra. Na sua proposta, os autores introduziram o conceito de Vyda, que define a mesma não com base em processos químicos ou físicos que já se conhecem, mas sim como um sistema sustentado por quatro funções interdependentes: Dissipação, Autocatálise, Homeostasia e Aprendizagem (Figura 2) [3].

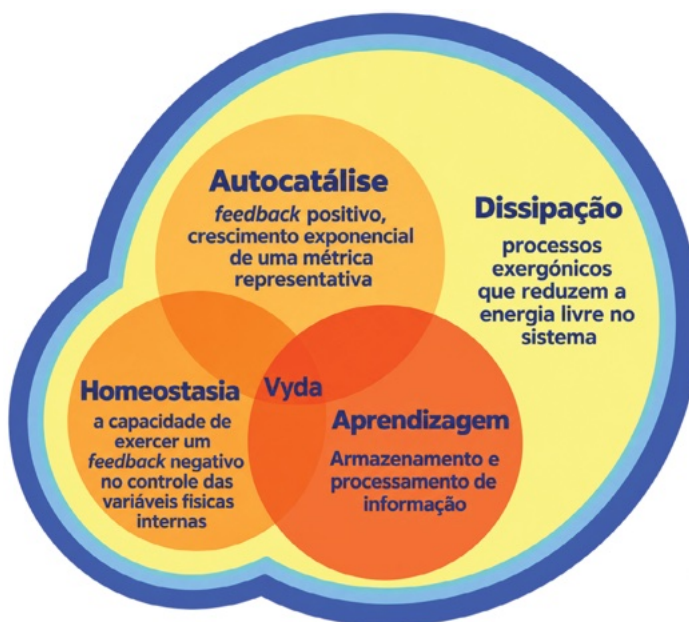


Figura 2 – Diagrama de Venn ilustrando os quatro pilares da vida, por Stewart Bartlett. Todos os sistemas que se posicionam em áreas do diagrama que são abrangidas por alguns, mas não por todos os quatro pilares, são definidos como sistemas sub-vida, enquanto os sistemas considerados Vyda satisfazem os quatro pilares. Imagem adaptada de [3].

Esta nova abordagem torna possível uma definição mais universal, uma vez que se foca em funções, independentemente dos processos ou elementos químicos, que permitam que as mesmas sejam executadas. Nesta nova proposta, apenas os sistemas que incorporam simultaneamente as quatro funções mencionadas são considerados verdadeiramente vivos. Os sistemas que manifestam apenas algumas destas funções são classificados como sub-vida, isto é, sistemas em transição ou incompletos no seu percurso evolutivo da não vida para a vida. No conjunto, as quatro funções listadas contribuem para a persistência do sistema químico ao longo do tempo: a) Dissipação, que se refere à funcionalidade do sistema em reduzir a energia livre através de processos que exportam entropia do interior do sistema para o meio envolvente [5]. Um exemplo clássico na Terra é a respiração celular, onde a oxidação da glicose ($C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$)

converte energia química em ATP, libertando calor e promovendo o equilíbrio termodinâmico; b) Homeostasia, que funciona como um contrapeso à dissipação. Trata-se de uma função de regulação ativa das condições internas do sistema, como a temperatura, o pH ou a produção contínua de espécies moleculares chave, mantendo-o funcional e afastado do equilíbrio. Este processo depende de um fluxo constante de energia e adapta-se às variações ambientais, garantindo a estabilidade dinâmica necessária à continuidade das funções vitais do sistema, mantendo a sua existência; c) Aprendizagem, que neste contexto, não implica consciência ou cognição, mas sim a capacidade funcional do sistema reter e processar informação. Esta função assegura que reações benéficas são reforçadas e reguladas, enquanto reações parasíticas ou prejudiciais são atenuadas ou eliminadas. Assim, o sistema otimiza progressivamente no tempo o seu desempenho, mantendo-se funcional com uma eficiência crescente na otimização dos seus processos em ambientes dinâmicos; d) Autocatálise, como função que garante que o sistema reforça a sua própria atividade através de reações que se promovem a si mesmas. Quando as outras três funções listadas estão operacionais, a autocatálise permite que o sistema cresça em complexidade e eficiência, criando redes de reações autossustentadas que favorecem a persistência e a evolução.

A interdependência destas quatro funções define a capacidade de um sistema para existir como vida e evoluir ao longo do tempo. Sistemas que demonstram estas propriedades são considerados *Vyda*, apresentando características que transcendem definições tradicionais de vida e oferecendo uma estrutura funcional aplicável à astrobiologia [3]. Esta perspetiva amplia o campo de procura por vida para além da Terra, uma vez que não depende de moléculas ou características específicas alinhadas com o que se conhece no planeta Terra, mas de comportamentos funcionais independentemente dos processos e elementos químicos que os sustentam.

O modelo de Pross: Estabilidade Cinética Dinâmica (ECD)

Um sistema químico em equilíbrio/estabilidade cinética dinâmica (ECD) caracteriza-se pela existência simultânea e contínua de reações diretas e inversas, com velocidades de ocorrência equilibradas [4]. Neste estado, a composição global do sistema mantém-se constante, apesar das transformações moleculares incessantes. Em particular, reações catabólicas que degradam compostos e libertam energia coexistem com reações anabólicas que consomem energia para construir moléculas mais complexas, de forma interdependente e organizada. Esta dinâmica permite que os produtos de determinadas reações sirvam

de reagentes para outras, sustentando a atividade e funcionalidade do sistema. De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica [6], a entropia de um sistema isolado tende a aumentar com o tempo, conduzindo à dispersão da energia e à sua menor disponibilidade para realizar trabalho útil. Em sistemas fechados (que trocam energia, mas não matéria com o meio), essa tendência conduz à degradação progressiva da organização molecular. Com o tempo, esses sistemas aproximam-se do equilíbrio termodinâmico, um estado em que já não existe energia utilizável para sustentar trabalho químico. Na química pré-biótica isto implica que, sem fontes externas de energia e matéria, as moléculas complexas formadas tenderiam inevitavelmente à degradação, inviabilizando a persistência de estruturas organizadas. Por contraste, os sistemas em ECD relevantes para a origem da vida eram sistemas abertos, alimentados por fluxos energéticos persistentes, provenientes do ambiente em que se encontravam integrados [4,7]. Nestes sistemas, a entropia total (sistema + meio envolvente) ainda aumenta, como determina a Segunda Lei da Termodinâmica [5,6], mas a entropia local pode ser temporariamente reduzida, desde que haja exportação da mesma para o exterior [6]. Esta condição é fundamental para o surgimento e manutenção de redes químicas organizadas, capazes de acumular complexidade funcional e aumentar, assim, a eficiência dos seus processos, adaptando-se gradualmente às condições geoquímicas locais [4]. Para que este equilíbrio dinâmico se mantenha, o sistema deve permanecer aberto ao ambiente, recebendo e dissipando fluxos contínuos de matéria e energia. Isto deve-se ao facto de as reações consumirem reagentes e originarem produtos que, sem renovação ou remoção, comprometem a continuidade do sistema. Além disso, muitas reações iniciais não são espontâneas e requerem um aporte energético adicional, como o gerado por gradientes de pH, potenciais redox ou calor geotérmico. Ambientes como fontes hidrotermais submarinas oferecem condições ideais, fornecendo calor, iões metálicos, gases redutores e fluxos de fluidos contínuos que alimentam a rede de reações [7,8]. Um aspeto particularmente relevante dos sistemas em ECD é a sua capacidade de adaptação ao ambiente. Por se manterem longe do equilíbrio termodinâmico, estes sistemas respondem a variações externas, como alterações de temperatura, disponibilidade de substratos ou mudanças nos gradientes, ajustando a intensidade e direção das vias de reação. Esta flexibilidade favorece a prevalência de configurações químicas mais eficazes em contextos específicos, reforçando a ligação entre dinâmica interna e estímulos ambientais. Com o tempo, estes sistemas evoluem funcionalmente, promovendo a seleção progressiva de vias mais eficientes, estáveis e adaptadas ao seu nicho

geoquímico. Este comportamento é especialmente relevante para a origem da vida, pois sustenta a emergência de redes autocatalíticas: conjuntos de reações em que os produtos reforçam ou aceleram as próprias reações que os geram. Neste enquadramento, a ECD constitui uma ponte entre a geoquímica e a bioquímica (Figura 3) [7,9] e permite compreender como, em ambientes energeticamente ativos e geoquimicamente estruturados, podem emergir sistemas químicos organizados, adaptativos e persistentes, capazes de iniciar a transição para funções de tipo biológico. Observações empíricas em ambientes naturais reforçam a plausibilidade deste modelo. Por exemplo: a) em fontes hidrotermais profundas, redes autocatalíticas impulsionadas por gradientes redox podem ter evoluído para sistemas metabólicos mais complexos [8,10], integrando moléculas do tipo acetil-CoA, cuja estabilidade funcional e capacidade replicativa favorecem a sua persistência, dada a sua elevada eficiência na fixação de carbono [11]; b) em fontes hidrotermais superficiais ou em ambientes submarinos rasos ricos em minerais condutores, moléculas semelhantes ao ARN poderão ter surgido e replicado de forma sustentada, com base em redes autocatalíticas alimentadas por fluxos energéticos contínuos [12,13]. Estes exemplos indicam que a ECD não é apenas um conceito teórico abstrato, mas um mecanismo com expressão plausível em ambientes geológicos reais, os quais podem ser utilizados como laboratórios naturais onde este modelo é estudado e quantificado [14]. Embora o grau de ECD num sistema não possa ser reduzido a uma única equação, pode ser inferido a partir de parâmetros mensuráveis que descrevem o comportamento dinâmico do sistema. A lista destes parâmetros é apresentada na Tabela S1 em Material Suplementar (b-quimica.spq.pt/files/files/BSPQ/N180-artigo139.pdf).

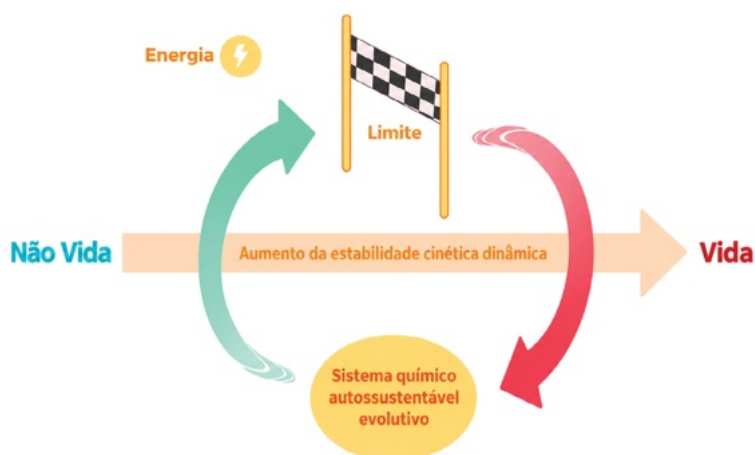


Figura 3 – A estabilidade acrescida de um sistema químico autossustentável permite-lhe ultrapassar um limite que conduz a um estado de vida [7,13].

O modelo de Wong: Diferenciar a vida dos sistemas não vivos através da quantificação

O trabalho de Wong *et al.* [2] apresenta, de forma inovadora, um modelo teórico que se pretende unificador na explicação do fenómeno da evolução de sistemas vivos a partir de sistemas abióticos. Esta teoria sustenta-se no modelo de Estabilidade Cinética Dinâmica (ECD) de Pross [4,7,9] e na redefinição de vida de Bartlett e Wong [3], propondo que os sistemas químicos a partir do seu início evoluem seguindo a Teoria do Aumento da Informação Funcional (Figura 4).

Esta teoria incorpora três níveis de complexidade que se sucedem no tempo uns aos outros [2]: a) complexidade de primeira ordem (persistência estática) – os elementos envolvidos nas reações iniciais de um sistema químico emergente exibem uma persistência estática (por exemplo, moléculas estáveis que resistem à degradação) mantendo-se disponíveis; b) complexidade de segunda ordem (persistência dinâmica) – diversas configurações possíveis conferem ao sistema uma estabilidade cinética dinâmica, *i.e.*, uma estabilidade baseada em parâmetros que oscilam em resposta a mudanças externas ao próprio sistema. Exemplos disso incluem fenómenos como autocatálise e homeostasia, que utilizam energia livre do ambiente e a dissipam num fluxo contínuo, mantendo internamente níveis controlados de entropia. Este modelo de funcionamento mantém o sistema afastado do equilíbrio termodinâmico, sustentando a sua continuidade, adaptabilidade e capacidade de resposta às variações ambientais; e c) complexidade de terceira ordem (geração de novidade) – os sistemas químicos passam a persistir no tempo através de processos ativos que se traduzem em duas formas de evolução: i) para cada função, o número de configurações possíveis dos elementos que contribuem para a sua execução vai diminuindo; ii) com a complexificação, dá-se a geração de novas funções, que trazem benefícios acrescidos ao sistema, expandindo o espaço de possibilidades no acesso a novos recursos, ou estados, que aumentam a sua capacidade de persistência e evolução do sistema ao longo do tempo (Figura 5) [2].

No contexto da emergência da vida, estes três níveis de complexidade que suportam a Teoria do Aumento da Informação Funcional aplicada a um sistema químico pré-biótico podem ser interpretados como uma evolução da complexidade do sistema e, de forma correspondente, da informação funcional intrínseca ao mesmo [2,14], conforme ilustrado pelo gráfico apresentado na Figura 6. No início, verifica-se uma fase de reações aleatórias, onde múltiplas configurações possíveis existem para as reações que se iniciam entre os elementos químicos disponíveis no ambiente. Estas reações ocorrem sem uma estrutura definida, gerando uma grande diversidade de combinações

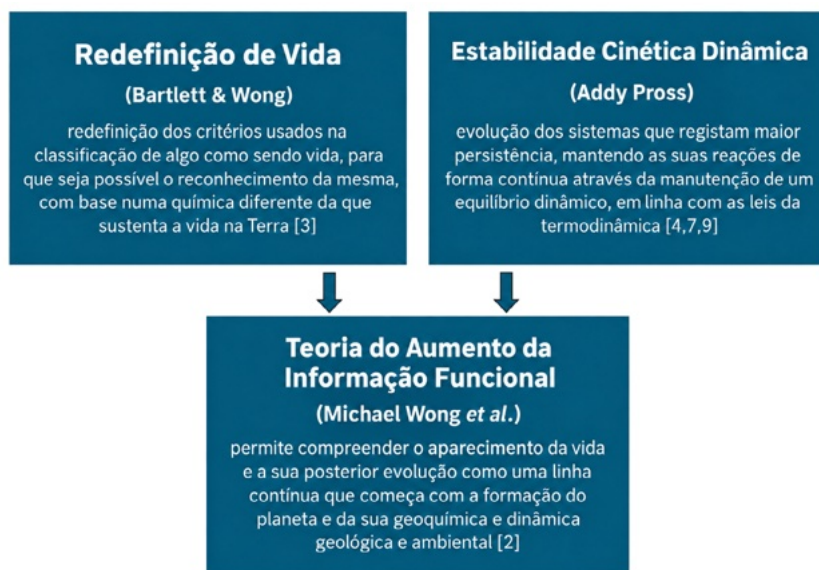


Figura 4 – Representação esquemática da Teoria do Aumento da Informação Funcional [2] como resultado da integração conceptual entre a redefinição de vida com base em quatro funções [3] e o modelo de Estabilidade Cinética Dinâmica [4,7,9]. Ambas as abordagens contribuem para a formulação de um modelo quantitativo universal aplicável a sistemas vivos e pré-bióticos.

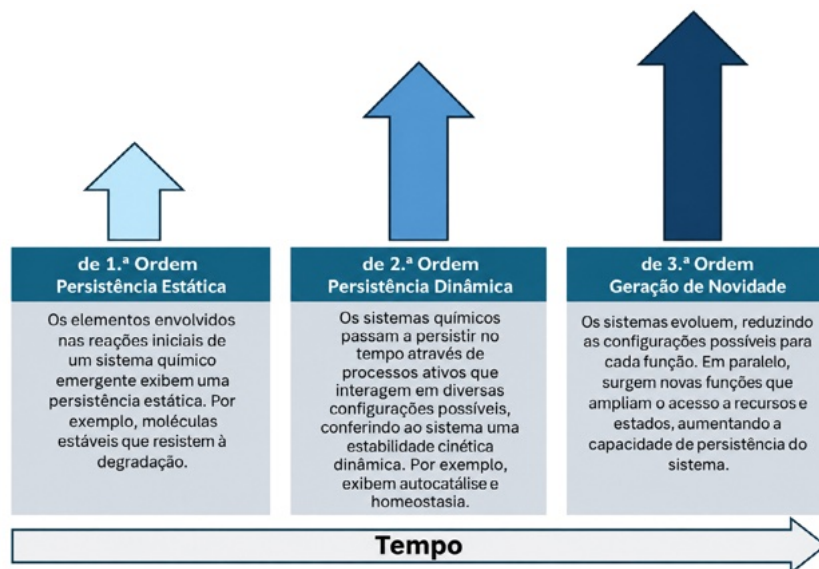


Figura 5 – Diferentes níveis de complexidade resultantes da evolução do sistema químico ao longo do tempo traduzem-se no aumento da informação funcional [2].

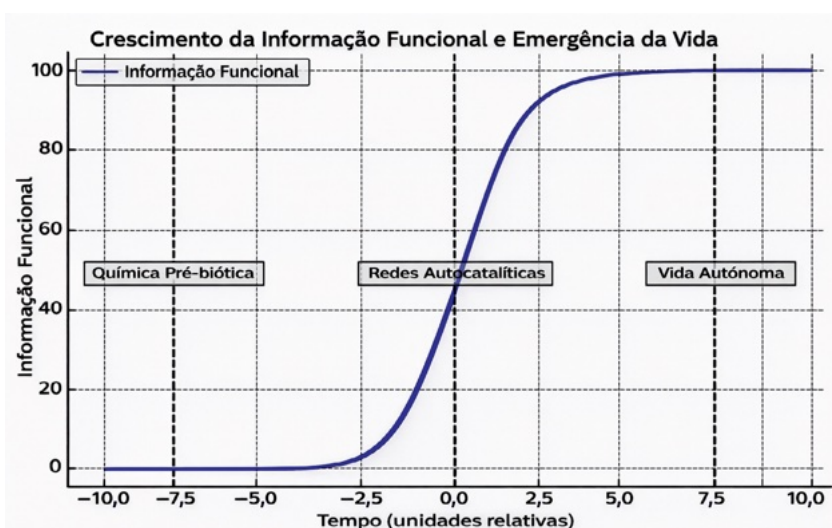


Figura 6 – Evolução da Informação Funcional (If) ao longo do tempo (t): 1. Química pré-biótica – If baixa e crescimento lento, dominado por reações químicas espontâneas. 2. Redes autocatalíticas iniciais – If aumenta rapidamente; surgem estruturas auto-organizadas com replicação e metabolismo. 3. Origem da vida – Sistemas vivos autônomos estabelecem-se; If atinge níveis elevados e cresce de forma mais estável com a evolução [2,14].

possíveis. Com o tempo, algumas dessas configurações mostram-se mais eficazes em atingir determinados objetivos, exibindo, por exemplo, maior estabilidade, maior eficiência na conversão de energia ou capacidade de autorreplicação, enquanto as menos eficazes são gradualmente eliminadas, marcando o processo de seleção das configurações funcionalmente mais eficientes.

À medida que o sistema evolui, novas funções emergem com base nas reações previamente selecionadas, trazendo consigo novas possibilidades no acesso a recursos, traduzindo-se numa complexificação que aumenta a persistência do sistema. Novamente, no início desta fase, cada função pode ser realizada por várias configurações químicas diferentes, mas, sob a influência da seleção e das pressões ambientais, apenas algumas configurações ótimas permanecem, reduzindo o número de opções menos eficientes. Esse refinamento é interpretado como o Aumento da Informação Funcional [2], traduzindo-se na respetiva redução do número total de configurações possíveis por função específica. No limite, para as reações que ocorrem apenas com uma configuração remanescente, é atingido o máximo de informação funcional para essa função. Este processo, baseado na seleção por função, liga a evolução abiótica à biótica, propondo que todos os sistemas em evolução partilham princípios de crescente diversidade e eficiência funcional. Na Terra, fontes hidrotermais terão fornecido as condições iniciais que levaram a vida a emergir quando a informação funcional dos sistemas químicos que ali se desenvolveram ultrapassou um limiar crítico, permitindo a partir daí uma evolução aberta e contínua [14]. Desta forma, a evolução dos sistemas sustenta-se numa nova abordagem verdadeiramente universal que vai para além da evolução petrogénica e da evolução biológica, como são exemplo a seleção darwiniana ou a transferência lateral de genes, até aqui vistos como questões separadas. A Teoria do Aumento da Informação Funcional apresenta-se como uma abordagem inovadora que vê a vida como uma extensão natural linear da geoquímica planetária, ou, se se quiser andar mais para trás no tempo, uma extensão natural da química estelar. Teoricamente, e de forma resumida, a informação funcional (If) (Equação 1) é interpretada como uma medida quantitativa da capacidade de um sistema para desempenhar funções específicas da forma mais eficiente, levando os componentes de que dispõe a interagir no menor número de configurações possíveis por cada função [2].

$$If = -\log(N_f/N_t) \quad (1)$$

Onde:

N_f = Número de configurações funcionais que realizam um objetivo específico.

N_t = Número total de configurações possíveis.

If aumenta à medida que N_f diminui em

relação a N_t , indicando que a seleção eliminou opções menos eficientes.

Estamos, assim, perante uma nova teoria que interpreta a vida como um sistema químico em evolução, o qual, independentemente dos elementos químicos utilizados ou das condições ambientais existentes, terá persistido tempo suficiente para desenvolver e incorporar, em simultâneo, processos químicos que se traduzem em quatro funções primárias essenciais à sua existência: homeostasia, dissipação, autocatálise e aprendizagem [3]. Adicionalmente, num sistema vivo, o número de configurações químicas capazes de assegurar a execução de cada uma destas funções tende a ser reduzido ao mínimo, como resultado do aumento da eficiência com que essas funções são realizadas.

A vida como uma extensão natural da geoquímica planetária de acordo com a Teoria do Aumento da Informação Funcional: uma análise crítica

Durante o Hádico (há mais de 4,0 mil milhões de anos), a Terra encontrava-se numa fase geodinâmica profundamente distinta da atual. Em vez de operar sob um regime de tectónica de placas moderno, o planeta apresentava um sistema de “tampa estagnada”, semelhante ao observado em Vénus. Nesse regime, a litosfera comportava-se como uma crosta espessa e relativamente rígida, sem subducção global, mas com zonas localmente fraturadas, onde a convecção mantélica, o impacto de meteoritos e instabilidades térmicas davam origem a intensa atividade magmática. Estas zonas ativas promoviam a formação de crosta primitiva e permitiam o surgimento de ambientes hidrotermais altamente variáveis [15]. Modelações matemáticas indicam que, mesmo neste contexto primitivo, os oceanos ter-se-ão formado nos primeiros 100 a 150 milhões de anos após a formação de uma crosta rígida, impulsionados pela desgaseificação do manto [15]. Adicionalmente, e em simultâneo, durante um período aproximado de meio milhão de anos (entre 4,4 e 3,9 mil milhões de anos atrás), por todo o planeta ocorria o bombardeamento de meteoritos particularmente ricos em H_2O , CO_2 , N_2 , silicatos e metais, provenientes da acreção tardia da atual cintura de asteroides, evento denominado como Grande Bombardeamento Tardio [16]. Este aporte de elementos químicos, associado à forte energia disponível na formação da crosta, preparou o planeta para a subsequente evolução pré-biótica. Por outro lado, após a formação do oceano primordial, a ausência de grandes massas continentais terá permitido a existência de marés intensificadas pela proximidade de uma Lua entre três a cinco vezes mais próxima do que atualmente [14], indutoras de ciclos húmido/seco regulares, com amplitudes relativamente

baixas, estimadas na ordem de um a dois metros, mas de longa duração uma vez que essas marés percorreriam todo o planeta. Estes ciclos associados à elevada energia geotérmica disponível e aos elementos químicos disponíveis teriam elevado potencial nas regiões costeiras de interface para promover reações químicas importantes, nomeadamente na formação das primeiras moléculas do tipo ARN, na formação de membranas lipídicas, e ainda no estabelecimento da produção de moléculas orgânicas [13]. Neste cenário geodinâmico e geoquímico, torna-se possível interpretar a evolução dos primeiros sistemas químicos autocatalíticos condicentes com uma química pré-biótica, não como uma sucessão de eventos isolados, mas como um *continuum* de eventos que se potenciaram sequencialmente. Perante esta abordagem, a Teoria do Aumento de Informação Funcional poderá ser interpretada como uma importante ferramenta para a interpretação desta evolução ao descrever a origem da vida como o resultado de um sistema químico que evoluiu enquanto maximizava a sua capacidade de persistir ao longo do tempo [2]. A sua aplicação ao contexto geológico do Hádico permite compreender e, possivelmente, quantificar a própria evolução geoquímica da Terra e o posterior aparecimento da química pré-biótica como um processo progressivo de organização molecular orientado pela funcionalidade. Este processo terá tido o seu início com a agregação dos materiais cósmicos na formação do planeta, ao que se seguiram a estabilização da crosta e a formação dos oceanos e da atmosfera, culminando com a emergência de fontes hidrotermais como reatores geoquímicos complexos ricos em Mg e sílica, e Fe e Ni, entre outros metais de transição [10], onde a abundância de energia propiciou reações envolvendo minerais catalíticos estáveis, como greigite (Fe_3S_4), magnetite (Fe_3O_4) e argilas metálicas, ao que se somou uma presença contínua de moléculas precursoras como CO_2 , CH_4 , H_2 e NH_3 [12]. Contudo, importa analisar criticamente o alcance e os limites desta teoria. A Teoria do Aumento de Informação Funcional fornece uma métrica conceptual para avaliar a funcionalidade crescente de sistemas químicos, permitindo comparações teóricas entre ambientes com geoquímicas muito distintas, uma vez que não se foca nos elementos ou nas reações químicas, mas sim no estabelecimento de cada uma das quatro funcionalidades primárias descritas por Bartlett e Wong [3]. No entanto, o conceito de “função” aplicado à química pré-biótica permanece em parte subjetivo e dependente da definição operacional adotada. Embora a Teoria do Aumento de Informação Funcional proponha um modelo agnóstico em relação à composição química específica dos sistemas em análise, a identificação de funções como homeostasia, dissipação, autocatálise e aprendizagem em sistemas

pré-bióticos ainda exige interpretações baseadas em analogias bioquímicas modernas. Ao aplicar-se a Teoria do Aumento de Informação Funcional, a vida deixa de ser encarada como um fenómeno isolado e improvável. Em vez disso, torna-se o culminar de um percurso geoquímico dirigido pela seleção funcional de reações químicas cada vez mais complexas e persistentes. No entanto, reconhecer a aplicabilidade da Teoria do Aumento de Informação Funcional à origem da vida requer uma clarificação rigorosa dos critérios funcionais adotados e uma avaliação crítica da extrapolação dos mesmos para sistemas pré-bióticos. Conclui-se, assim, que a Teoria do Aumento de Informação Funcional representa uma ferramenta teórica valiosa, mas que carece de operacionalização mais precisa para se tornar um modelo quantitativo robusto. O seu principal mérito reside em integrar a origem da vida num paradigma de continuidade geoquímica, valorizando as interações entre a dinâmica planetária e a evolução molecular. Esta abordagem, mesmo com limitações, oferece uma perspetiva inovadora e coerente com os dados disponíveis sobre a Terra primitiva e sobre o que a Terra é nos dias de hoje.

Fontes hidrotermais como análogos planetários: uma análise crítica da aplicabilidade da Teoria do Aumento de Informação Funcional

As fontes hidrotermais terrestres constituem atualmente um dos cenários mais promissores para a compreensão da origem da vida na Terra, não só pelo seu potencial geoquímico para sustentar reações pré-bióticas, mas também por funcionarem como análogos experimentais para ambientes extraterrestres onde condições semelhantes possam existir [10,17]. No entanto, a extrapolação direta dos processos observados na Terra para outros mundos permanece problemática.

A dinâmica geológica, a composição da crosta e os ciclos geoquímicos de luas como Europa, Encélado ou Titã são potencialmente distintos dos terrestres, levantando dúvidas legítimas sobre a aplicabilidade de modelos baseados exclusivamente em dados terrestres. É precisamente neste contexto de incerteza que a Teoria do Aumento de Informação Funcional [2] se apresenta como uma ferramenta inovadora e potencialmente transformadora. Por exemplo, detetar vida, ou mesmo, detetar uma etapa específica no processo de evolução da química pré-biótica em Titã, terá necessariamente desafios inerentes a uma química muito diferente da que se conhece na Terra, e por consequência, à síntese de moléculas orgânicas e potenciais vias de reações químicas também muito diferentes das que a ciência interpreta como sendo primordiais para a vida na Terra [18]. Assim, sem uma metodologia adequada, a vida em Titã poderá já existir

sem que o consigamos reconhecer, permanecendo a sua detecção fora do nosso alcance. Ao definir a vida e os processos que permitem o seu surgimento, não com base numa composição química específica, mas pela capacidade crescente de um sistema químico expressar funções fundamentais como dissipação de energia, autocatálise, homeostasia e aprendizagem [3], a Teoria do Aumento de Informação Funcional apresenta-se como uma ferramenta quantitativa, supostamente universal. O facto de se focar na quantificação relativa das funções que o sistema a analisar incorpora, e não em elementos químicos ou reações conhecidas, confere-lhe um potencial notável para ser aplicada a ambientes planetários com geoquímicas diferentes da geoquímica terrestre. Contudo, uma análise crítica da Teoria do Aumento de Informação Funcional exige reconhecer não só os seus axiomas, mas também as suas limitações. A grande vantagem da teoria reside na sua agnosticidade química: ao não exigir a presença de elementos específicos ou vias metabólicas concretas, permite a comparação de sistemas com composições e reações intrínsecas radicalmente distintas.

Por outro lado, a sua implementação prática depende fortemente da definição e quantificação operacional das funções-chave. Medir de forma objetiva a “capacidade de aprendizagem” ou o “nível de homeostasia” num sistema pré-biótico ainda é um desafio teórico e metodológico. Além disso, a Teoria do Aumento de Informação Funcional exige dados sistemáticos de alta resolução, o que, em contextos de exploração espacial, pode ser condicionado pela natureza limitada das amostras ou das medições remotas. Apesar destes desafios, o valor metodológico desta Teoria é considerável. Em vez de procurar diretamente “vida” como a conhecemos, a Teoria permite avaliar trajetórias de complexificação funcional, oferecendo uma métrica de transição entre química inorgânica e biologia. Assim, mesmo na ausência de provas definitivas de vida, esta Teoria pode ajudar a identificar sistemas com elevado potencial biótico, redefinindo o próprio conceito de bioassinatura.

No panorama atual da astrobiologia, onde missões como *Europa Clipper* (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço - NASA) [19], *JUpiter ICy moons Explorer* (JUICE) (Agência Espacial Europeia - ESA) [20] e *L4* (ESA) [21] visam explorar, de forma indireta, ambientes hidrotermais sub-superficiais em luas geladas, ou no caso da ambiciosa missão *Dragonfly* da NASA [22] que irá explorar Titã, a capacidade de interpretar os dados obtidos sob a ótica da Teoria do Aumento de Informação Funcional torna-se crucial. A detecção de géiseres ricos em compostos orgânicos em Encélado [18], por exemplo, sugere reações análogas à serpentinização terrestre. Mas apenas com

uma estrutura teórica como a Teoria do Aumento de Informação Funcional será possível avaliar se esses processos expressam uma complexidade funcional compatível com a vida, ou se representam meros sistemas químicos avançados, mas abióticos.

Conclusão

A Teoria do Aumento de Informação Funcional parece fornecer um enquadramento conceptual robusto sugerindo que a vida pode ser compreendida de forma consistente como uma consequência natural da evolução geoquímica dos sistemas planetários, e não como um fenómeno contingente ou excecional. Tal é proposto ao descrever a transição entre química inorgânica e biologia como um processo contínuo de aquisição e estabilização de funcionalidades fundamentais, independentemente da composição química específica dos sistemas envolvidos. No contexto da Terra primitiva, esta abordagem integra de forma coerente a geodinâmica, a disponibilidade energética e a emergência de sistemas químicos autocatalíticos, conferindo-lhes um sentido evolutivo orientado pela persistência da sua manutenção funcional. Em astrobiologia, a sua agnosticidade química constitui uma vantagem decisiva, permitindo avaliar ambientes planetários com geoquímicas radicalmente distintas sob um critério funcional comum e comparável. Embora a interpretação quantitativa de funções como homeostasia ou aprendizagem permaneça um desafio metodológico, essa limitação não parece invalidar o poder explicativo da teoria, ficando no entanto dependente da necessidade de desenvolver a métrica e formulação matematicamente robusta e aplicável em contextos planetários reais. Desta forma, a Teoria do Aumento de Informação Funcional poderá afirmar-se como uma ferramenta estruturante para reinterpretar a origem da vida e a sua posterior consolidação e evolução, e para orientar a detecção de bioassinaturas num universo quimicamente diverso, estabelecendo uma ponte sólida entre geoquímica planetária, química pré-biótica e biologia.

Agradecimentos

A equipa agradece o financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) para o projeto ORIGINS (022.05284.PTDC), assim como para a bolsa de doutoramento de JO-B (2024.01442.BD). O Centro de Química Estrutural agradece o apoio financeiro da FCT através do projeto UID/100/2025. O Instituto de Ciências Moleculares reconhece o apoio financeiro da FCT através do projeto LA/P/0056/2020. Este artigo é enquadrado no Colégio Polar e de Ambientes Extremos (Polar2E) da Universidade de Lisboa. RC e AC agradecem à FCT através de fundos nacionais via contrato CEEC (2021.03267.CEECIND/CP1651/

CT0010) (DOI: 10.54499/2021.03267.CEECIND/CP1651/CT0010) e (CEECIND/00101/2021) (DOI: 10.54499/2021.00101.CEECIND/CP1669/CT0001), respetivamente. AC agradece também o apoio financeiro da FCT, através dos projetos UIDB/05634/2020 e UIDP/05634/2020. JCD agradece o financiamento da

FCT I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) – UID/PRR/50019/2025 (DOI: 10.54499/UID/PRR/50019/2025) e LA/P/0068/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0068/2020). JCD agradece ainda à FCT o contrato CEEC Institucional 2018 (DOI: 10.54499/CEECINST/00032/2018/CP1523CT0002).

Referências

- [1] J. G. C. Silva, *IJSR* **2022**, 11, 621–633. DOI: 10.21275/SR22412084104.
- [2] M. L. Wong, C. E. Cleland, D. Arend, Jr., S. Bartlett, H. J. Cleaves, II, H. Demarest, A. Prabhu, J. I. Lunine, R. M. Hazen, *PNAS* **2023**, 120, e2310223120. DOI: 10.1073/pnas.2310223120.
- [3] S. Bartlett, M. L. Wong, *Life* **2020**, 10, 42. DOI: 10.3390/life10040042.
- [4] A. Pross, V. Khodorkovsky, *J. Phys. Org. Chem.* **2004**, 17, 312–316. DOI: 10.1002/poc.729.
- [5] J. Natal, I. Ávila, V. B. Tsukahara, M. Pinheiro, C. D. Maciel, *Entropy* **2021**, 23, 1340. DOI: 10.3390/e23101340.
- [6] K. Michaelian, *Earth Syst. Dynam.* **2011**, 37, 37–51. DOI: 10.5194/esd-2-37-2011.
- [7] A. Pross, *Pure Appl. Chem.* **2005**, 77, 1905–1921. DOI: 10.1351/pac200577111905.
- [8] G. Pillot, O. Santiago, S. Kerzenmacher, P.-P. Liebgott, *Life* **2023**, 13, 356. DOI: 10.3390/life13020356.
- [9] A. Pross, R. Pascal, *Beilstein J. Org. Chem.* **2017**, 13, 665–674. DOI: 10.3762/bjoc.13.66.
- [10] A. Frank, *Chem. Biol.* **2004**, 8, 654–659. DOI: 10.1016/j.cbpa.2004.10.005.
- [11] W. Youlin, H. Yang, C. Geerts, A. Furtos, P. Waters, D. Cyr, S. Wang, G. A. Mitchell, *Mol. Genet. Metab.* **2023**, 138, 106966. DOI: 10.1016/j.ymgme.2022.106966.
- [12] J. Stewart, *Found Sci.* **2019**, 24, 171–195. DOI: 10.2174/157017912803901691.
- [13] D. Mark, P. M. G. Löffler, P.-A. Monnard, *Curr. Org. Synth.* **2012**, 9, 735–763. DOI: 10.2174/157017912803901691.
- [14] M. C.-García, S. V.-Barajas, A. Camprubí, F. O.-Gutiérrez, *Prebiotic Chemistry in Hydrothermal Vent Systems*, in V. M. Kolb (ed.), "Handbook of Astrobiology", CRC Press, **2019**, 297–329. DOI: 10.1201/b22230.
- [15] J. Korenaga, *Precambrian Res.* **2021**, 359, 106178. DOI: 10.1016/j.precamres.2021.106178.
- [16] W. F. Bottke, M. D. Norman, *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* **2017**, 45, 619–647. DOI: 10.1146/annurev-earth-063016-020131.
- [17] A. Joseph, "Terrestrial analogs & submarine hydrothermal vents – their roles in exploring ocean worlds, habitability, and life beyond earth", in *Water Worlds in the Solar System*, **2023**, 311–358. DOI: 10.1016/B978-0-323-95717-5.00012-8.
- [18] D. L. Matson, J. C. Castillo, J. Lunine, T. V. Johnson, *Icarus* **2007**, 187, 569–573. DOI: 10.1016/j.icarus.2006.10.016.
- [19] R. Pappalardo et al., *Space Sci. Rev.* **2024**, 40, 20. DOI: 10.1007/s11214-024-01070-5.
- [20] L. N. Fletcher et al., *Space Sci. Rev.* **2023**, 219, 53. DOI: 10.1007/s11214-023-00996-6.
- [21] Z. Martins, E. J. Bunce, O. Grasset, R. Hamp, G. H. Jones, A. Le Gall, A. Luchetti, F. Postberg, O. Prieto-Ballesteros, L. Roth, P. Tortora, A. Vorburger, *Expert Committee for the Large mission covering the science theme "Moons of the Giant Planets"*, in "Report of the Expert Committee for the Large-class mission in ESA's Voyage 2050 plan covering the science theme "Moons of the Giant Planets", Z. Martins (Chair). europeanspaceflight.com/wp-content/uploads/2024/04/ESA_L4_Expert_Committee_report_Voyage_2050_Moons_of_the_Giant_Planets.pdf (acedido em 15/04/2025).
- [22] J. W. Barnes et al., *Planet. Sci. J.* **2021**, 2, 130. DOI: 10.3847/PSJ/abfdcf.

>

Ana Colaço

Universidade dos Açores, Instituto de Investigação em Ciências do Mar – OKEANOS.

Licenciada em Biologia (Recursos Faunísticos e Ambiente) pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Investigadora Principal em Ciências do Mar no Centro de Investigação Okeanos, da Universidade dos Açores. Doutorada em Ecologia e Biosistemática pela Universidade de Lisboa. Atua nas áreas de Biologia Marinha e Ciências do Ambiente, com trabalhos reconhecidos no estudo de ecossistemas marinhos profundos, biodiversidade bentónica, conservação dos habitats marinhos e efeitos ambientais de atividades antropogénicas no mar profundo.

maria.aa.colaco@uac.pt

ORCID.org/0000-0002-6462-5670

>

*Carlos Ramos

Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Licenciado em Biologia, com especialização em Biologia Celular e Biotecnologia, pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, onde também concluiu um *minor* em Geologia. Forte dedicação à compreensão das interações entre processos biológicos e geológicos, com um olhar interdisciplinar sobre a origem da vida, ecossistemas marinhos e dinâmica planetária. Encontra-se a terminar o seu Mestrado em Ciências do Mar, tendo como tema "A vida como reflexo da geoquímica planetária". É autor do projeto de comunicação de ciência "Um Minutinho de Ciência".

fc53525@alunos.ciencias.ulisboa.pt

ORCID.org/0009-0002-9431-0458

>

Catarina Silva

IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores.

CIVISA – Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores.

Investigadora Pós-doutorada no Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, e no Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores. Doutorada em Geologia, com especialização em Vulcanologia pela Universidade dos Açores. Desenvolve investigação em vulcanologia e riscos geológicos, focando-se em monitorização e avaliação de emissões geotérmicas, termologia hidrotermal e análise dos riscos naturais nos Açores. Participa ativamente em iniciativas de vigilância sismovulcânica e monitorização geoquímica em ambientes vulcânicos.

catarina.pp.silva@azores.gov.pt

ORCID.org/0000-0002-1196-306X

>

Fátima Viveiros

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade dos Açores.

IVAR – Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos, Universidade dos Açores.

Professora Associada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade dos Açores. Doutorada pela Universidade dos Açores em Geologia, especialidade de Vulcanologia. Também nesta universidade obteve os graus de licenciada em Biologia/Geologia, via ensino, e de mestre em Vulcanologia e Riscos Geológicos. A sua área de especialidade é a geoquímica de gases, com particular

interesse no estudo de fumarolas hidrotermais e de zonas de emissão difusa de dióxido de carbono. Investigadora no Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos. Maria.FB.Viveiros@azores.gov.pt
ORCID.org/0000-0002-0442-7955

>

João C. Duarte

IDL – Instituto Dom Luiz (IDL), Universidade de Lisboa.

Departamento de Ciências da Terra e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.

Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, onde coordena o Doutoramento em Geologia. Doutorou-se em Geologia pela Universidade de Lisboa. Atualmente é Presidente da Divisão de Tectónica e Geologia Estrutural da *European Geosciences Union* (EGU) e é Membro Correspondente da Academia das Ciências de Lisboa. Desenvolve trabalho na área da tectónica, geodinâmica, geologia marinha, geologia planetária e sistema Terra. jdduarte@ciencias.ulisboa.pt
ORCID.org/0000-0001-7505-3690

>

João Canário

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Professor Associado com Agregação no Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Nova de Lisboa, com Agregação em Química pelo Instituto Superior Técnico. Investigação centrada na biogeoquímica do mercúrio no ambiente, metilação em sedimentos costeiros, e ecossistemas polares. Trabalha também com elementos traço e com ciclos de contaminação no Ártico e Antártida, e alterações nas regiões polares devido às mudanças climáticas. joao.canario@tecnico.ulisboa.pt
ORCID.org/0000-0002-5190-446X

>

José Orench-Benvenuti

Centro de Química Estrutural, IST,

ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Estudante de Doutoramento em Química no Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Desenvolve investigação em biogeoquímica de fontes hidrotermais, com ênfase em astrobiologia e estudo da origem da vida da Terra, e aplicabilidade à habitabilidade das luas geladas do sistema solar. Tem o Mestrado em Ciências Biológicas pela *Northern Illinois University*, e a Licenciatura em Microbiologia Industrial pela *University of Puerto Rico-Mayaguez*. Os seus interesses de investigação incluem microbiologia, geociências ambientais e geoquímica, com especial atenção à formação de protocélulas. orench.benvenuti@gmail.com
ORCID.org/0009-0007-8748-3971

>

Lara Brito de Gouveia

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Estudante de Mestrado em Engenharia Química no Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Obteve uma licenciatura em Engenharia Química no Instituto Superior Técnico. As suas áreas de interesse são a astrobiologia e a cosmoquímica. Atualmente desenvolve trabalho relacionado com as fontes hidrotermais, onde foca o estudo da origem da vida na Terra e habitabilidade das luas geladas no sistema solar. lara.gouveia@tecnico.ulisboa.pt
Ciência ID/DC1B-59C5-7EEF

>

Madalena Carvalho

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Licenciada em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Realizou o Mestrado em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. A sua tese de Mestrado incidiu sobre as espécies iónicas e metais traço em

fluidos de fontes hidrotermais, e quais as implicações para a origem da vida na Terra e em luas geladas.

madalenabcarvalho@tecnico.ulisboa.pt
Ciência ID/5515-A2DF-0BA7

>

Paulo Rodrigues

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Mestrado em Engenharia do Ambiente no Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Dissertação da tese de mestrado sobre o conteúdo mineral e elementos traço em fontes hidrotermais, com vista à compreensão das condições da origem da vida e sua analogia com ambientes extraterrestres. paulo.rodrigues@tecnico.ulisboa.pt
Ciência ID/9619-687D-4DD3

>

Rute Cesário

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Doutorada em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Investigadora na área de biogeoquímica do mercúrio em ambientes aquáticos. Professora Convidada no Instituto Superior Técnico, lecionando aulas laboratoriais ligadas à garantia de qualidade, análise de ambientes marinhos e bioquímica ambiental. rute.cesario@tecnico.ulisboa.pt
ORCID.org/0000-0003-1832-5391

>

Zita Martins

Centro de Química Estrutural, IST, ULisboa.

Instituto de Ciências Moleculares, IST, ULisboa.

Professora Associada com Agregação no Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Licenciatura em Química do Instituto Superior Técnico, e doutoramento em Química (Astrobiologia) pela Universidade de Leiden. Foi *Royal Society University Research Fellow* no *Imperial College London*, Professora Convidada na

Université Nice Sophia Antipolis e *Visiting Scientist* na *NASA Goddard*. Investigadora nas áreas de astrobiologia e cosmoquímica. Preside ao comité de especialistas “Luas dos Planetas Gigantes” da Agência Espacial Europeia (ESA). zita.martins@tecnico.ulisboa.pt
ORCID.org/0000-0002-5420-1081

Mecanoquímica na Europa: De Onde Vimos e Onde Estamos¹

>
 Clara S. B. Gomes
 Vânia André
 Juan José Sáenz de la Torre
 Leyre Flamarique
 Fernando Gomollon-Bel*
 Evelina Colacino*

Mechanochemistry in Europe: Where We Come From and Where We Are Now.

Mechanochemistry is several thousand years old, but it has been overlooked in favour of solution-based chemistry for a long time and its methods have only recently emerged as a key technology for advancing green and sustainable chemistry, offering a solvent-free (or low-solvent) alternative to traditional chemical processes. Successfully used in the metallurgical industry, mechanical alloying paved the way to the use of mechanochemistry in other industrial sectors (e.g., for waste treatment and soil decontamination), with potential applications also for preparing pharmaceuticals, transforming biomass, recycling and degrading polymers, to name a few. Overall, it seems to provide an interesting pathway to decarbonizing the chemical industry. Several initiatives have subsequently blossomed under the combined efforts of scientists belonging to the International Mechanochemical Association (IMA): the approval of the COST Action CA18112 MechSustInd and the consequent building of collaborative networks favoured the funding of the EU Horizon IMPACTIVE project, the establishment of the EuChemS Working Party on Mechanochemistry, the organization of the Round Robin project on mechanochemical transformations and the approval of the IUPAC project on terminology and symbolisms. All these initiatives are actively promoting mechanochemistry by addressing challenges in the field and fostering collaboration across academia and with industry. These initiatives place Europe at the forefront of mechanochemical innovation, pushing forward environmentally friendly chemical processes while fostering the development of standardised terminology and industrial applications.

A mecanoquímica existe há vários milhares de anos, mas foi negligenciada em favor da química baseada em reações em solução durante muito tempo. Só recentemente a mecanoquímica surgiu como uma tecnologia fundamental para o avanço da química verde e sustentável, oferecendo uma alternativa sem solventes (ou com baixo teor de solventes) aos processos químicos tradicionais. A liga mecânica, utilizada com sucesso na indústria metalúrgica, abriu caminho para a aplicação da mecanoquímica noutros setores industriais, por exemplo, no tratamento de resíduos e na descontaminação do solo, bem como na preparação de produtos farmacêuticos, na transformação de biomassa, na reciclagem e na degradação de polímeros, entre outras aplicações. Em suma, surge como um caminho promissor para a descarbonização da indústria química. Várias iniciativas floresceram posteriormente graças aos esforços combinados de cientistas pertencentes à Associação Internacional de Mecanoquímica (IMA): a aprovação da ação COST CA18112 "MechSustInd" e a consequente criação de redes colaborativas possibilitaram o financiamento do projeto "IMPACTIVE" no âmbito do programa Horizonte Europeu, o estabelecimento de um grupo de trabalho EuChemS sobre Mecanoquímica, a organização do projeto "Round Robin" sobre transformações mecanoquímicas e a aprovação do projeto IUPAC sobre terminologia e simbolismos associados à mecanoquímica. Todas estas iniciativas promovem ativamente a mecanoquímica, abordando os seus desafios e fomentando a colaboração entre o meio académico e a indústria. Estas ações colocam, assim, a Europa na vanguarda da inovação mecanoquímica, enquanto impulsionam processos químicos amigos do ambiente e promovem o desenvolvimento de terminologia normalizada e aplicações industriais.

A mecanoquímica é a ciência que estuda a formação e a quebra de ligações através da "absorção direta de energia mecânica" [1], na qual as transformações são impulsionadas por forças mecânicas aplicadas

por impacto, cisalhamento, compressão ou tensão. A utilização de forças mecânicas para promover uma transformação química é descrita numa passagem da obra "De Lapidibus" (Sobre as Pedras), de

Teofrasto de Eresus (século IV a.C.), o mais antigo testemunho escrito sobre ciências químicas até à data. De facto, a obtenção de mercúrio metálico é descrita através da fricção e moagem do seu mineral, o cinábrio, num almofariz de cobre com um pilão do mesmo material [2,3].

Embora, ao longo do tempo, a química baseada em processos de solução se tenha tornado o padrão industrial, nas últimas décadas, o número de publicações sobre mecanoquímica aumentou consideravelmente, com aplicações em várias áreas (Figura 1). O nível de maturidade tecnológica das várias aplicações é diferente, consoante o setor industrial no qual os processos mecanoquímicos são aplicados [4]. De acordo com os Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL) [5], o nível mais alto (TRL 9) é referente a aplicações no domínio da energia e dos materiais duros (por exemplo, metalurgia e gestão de resíduos, entre outros), sendo a mecanoquímica um processo de fabrico competitivo nesses setores.

Num contexto global de procura crescente de condições de reação sustentáveis e de processos mais limpos, a mecanoquímica foi identificada em 2019 pela IUPAC como uma das “tecnologias emergentes para tornar o nosso planeta mais sustentável” [6] e, em 2021, como uma ferramenta poderosa para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (UN ODS) [7] e os objetivos do *European Green Deal* [8]. Além disso, está alinhada com os 12 princípios da Química Verde e da Engenharia Verde, categorizados com base na sua relevância para a ampliação dos processos mecanoquímicos [9]. A mecanoquímica representa uma abordagem inovadora [10–12] capaz de promover a transição verde e a sustentabilidade, com potencial para descarbonizar e reduzir os impactos ambientais da indústria química [10,12].

Em toda a Europa, existem muitas iniciativas que contribuíram para destacar o potencial da mecanoquímica. Estas iniciativas partiram do Programa da UE *COST Action CA18112 “Mecanoquímica para uma Indústria Sustentável (MechSustInd)”* e cada uma delas aborda diferentes aspetos. Algumas das iniciativas, como o projeto *Horizon Europe IMPACTIVE*, estão a impulsionar a implementação desta tecnologia em contextos industriais específicos, como o farmacêutico [13]. O grupo de trabalho da IUPAC sobre “Terminologia e símbolos para a mecanoquímica” e a Rede Profissional (PN) da EuChemS sobre mecanoquímica são transversais aos setores público e privado. O projeto *Round Robin*, por sua vez, aborda questões específicas da investigação fundamental.

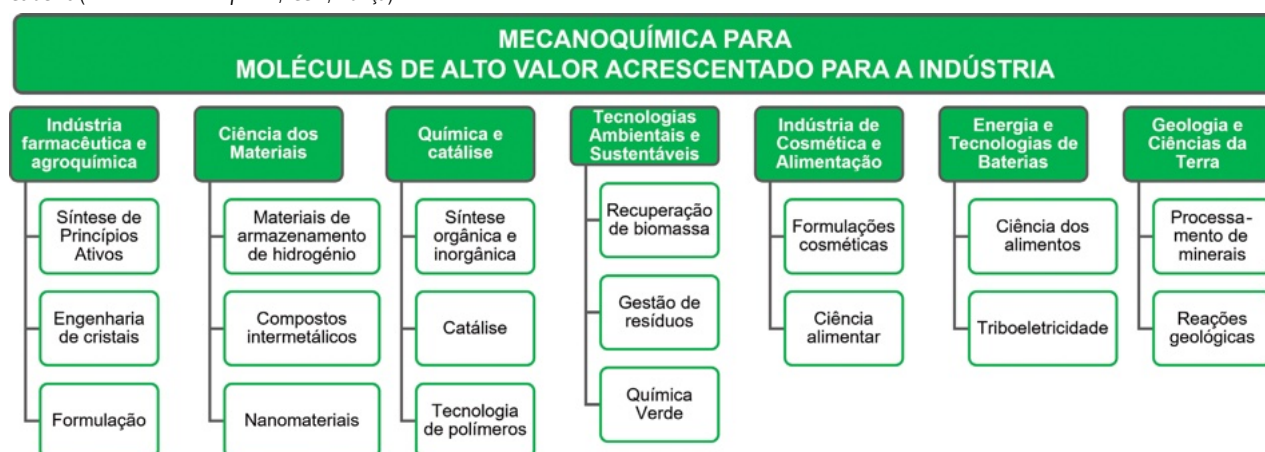
Estas iniciativas criam condições para a interação de diferentes áreas de investigação, também com o objetivo de criar normas e diretrizes científicas geralmente reconhecidas para a área. Em conjunto, estas iniciativas, todas elas envolvendo membros da IMA (Associação Internacional de Mecanoquímica) e, portanto, da academia, colocam a Europa numa posição única para inovar em mecanoquímica, promovendo uma forma mais verde e sustentável de fazer química, contribuindo para a mudança de mentalidade, permitindo “pensar a química de forma diferente” [14].

Nos próximos parágrafos, será descrita, por ordem cronológica, a importância fundamental dada à IMA e às diferentes iniciativas europeias relacionadas com a mecanoquímica.

Associação Internacional de Mecanoquímica

A Associação Internacional de Mecanoquímica (IMA) foi o primeiro organismo internacional criado em torno da mecanoquímica. A associação foi fundada em 1988 em Tatranská Lomnica (atual Eslováquia), com representantes do Japão, da antiga URSS e da antiga Checoslováquia. Atualmente, a associação

Figura 1 – Aplicação do processo mecanoquímico. Adaptado do original. Créditos da figura: Evelina Colacino (Université de Montpellier, ICGM, França).



conta com 120 membros distribuídos por 31 países em quatro continentes. Ao longo dos anos, a IMA estabeleceu laços geográficos e científicos, reunindo a experiência de cientistas pioneiros na área e promovendo uma compreensão profunda do processo mecanoquímico aplicado a materiais duros e ligas. Isso traduziu-se em inúmeras colaborações e iniciativas, abrindo caminho para o crescimento da área e levando à implementação de métodos mecanoquímicos noutras áreas da química e da engenharia de processos.

Outro pilar importante da IMA é o seu foco em jovens cientistas, para os ensinar e formar em metodologias mecanoquímicas. A sua iniciativa mais emblemática é a INCOME, a Conferência Internacional sobre Mecanoquímica e Ligas Mecânicas, que ocorre de três em três anos. A primeira edição da INCOME teve lugar em Kosice (Eslováquia) em 1993. Desde então, já se realizaram mais de 10 edições da conferência, que tem vindo a crescer em número e impacto ao longo dos anos. A 11.ª Conferência INCOME teve lugar em Berlim-Adlershof (Alemanha) em 2025, reunindo centenas de investigadores em mecanoquímica de todo o mundo.

Mais informações sobre a IMA estão disponíveis em imamechanochemical.com.

MechSustInd: Uma Ação COST com foco em Mecanoquímica

As várias vertentes da mecanoquímica convergiram mais recentemente num Programa Europeu: a Ação COST CA18112 “Mecanoquímica para uma Indústria Sustentável” (*MechSustInd*), que esteve ativa entre 2019 e 2023 [15-18]. Mesmo após o seu término, os resultados fundamentais, as abordagens inovadoras e os conceitos que emergiram desta Ação COST CA18112 continuam a expandir-se e a prosperar para além da sua duração, inspirando iniciativas semelhantes em todo o mundo.

Ao promover a Cooperação Europeia através da Ciência e da Tecnologia, a Ação dedicou-se a estabelecer processos escaláveis, a harmonizar nomenclaturas e diretrizes, a padronizar terminologia e protocolos (de modo a responder às necessidades da indústria), facilitando a partilha de conhecimentos, capacitando investigadores e cientistas emergentes com as competências necessárias para incorporar práticas sustentáveis por meio da ativação mecânica nas atividades diárias de investigação e promover a cooperação entre parceiros industriais e investigadores académicos. Esta ação fomentou a consciencialização sobre as vantagens da integração da mecanoquímica em processos químicos, tanto na fase de I&D como na fase de produção.

Através das várias iniciativas científicas e de

networking organizadas ao longo da sua existência, a Ação harmonizou a investigação fundamental e aplicada com a inovação tecnológica e as necessidades industriais em mecanoquímica, alcançando os objetivos a longo prazo relacionados com o desenvolvimento da economia verde para a produção sustentável de produtos químicos finos e moléculas farmacêuticas relevantes, entre outras [16].

A Ação COST *MechSustInd* conseguiu estabelecer a formação de uma rede multidisciplinar (que ultrapassa as fronteiras europeias) de cientistas, engenheiros, empresários e investidores com conhecimento especializado em diferentes áreas da mecanoquímica. Os membros estavam distribuídos por três grupos de trabalho (WG) diferentes [17], abordando sínteses mecanoquímicas em escala de laboratório (WG1) e em escala piloto (WG3) por meio de avaliação de tecnologia, assim como no estudo dos fenómenos mecanísticos por trás das reações estudadas nos outros grupos de trabalho (WG2). Foram efetuadas avaliações quantitativas quanto às vantagens da mecanoquímica em relação aos métodos tradicionais de solução existentes.

Através da utilização de métricas de química verde, assim como de estudos e métodos sem precedentes para a avaliação do ciclo de vida (LCA) e análises técnico-económicas (TEA) aplicadas a um “caso de estudo” para a síntese mecanoquímica de um medicamento essencial da Organização Mundial da Saúde (OMS) [18], a Ação COST tinha a ambição específica de aproximar a mecanoquímica da indústria.

A iniciativa contou com 150 membros, cientistas ativos nos setores público e privado e a operar em 46 países participantes (38 na Europa), mas também além das fronteiras geográficas da Europa, incluindo entre os seus membros cientistas sediados no Canadá, China, Japão, México, Rússia, Singapura, África do Sul, Coreia do Sul e EUA (Figura 2).

Apesar das perturbações causadas pela pandemia mundial de COVID-19, a Ação COST *MechSustInd* alcançou um elevado nível de sucesso na promoção



Figura 2 – Distribuição geográfica dos membros da CA18112, além das fronteiras europeias. Créditos da figura: Evelina Colacino (*Université de Montpellier, ICGM, França*).

da integração da mecanoquímica em atividades educativas e em currículos acadêmicos, respondendo às necessidades da UE de “novas competências” para “novas profissões” no domínio da química verde para as novas gerações de cientistas.

Este resultado, sem precedentes para a área, materializou-se através da organização de cinco escolas de formação internacionais por toda a Europa, com oradores do meio académico e da indústria, através da integração de conhecimentos complementares de diversas áreas e abrangendo tópicos-chave, tais como: i) mecanossíntese orgânica e cinética (em Itália); ii) aumento de escala das reações mecanoquímicas (na Alemanha); iii) análises *ex situ* e *in situ* de reações mecanoquímicas (na Croácia e transmitida *online* a partir de Malta); e iv) caracterização estrutural de compostos supramoleculares e covalentes (realizada *online* a partir de Portugal).

A introdução da mecanoquímica no ensino teve um alcance notável a nível internacional, para além das fronteiras geográficas europeias. De facto, a Ação COST *MechSustInd* estabeleceu uma ponte entre a mecanoquímica e o ensino da química verde ao: i) criar uma parceria estratégica com associações internacionalmente reconhecidas (por exemplo, *Beyond Benign*, EUA) [19] que promovem o ensino da química verde e da sustentabilidade; ii) publicar o primeiro artigo educativo sobre mecanoquímica [20] e iii) lançar dois livros educativos sobre o mesmo tema [21,22].

A pandemia de COVID-19 foi transformada numa oportunidade: desde 2020 e durante todo o período de confinamento, decorreram 31 *webinars* envolvendo 53 oradores da Europa e de todo o mundo, no âmbito da série quinzenal de *webinars* “Get Together during COVID”. Esta abordagem única permitiu a troca de conhecimentos especializados, manteve e reforçou as ligações entre os membros e promoveu os objetivos de construção da comunidade.

Foram estabelecidas ligações e parcerias estratégicas com os órgãos de decisão das sociedades químicas nacionais e europeias, bem como com associações químicas em toda a Europa. Destacam-se as seguintes parcerias estabelecidas com: i) outras ações COST (por exemplo, CA18224 *Greenering* e CA19122 *EUGAIN*); ii) a IMA com vista a promover a interação entre cientistas pioneiros no campo da mecanoquímica e os recém-chegados que implementam a mecanoquímica em áreas ainda não exploradas; iii) os principais intervenientes e agências para a padronização; e iv) a Rede Profissional da EuChemS para Jovens Químicos (EYCN) [23].

A *MechSustInd*, em colaboração com a EYCN, foi responsável pela implementação da primeira edição de um prémio internacional destinado a

um jovem cientista emergente no domínio da mecanoquímica, reconhecendo a excelência por intermédio de concurso.

Os conceitos inovadores, orientações científicas impactantes (comprovadas por mais de 100 indicadores de investigação, comunicados de imprensa, editoriais, edições especiais, etc.) e atividades bem-sucedidas que resultaram da Ação COST CA18112 continuam a florescer após o seu ciclo de vida ter terminado, inclusive além das fronteiras geográficas europeias. Seria irrealista resumir tudo isto em poucas linhas. Apenas algumas destas conquistas foram aqui descritas, como contributo para o desenvolvimento futuro do campo da mecanoquímica.

Num estudo recente sobre a avaliação do impacto das Ações COST [24], a CA18112 foi destacada como um “caso de estudo” para a inovação, com base em critérios que avaliam a sua estrutura e execução, bem como a variedade de resultados criativos a que deu origem, incluindo modelos de negócio, novos produtos (tais como patentes) e formatos educativos. Ao mesmo tempo, a CA18112 melhorou a comunicação com os decisores políticos, as principais partes interessadas e o público. Isto é particularmente gratificante, tendo em conta a perturbação causada pela pandemia da COVID-19, que teve um forte impacto na implementação de atividades para as quais o trabalho em rede e as atividades experimentais eram necessidades incontornáveis.

Mais informações podem ser encontradas em mechsustind.eu.

IMPACTIVE: um projeto Horizonte Europa dedicado à mecanoquímica na indústria farmacêutica

O projeto *IMPACTIVE* (*Innovative Mechanochemical Processes to synthesize green ACTIVE pharmaceutical Ingredients* - Processos Mecanoquímicos Inovadores para Sintetizar Ingredientes Farmacêuticos Ativos Sustentáveis), financiado pelo programa Horizonte Europa, centra-se na aplicação de métodos e processos mecanoquímicos para o fabrico de princípios farmacêuticos ativos (APIs) [13]. O seu objetivo é demonstrar, numa pequena escala piloto, a viabilidade da utilização da mecanoquímica em lote e/ou fluxo contínuo para produzir seis APIs a partir de quatro famílias diferentes de compostos (Figura 3). O projeto, com a duração de quatro anos, teve início em outubro de 2022 e conta com a participação de 17 parceiros de 11 países europeus. Inclui universidades e instituições de investigação, Pequenas e Médias Empresas (PME) e dois importantes intervenientes da indústria farmacêutica, nomeadamente a Novartis e a Merck. Os membros do consórcio são especialistas com experiências diversificadas nas áreas da investigação,

desenvolvimento, fabrico e exploração.

Os obstáculos à aplicação da mecanoquímica na produção de APIs nem sempre são de natureza técnica. A mecanoquímica continua a ser pouco conhecida entre os gestores de I&D das áreas da química e da engenharia [25], o que atrasa a sua adoção para fins comerciais. As vantagens e desvantagens da mecanoquímica industrial, também em termos de finanças sustentáveis, foram anteriormente destacadas [9]. No entanto, a mecanoquímica apresenta três vantagens principais que vale a pena explorar:

1. Num processo químico, os solventes podem representar até 90% da massa dos reagentes [26], e a maioria dos solventes utilizados em reações químicas e processos de fabrico está longe de ser sustentável [27,28]. Deste modo, a eliminação total dos solventes ou a sua utilização em quantidade mínima (como nos processos de moagem assistida por líquido, LAG) [29] leva a sínteses mais sustentáveis [30], com uma química verde mais eficiente e métricas ambientais mais favoráveis [31]. No que se refere à produção de APIs, as vantagens são bastante significativas. Para um “caso de estudo”, seria possível reduzir indicadores como a ecotoxicidade e as emissões de CO₂ em 85% [19,32];

2. Ao trabalhar em escala industrial, o aquecimento e o arrefecimento das massas não são uma questão trivial, envolvendo custos adicionais [33]. Como os métodos de mecanoquímica operam em temperaturas mais baixas, é possível reduzir os custos operacionais para a produção de API. Num “caso de estudo”, os custos de produção foram reduzidos em 12% [21];

3. Conforme relatado tanto na comunicação social [34] como pela Comissão Europeia [35], as cadeias de

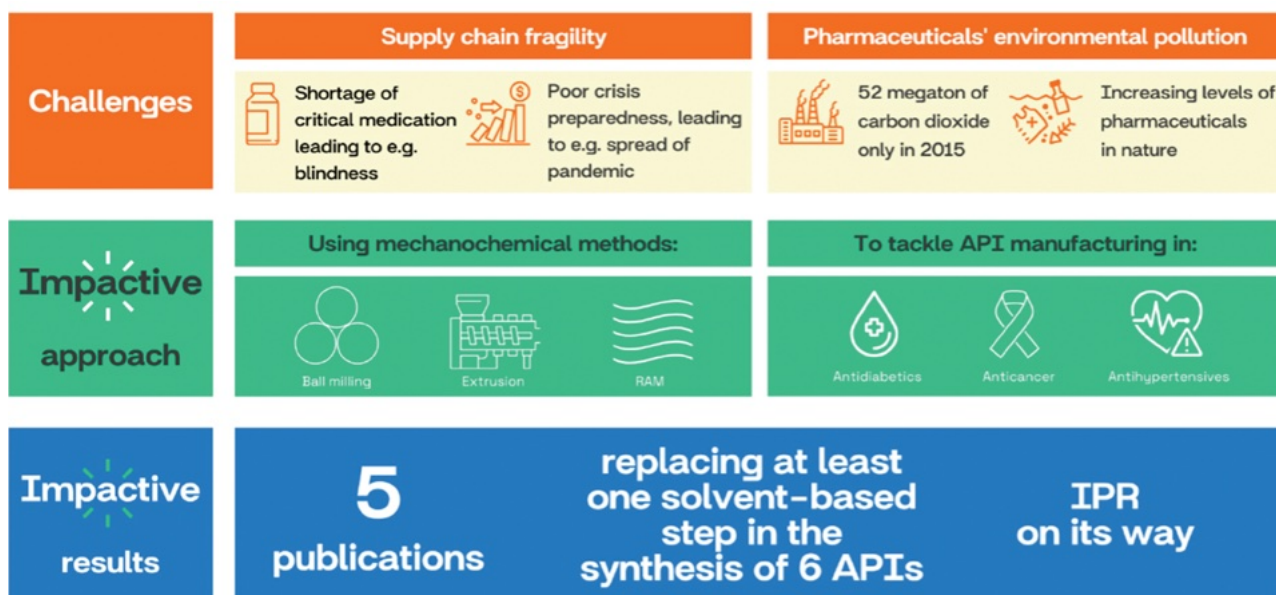
abastecimento estão sujeitas a interrupções e escassez. As regulamentações rigorosas adotadas para atingir os objetivos do *EU Green Deal* levaram os fabricantes de API a transferir a produção para outros locais, tornando a indústria farmacêutica da UE dependente das cadeias de abastecimento estrangeiras. Ao criar processos mais sustentáveis e seguros para as indústrias química e farmacêutica, a mecanoquímica pode ajudar a trazer de volta a produção para a UE (Figura 3), cumprindo as mais elevadas normas ambientais aplicadas na Europa, com o devido reconhecimento desta tecnologia sustentável [20] pelas autoridades sanitárias, reguladores e decisores políticos.

Mais informações sobre o *IMPACTIVE* podem ser encontradas em mechanochemistry.eu.

Projeto *Round Robin* em mecanoquímica

O projeto *Round Robin*, que envolve 32 participantes de 15 instituições de investigação, foi iniciado oficialmente em 2024. A maioria dos laboratórios envolvidos é europeia e vários investigadores principais participaram também na Ação COST CA18112. O projeto representa os esforços conjuntos de investigadores em torno do estudo da reprodutibilidade e da padronização das reações mecanoquímicas, procurando as variáveis que permitem controlá-las. O objetivo é demonstrar que a mecanoquímica é reprodutível, desde que se considerem estados estacionários, independentemente do equipamento utilizado ou do investigador responsável pela execução do trabalho experimental. O projeto centra-se na investigação de três reações químicas, uma formação de cocristais e uma transformação polimórfica, distribuídas pelos diferentes grupos de investigação, com vista a testar a validade dos protocolos e a verificar algumas hipóteses básicas de trabalho.

Figura 3 – Resumo e objetivos do projeto *IMPACTIVE*. Créditos da figura: *Agata Communication Agency* (Santander, Espanha).



Grupo de trabalho da IUPAC sobre terminologia e simbolismo para a mecanoquímica

Em 2019, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) identificou os processos mecanoquímicos de fluxo contínuo entre as dez tecnologias emergentes para tornar o planeta mais sustentável [6].

Embora a mecanoquímica tenha raízes históricas profundas [2,3], carece de terminologia detalhada e padronizada: triboquímica, liga mecânica, mecanoquímica... Todos estes nomes se referem à aplicação de força mecanoquímica para induzir reações químicas. O termo escolhido para este artigo (mecanoquímica) é, por si só, pouco definido no “Compêndio de Terminologia Química” da IUPAC [1], que descreve uma reação mecanoquímica como uma reação “induzida pela absorção direta de energia mecânica”.

A existência de diversos materiais, equipamentos, métodos e práticas nos processos mecanoquímicos torna essencial a criação de definições harmonizadas, que sirvam para preencher a falta de padronização e esclarecer a terminologia e simbologia usadas na mecanoquímica. Uma iniciativa diretamente decorrente das atividades da Ação COST CA18112, que contribuiu para preencher essa lacuna e para dar um passo no sentido do crescente reconhecimento da área, ocorreu em 2024, com a IUPAC a apoiar a criação de um Grupo de Trabalho sobre “Terminologia e Simbolismo para Mecanoquímica” [36]. O projeto visa estabelecer uniformidade na terminologia e nas classificações utilizadas em mecanoquímica, propondo simbolismo e terminologia padronizados para facilitar a comunicação dentro da comunidade mecanoquímica e promover a adoção da mecanoquímica, não apenas no meio acadêmico, mas também em atividades de I&D e produção industrial. O objetivo a médio prazo é fornecer diretrizes objetivas que encontrem o consenso da comunidade internacional, para avançar no campo, ao mesmo tempo em que aumenta a sua visibilidade e credibilidade perante as diferentes partes interessadas.

Mais informações sobre o Projeto da IUPAC sobre Terminologia e Simbolismo para Mecanoquímica podem ser encontradas em iupac.org/project/2023-034-2-100.

“Grupo de Trabalho sobre Mecanoquímica” pela Sociedade Europeia de Química (EuChemS)

O dia 12 de outubro de 2023 ficará para sempre recordado como um marco para a mecanoquímica na Europa e como uma iniciativa sem precedentes a nível global: a criação do “Grupo de Trabalho sobre Mecanoquímica” pela Sociedade Europeia de Química (EuChemS) que teve lugar em Larnaca

(Chipre). Esta rede profissional (PN) representa uma nova implementação da Ação COST CA18112 “Mecanoquímica para uma Indústria Sustentável” e foi criada com base na forte vontade dos seus antigos membros. Embora tenha sido oficialmente iniciada apenas em 2024, conta já com 36 membros delegados por 25 Sociedades Químicas Nacionais de toda a Europa, geograficamente distribuídos. Os seus membros possuem conhecimentos especializados diversificados em vários campos de aplicação da mecanoquímica. O número de membros continua a crescer, refletindo o interesse crescente nesta abordagem inovadora para “pensar a química de forma diferente” [14].

O principal objetivo da recém-criada PN em mecanoquímica no âmbito da EuChemS é servir como um ecossistema para a ciência e a inovação, a fim de aumentar a visibilidade e a integração do campo na comunidade científica europeia e além.

Entre os seus objetivos (Figura 4), o Grupo de Trabalho em Mecanoquímica visa:

i) estabelecer-se como a principal plataforma de discussão e troca de conhecimentos, promovendo a compreensão e a importância da mecanoquímica e dos seus princípios. Isto permitirá a redução dos impactos adversos da produção tradicional de produtos químicos e energia, através da transição para tecnologias mais sustentáveis, contribuindo para a consecução dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas;

ii) defender a ampla adoção da mecanoquímica na química fundamental e aplicada, bem como em campos interdisciplinares relacionados, integrando-a em instituições académicas e de investigação, indústria, práticas profissionais e programas educativos;

iii) incentivar e ajudar as Sociedades Nacionais de Química a defender a importância, o papel e o avanço da mecanoquímica nos seus respetivos países;

iv) fortalecer o papel e a credibilidade da mecanoquímica nas ciências químicas, envolvendo o público em geral e os decisores políticos através das redes sociais, boletins informativos e da organização de conferências e *workshops* acessíveis à sociedade e às principais partes interessadas;

v) promover a colaboração e o *networking* entre grupos nacionais e divisões das sociedades membros da EuChemS envolvidas na química e outras áreas, bem como com organizações europeias e internacionais relevantes;

vi) reconhecer a excelência por meio de competições e prémios.

Esta lista não é exaustiva e mais informações serão atualizadas regularmente através da sua página oficial na internet [37].



Figura 4 – “Grupo de Trabalho sobre Mecanoquímica” pela Sociedade Europeia de Química (EuChemS): objetivos e tarefas. Legenda: MC – mecanoquímica. PN – Rede Profissional. Créditos da figura: Zara Cherkezova-Zheleva (Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia).

Conclusões

Em conclusão, estes seis marcos representam apenas uma seleção das inúmeras iniciativas globais em mecanoquímica, criando uma cultura vibrante dentro da área. As muitas iniciativas incluem desde conferências, palestras, séries de *webinars*, bolsas internacionais e aplicações industriais específicas. A mecanoquímica é um campo em crescimento, com potencial para se tornar uma ferramenta essencial na descarbonização dos processos químicos. Ela oferece alternativas que evitam ou diminuem o uso de solventes prejudiciais, entre outros benefícios. Este objetivo será possível graças ao trabalho coletivo de

milhares de cientistas e partes interessadas envolvidas no avanço da mecanoquímica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao presidente da Associação Internacional de Mecanoquímica (IMA), Prof. Vladimir Šepelák (Instituto de Tecnologia de Karlsruhe, Alemanha), pelo tempo e pela disponibilidade em fornecer informações valiosas para a escrita deste artigo. As autoras responsáveis pela tradução (V. A. e C. S. B. G.) agradecem o financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) pelos projetos do CQE UID/00100/2025 (DOI: 10.54499/UID/00100/2025); UID/PRR/00100/2025 (DOI: 10.54499/UID/PRR/00100/2025), IMS LA/P/0056/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0056/2020), LAQV UID/50006/2023 e LA/P/0008/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0008/2020). V. A. e C. S. B. G. agradecem ainda ao programa *Scientific Employment Stimulus - FCT-Tenure* pelo financiamento, assim como ao Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) n.º 02/C06i06/2024 (contratos 2023.15700.TENURE.042 e 2023.11076.TENURE.117).

Nota

Este conteúdo é uma iniciativa da Rede Profissional da Sociedade Europeia de Química (PN) em Mecanoquímica. O conteúdo é uma tradução para português do artigo original (carta aberta) por: J. J. Sáenz de la Torre, L. Flamarique, F. Gomollon-Bel e E. Colacino, “Mechanochemistry in Europe: where we come from and where we are now” [version 1; peer review: 3, approved] *ORE* **2025**, 5, 73. DOI: 10.12688/openreseurope.19848.1. A tradução para português foi realizada por Clara S. B. Gomes e Vânia André, delegadas e membros representantes da Sociedade Portuguesa de Química na PN em Mecanoquímica.

Referências

- [1] V. Gold, A. McNaught, “The IUPAC compendium of chemical terminology. The Gold Book (ed.)”. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), **2025**. goldbook.iupac.org. (acedido em 02/03/2025).
- [2] L. Takacs, *JOM* **2000**, 52, 12–13. DOI: 10.1007/s11837-000-0106-0.
- [3] L. Takacs, *Chem. Soc. Rev.* **2013**, 42, 7649–7659. DOI: 10.1039/c2cs35442j.
- [4] P. Sharma, C. Vetter, E. Ponnusamy, E. Colacino, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2022**, 10, 5110–5116. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c07981.
- [5] Para conhecer as definições atuais dos TRL (Níveis de Maturidade Tecnológica) adotadas pela União Europeia, visite: *Horizon Europe Work Programme 2023–2025 Anexos. wp-13-general-annexes_horizon-2023-2024_en.pdf* (acedido em 02/03/2025).
- [6] F. Gomollón-Bel, *Chem. Int.* **2019**, 41, 12–17. DOI: 10.1515/ci-2019-0203.
- [7] Para consultar o artigo fundamental que estabelece a ligação entre a mecanoquímica e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, consulte a referência [9].
- [8] Para a primeira referência na literatura que estabelece a ligação entre a mecanoquímica e os objetivos do Pacto Ecológico Europeu, consulte: D. Virieux, F. Delogu, A. Porcheddu, F. García, E. Colacino, *J. Org. Chem.* **2021**, 86, 13885–13894. DOI: 10.1021/acs.joc.1c01323.
- [9] E. Colacino, V. Isoni, D. Crawford, F. García, *Trends Chem.* **2021**, 3, 335–339. DOI: 10.1016/j.trechm.2021.02.008.
- [10] F. Gomollón-Bel, *ACS Cent. Sci.* **2022**, 8, 1474–1476. DOI: 10.1021/acscentsci.2c01273.
- [11] F. Gomollón-Bel, *Chem. Eng. News* **2022**, 100, 21–22. cen.acs.org/synthesis/Mechanochemists-want-shake-industrial-chemistry/100/i28.
- [12] F. Gomollón-Bel, J. García-Martínez, *Nat. Chem.* **2022**, 14, 113–114. DOI: 10.1038/s41557-021-00887-9.
- [13] “European Commission: Innovative mechanochemical processes to synthesize green ACTIVE pharmaceutical ingredients. IMPACTIVE Project – Fact Sheet – HORIZON.” CORDIS, Comissão Europeia (acedido em 01/10/2022). DOI: 10.3030/101057286.
- [14] M. Lanzillotto, L. Konner, F. Lamaty, J. Martinez, E. Colacino, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2015**, 3, 2882–2889. DOI: 10.1021/acssuschemeng.5b00819.
- [15] COST Programme: Action CA18112. (acedido em 02/03/2025). cost.eu/actions/CA18112.
- [16] Para mais informação sobre a Ação COST CA18112 “Mechanochemistry for Sustainable Industry” (MechSustInd). mechsustind.eu (acedido em 02/03/2025).

- [17] M. Baláž, L. Vella-Zarb, J. Hernández, *et al.*, *Chem Today* **2019**, 37, 32–34.
- [18] J. G. Hernández, I. Halasz, D. E. Crawford, M. Krupička, M. Baláž, V. André, L. Vella-Zarb, A. Niidu, F. García, L. Maini, E. Colacino, *Eur. J. Org. Chem.* **2020**, 8–9. DOI: 10.1002/ejoc.201901718.
- [19] X. Lim, *Chem. Eng. News* **2020**, 98. cen.acs.org/pharmaceuticals/process-chemistry/interlocking-screws-crank-pharmaceuticals/98/i38 (accedido em 30/09/2020).
- [20] COST Programme: Memorandum of Understanding (MoU) for the implementation of the COST Action “Mechanochemistry for Sustainable Industry” (MechSustInd) CA18112. mechsustind.eu/images/mechsustind/documents/MoU_CA18112.pdf.
- [21] O. Galant, G. Cerfeda, A. S. McCalmont, S. L. James, A. Porcheddu, F. Delogu, D. E. Crawford, E. Colacino, S. Spataro, *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2022**, 10, 1430–1439. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c06434.
- [22] Para mais informações: Sobre as parcerias – Beyond Benign. beyondbenign.org/about-partnerships (accedido em 02/03/2025).
- [23] E. Colacino, G. Dayaker, A. Morère, T. Friščić, *J. Chem. Educ.* **2019**, 96, 766–771. DOI: 10.1021/acs.jchemed.8b00459.
- [24] “Mechanochemistry – A practical introduction from soft to hard materials”, E. Colacino, G. Ennas, I. Halasz, A. Porcheddu, A. Scano (eds.), De Gruyter, **2021**. DOI: 10.1515/9783110608335.
- [25] “Mechanochemistry and emerging technologies for sustainable chemical manufacturing”, E. Colacino, F. Garcia (eds). CRC Press, **2023**.
- [26] EuChemS: European young chemists’ network. euchems.eu/divisions/european-young-chemists-network (accedido em 02/03/2025).
- [27] J. Biela, M. Stalla, L. Rabe, D. Machado, G. Evers, S. Ansems, “Impact assessment study on innovation in COST actions”, **2024**. cost.eu/uploads/2025/01/COST-Impact-Assessment-Innovation-112024.pdf (accedido em 02/03/2025).
- [28] J. De Merlier, “Is mechanochemistry set to disrupt chemical manufacturing?” The Venturi Tribe, 23/02/2023. venturi-tribe.com/is-mechanochemistry-set-to-disrupt-chemical-manufacturing (accedido em 02/03/2025).
- [29] C. Sansom, *Chem. World* **2018**. chemistryworld.com/features/solvents-and-sustainability/3008751.article.
- [30] C. J. Clarke, W. C. Tu, O. Levers, A. Bröhl, J. Hallett, *Chem. Rev.* **2018**, 118, 747–800. DOI: 10.1021/acs.chemrev.7b00571.
- [31] J. Krenz, N. Simcox, J. S. Tepe, C. D. Simpson, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2016**, 4, 4021–4028. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b00926.
- [32] T. Friščić, S. L. Childs, S. A. A. Rizvi, W. Jones, *Cryst. Eng. Comm.* **2009**, 11, 418–426. DOI: 10.1039/b815174a.
- [33] “Ball milling towards green synthesis: applications, projects, challenges”. B. Ranu, A. Stolle (eds.), *Royal Society of Chemistry*, **2014**. DOI: 10.1039/9781782621980.
- [34] N. Fantozzi, J. N. Volle, A. Porcheddu, D. Virieux, F. García, E. Colacino, *Chem. Soc. Rev.* **2023**, 52, 6680–6714. DOI: 10.1039/d2cs00997h.
- [35] D. E. Crawford, A. Porcheddu, A. S. McCalmont, F. Delogu, S. L. James, E. Colacino, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **2020**, 8, 12230–12238. DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c03816.
- [36] J. H. Clark, A. Hunt, C. Topi, G. Paggiola, J. Sherwood, “Sustainable solvents: perspectives from research, business and international policy”, *Royal Society of Chemistry*, **2017**. DOI: 10.1039/9781782624035.
- [37] R. Mullin, “COVID-19 is reshaping the pharmaceutical supply chain”, *Chem. Eng. News* **2020**, 98(16). cen.acs.org/business/outourcing/COVID-19-reshaping-pharmaceutical-supply/98/i16 (accedido em 02/03/2025).
- [38] “European Commission: First in-depth review of strategic areas of Europe’s interests”, **2021**. commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_en (accedido em 02/03/2025).
- [39] “Terminology and symbolism for mechanochemistry”, *Chem Int.* **2024**, 46, 34. DOI: 10.1515/ci-2024-0220.
- [40] euchems.eu/divisions/working-party-on-mechanochemistry.

>

Clara S. B. Gomes

LAQV-REQUIMTE, NOVA FCT, Universidade NOVA de Lisboa.

É investigadora auxiliar no Laboratório Associado para a Química Verde da NOVA FCT e especialista em química de coordenação e organometálica, bem como em difração de raios-X. A sua investigação centra-se na síntese de compostos de coordenação e organometálicos, privilegiando metodologias sustentáveis de química verde, como a mecanoquímica. Desenvolve também investigação nas áreas da química supramolecular, da (foto)catálise e da energia.

clara.gomes@fct.unl.pt

ORCID.org/0000-0003-3672-0045

>

***Evelina Colacino**

Université de Montpellier – Institut des Matériaux Charles Gerhardt (ICGM).

É professora associada de Química Orgânica e Verde na Universidade de Montpellier. A sua investigação centra-se em processos mecanoquímicos sustentáveis para a produção de fármacos e

compostos de elevado valor acrescentado, desenvolvidos em colaboração com a indústria. Coordena o projeto IMPACTIVE, preside à rede profissional da EuChemS sobre mecanoquímica e lidera o grupo de trabalho da IUPAC sobre terminologia mecanoquímica.

evelina.colacino@umontpellier.fr

ORCID.org/0000-0002-1179-4913

>

***Fernando Gomollon-Bel**

Agata Communication.

É cofundador e diretor da AGATA, um químico e divulgador de ciência com mais de 10 anos de experiência em diversos formatos e plataformas, incluindo jornais, revistas, rádio e televisão. Colabora habitualmente com a revista *Chemistry World*, da RSC, e é antigo membro e consultor da Rede Europeia de Jovens Químicos.

fer@agata.agency

ORCID.org/0000-0001-8067-3544

>

Juan José Sáenz de la Torre

Agata Communication.

É cofundador da AGATA, físico e divulgador de ciência com vários anos de experiência em projetos financiados pelo programa “Horizonte Europa”, bem como em empresas como a Scienseed, a Predictia e a Universidade da Cantábria (Espanha), entre outras. Juan é um divulgador ativo na área do clima, tendo contribuído para importantes iniciativas internacionais como o *Not alone*, o *The Last Tweet* e os 40 anos da Convenção de Berna.

juanjo@agata.agency

ORCID.org/0000-0002-5156-5365

>

Leyre Flamarique

Agata Communication.

É divulgadora de ciência na AGATA desde 2024 e tem formação em psicologia, jornalismo científico e comunicação científica. Leyre trabalhou como comunicadora científica em vários centros de investigação em Espanha, tendo recebido o prestigiado Prémio BBVA-CSIC. É

autora da obra *El reto del SARS-CoV-2* (CSIC, ISBN 978-8400112288) e colaboradora regular de jornais como *La Vanguardia* e *Salvaje*, entre outros.

leyre@agata.agency

ORCID.org/0009-0000-7066-4898

>

Vânia André

Centro de Química Estrutural, Instituto of Molecular Sciences, Instituto Superior Técnico.

É investigadora auxiliar no Centro de Química Estrutural, *Institute of Molecular Sciences*, no Instituto Superior Técnico. Aplica a engenharia de cristais e a química supramolecular para melhorar formas cristalinas de princípios farmacologicamente ativos, principalmente por via mecanoquímica. Desenvolve também estruturas de coordenação antibióticas (ACF) com o objetivo de potenciar a atividade antimicrobiana.

vaniandre@tecnico.ulisboa.pt

ORCID.org/0000-0001-5599-8355

O Imperador D. Pedro II do Brasil e a Química

> Raquel Gonçalves-Maia

Emperor Pedro II of Brazil and Chemistry.

Emperor Pedro II of Brazil was a man of culture. After a brief presentation of his portrait, the influence of his tutors and teachers on his interest in Chemistry is mentioned. The monarch even had his own laboratory. His inclusion in the European scientific community, his study visits and correspondence, as well as his strong connection with the first schools of chemistry education in Brazil are analyzed. The Emperor's Diary was a valuable source of information about his actions, interests, and reflections.

O Imperador D. Pedro II do Brasil foi um soberano de vasta cultura. Depois de uma breve exposição do seu retrato, referimos a influência de tutores e professores na sua aproximação à Química. O Monarca dispunha mesmo de um laboratório próprio. Analisa-se a sua inclusão na comunidade científica europeia, as suas visitas de estudo e correspondência, bem como a sua forte ligação às primeiras escolas de ensino da Química no Brasil. O Diário do Imperador foi uma valiosa fonte de informação dos seus atos, interesses e reflexões.

Preâmbulo

Em 1862 assim escreveu D. Pedro II do Brasil no seu diário: “... nasci para consagrar-me às letras e às ciências...” [1]. Talvez o facto mais inusitado e demonstrativo desta sentença se revele na sua ida à Escola Politécnica de Lisboa, assistir a aulas de Física e de Química, exatamente dois dias depois de ter desembarcado em Lisboa, em 9 de dezembro de 1889 vindo para o exílio após cerca de cinco décadas de reinado no Brasil: “Vou para a Politécnica. 4h 10m Chego. Ouvi a lição de física do professor Almeida e a de química de José Júlio Rodrigues que só me agradou pelas experiências” [2].

José Júlio Bettencourt Rodrigues (1843-1893) era então um reputado lente de Química na Escola Politécnica de Lisboa. Cientista (professor e político) a ele se deve, entre múltiplas aplicações e incentivos, a introdução em Portugal de “aulas práticas” com manuseamento pelos alunos, de acordo com modernas metodologias de investigação e apetrechamento laboratorial [3].

Sobre a relação de D. Pedro II com a Química, recolhemos informação sobre trabalhos publicados que referem esta temática. Citamos, em particular, os artigos “D. Pedro II e a Química”, de Carlos Filgueiras e “Pedro II, sábio e mecenas, e sua relação com a Química”, de Nadja Paraense dos Santos, muito informativos, agregadores e criteriosos [4,5].

Complementarmente, explorámos o conteúdo dos diários de D. Pedro II através de uma busca sistemática dos termos “química”, “químico” e “laboratório”, este necessariamente de química [6].

1. Retrato breve do Imperador

Em 2025 celebraram-se 200 anos sobre o nascimento do Imperador D. Pedro II do Brasil, um dos chefes de Estado mais cultos da sua época. Uma oportunidade para mais se conhecer sobre o homem, a história e a cultura científica do Brasil.

Citamos, em particular, a homenagem do Museu Imperial em Petrópolis, com uma palestra do historiador Paulo Rezzutti, em acordo com o seu livro “D. Pedro II. A História não contada” e o lançamento de um calendário comemorativo [7], e a da Fundação Maria Luisa e Oscar Americano, com a exposição “D. Pedro II. 200 anos”, assim como a palestra “D. Pedro II e o Teatro no Brasil (1840-1871)” do ator e investigador Bruno Fracchia [8]. Já antes (2023), mas com igual intuito, o Museu Imperial tinha lançado o livro “D. Pedro II e Portugal: memória, representações e sociabilidades” [9].

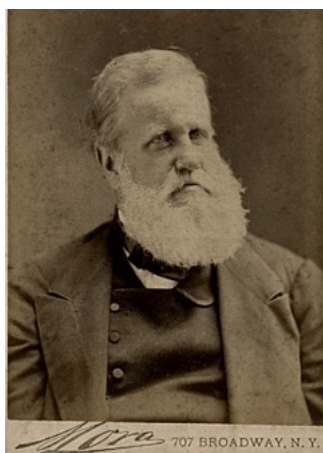


Figura 1 – D. Pedro II, Imperador do Brasil em Nova Iorque (≈ 1876). Autor: José Maria Mora, Diário do Imperador D. Pedro II 1840-1891, Museu Imperial. commons.wikimedia.org/wiki/File:Dom_Pedro_II_NY.jpg.

D. Pedro II do Brasil nasceu em 2 de dezembro de 1825 no Rio de Janeiro, no Palácio Imperial de São Cristóvão. Foi o filho mais novo de D. Pedro (1798-1834), Rei de Portugal e Imperador do Brasil, e de sua mulher Maria Leopoldina da Áustria (1797-1826).

D. Pedro II cedo perdeu o afeto parental, uma vez que sua mãe morreu quando ele tinha apenas um ano de idade. O pai, por seu turno, abandonou o Brasil, abdicando do trono brasileiro em 7 de abril de 1831 em favor do filho; retornou a Portugal, onde veio a falecer três anos depois.

Cientes do seu futuro, o tutor designado por seu pai, José Bonifácio de Andrada e Silva, impõe-lhe desde logo uma educação esmerada. Para mais, D. Pedro II era naturalmente um trabalhador compulsivo, muito exigente consigo próprio, nunca alheio aos meandros de ser chefe de um Estado. Manteve ao longo do reinado um forte sentido do dever. Porém, os seus tempos livres dos afazeres estatais eram dedicados aos estudos, quase sempre através da leitura; era um ávido consumidor não só de literatura convencional, de Letras e de Artes, mas também de textos científicos de atualidade. Gostava de escrever em prosa e em poesia.



Figura 2 – O Imperador D. Pedro II e sua mulher a Imperatriz Tereza Cristina, nos jardins do Palácio Imperial de Petrópolis, Rio de Janeiro, Brasil (1887). Autor: A. V. Perini, Família Imperial do Brasil, Museu Imperial em Petrópolis. commons.wikimedia.org/wiki/File:DomPedroII_imperatriz_Teresa_Cristina.jpg.

A monarquia foi deposta no Brasil em 15 de novembro de 1889, sem oposição frontal do Imperador que nisso via o alastrar de uma indesejável guerra no seu país. Dois dias depois, D. Pedro II e família partiram para o exílio, rumo a Portugal. Sua mulher, D. Tereza Cristina de Bourbon Duas Sicílias, veio a morrer de paragem cardiorrespiratória na cidade do Porto, três semanas após a sua chegada a Portugal (28 de dezembro de 1889; Grande Hotel do Porto). Nesse mesmo dia, em Lisboa, aclamava-se a subida ao trono de D. Carlos I, com a presença de seu tio-avô, o Imperador do Brasil destronado.

D. Pedro II faleceu em Paris, no Hotel Bedford, onde estava alojado há perto de dois anos, no dia 5 de

dezembro de 1891. Tinha 66 anos, sofria de diabetes e de malária e não sobreviveu a uma forte pneumonia. Teve um funeral de Estado, primeiro uma cerimónia realizada na *Église de la Madeleine*, em Paris, seguida de um cortejo que levou o caixão até à estação de comboios, de onde partiu para Portugal e para o Panteão dos Braganças, na Igreja de São Vicente de Fora, em Lisboa. Em 1921 foi exumado e trasladado, assim como sua mulher, para o Mausoléu Imperial, na Catedral de São Pedro de Alcântara em Petrópolis (Rio de Janeiro, Brasil).



Figura 3 – Túmulo de D. Pedro II do Brasil na Catedral de Petrópolis (ao lado do de sua mulher). Autor: Stella Dauer. commons.wikimedia.org/wiki/File:Petropolis-Cathedral4.jpg.

Conhecem-se os seus diários desde 1840 até muito perto da sua morte, tendo a última entrada a data de 1 de dezembro de 1891. São mais de 5000 páginas. As “Transcrições dos diários de d. Pedro II (1840-1891)”, executadas entre 21 de setembro de 2020 e 16 de setembro de 2025, que se encontram *online*, constituem um documento precioso de conhecimento do pensamento e da ação do homem [6]. Anote-se que deve ser utilizado com o cuidado relativo ao facto de se tratar do reconhecimento de um texto manuscrito e, como tal, contém algumas imperfeições.

2. Tutores e professores

José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838), o primeiro tutor de D. Pedro II e suas irmãs, foi um homem de múltiplos predicados, na Política, nas Letras e nas Ciências [10]. Nasceu e morreu no Brasil, mas em 1783 já se encontrava em Coimbra, a frequentar a Universidade, onde concluiu os estudos na Faculdade de Filosofia em 1787 e na de Leis no ano seguinte. Em 1789 tornou-se membro da Academia Real das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências Naturais [11]. Posteriormente, D. Maria I enviou-o em digressão pela Europa, a fim de obter conhecimentos atualizados, particularmente nos domínios da Química e da Mineralogia. Só regressou dez anos depois. Entre os vários estudos e trabalhos que efetuou, sabe-se que

interagiu com os químicos Chaptal (1756-1832) e Fourcroy (1755-1809), em França, Volta (1745-1827), em Itália, e Priestley (1733-1804), na Grã-Bretanha, e com muitos mineralogistas. A identificação que fez de alguns minerais foi importante no desenvolvimento da classificação periódica dos elementos.

Em Portugal, foi lente de Metalurgia na Universidade de Coimbra e diretor do Real Laboratório da Casa da Moeda, onde dirigiu trabalhos laboratoriais de Química.

Em 1819 regressou ao Brasil, onde continuou a sua atividade científica. Durante os reinados de D. João VI e de seu filho D. Pedro I, Imperador, envolveu-se politicamente na independência do Brasil.

Decreto de 6 de Abril de 1831 de Sua Magestade o Senhor D. Pedro I, nomeando Tutor de seus Augustos Filhos o Conselheiro José Bonifácio de Andrada e Silva.

Tendo maduramente reflectido sobre a posição política deste Imperio, conhecendo quanto se faz necessaria a Minha abdicação, e não desejando mais nada neste mundo senão gloria para Mim, e felicidade para a Minha Patria: Hei por bem, usando do direito que a Constituição me concede no cap. 5.º art. 130: nomear, como por este Meu Imperial Decreto nomeio, tutor de Meus Amados e Prezados Filhos, ao muito probó, honrado, e patriótico Cidadão José Bonifácio de Andrada e Silva, meu verdadeiro amigo. Boa-Vista, seis de Abril de mil oitocentos e trinta e um, decimo da Independencia e do Imperio.

IMPERADOR CONSTITUCIONAL E DEFENSOR PERPETUO DO BRAZIL.

Figura 4 – Decreto em que D. Pedro I nomeia José Bonifácio de Andrada e Silva para tutor dos príncipes do Brasil (6 de abril de 1831). Autor: Governo do Brasil, Coleção das leis do Império do Brasil de 1831. commons.wikimedia.org/wiki/File:Decreto_Jos%C3%A9_Bonif%C3%A1cio_tutor_de_pr%C3%ADncipes_do_Brasil.pdf.

Foi muito curta a função tutorial de José Bonifácio junto do jovem D. Pedro II, de 1831 a 1835, mas a sua influência pode ter sido suficiente para ampliar a predisposição do Infante para as ciências, a Química em particular. E, para mais, poucos anos volvidos, Alexandre António Vandelli (1784-1862), nascido em Lisboa e batizado em Coimbra, seria nomeado seu professor de ciências (1839); era filho de Domingos (Domenico) Vandelli, distinto lente naturalista da Universidade de Coimbra, e genro de José Bonifácio e seu assistente de laboratório na Casa da Moeda em Lisboa [12].

Alexandre Vandelli era membro da Academia Real das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências Naturais, desde 1805 [13].

O segundo tutor de D. Pedro II, de 1835 até à maioridade antecipada do Imperador (1840), foi Manuel Inácio de Andrade Souto Maior Pinto Coelho, Marquês de Itanhaém, título que lhe fora atribuído por D. João VI. Apesar da sua formação estritamente militar, era muito exigente com o ensino e aprendizagem do futuro

Imperador. São da sua autoria as seguintes palavras: “Eu quero que o meu Augusto Pupilo seja um sábio consumado e profundamente versado em todas as ciências e artes e até mesmo nos ofícios mecânicos...” [14]. A carga horária de estudo e a diversidade de matérias a que o Pupilo foi submetido eram enormes... Matemática, Ciências Positivas, Botânica... Geologia, Cosmografia, Arqueologia... estudando o Imperador, de dia e de noite, as ciências todas... [14]. O Pupilo nunca se queixou e, nas poucas horas livres que tivesse, vê-lo-íamos dedicado a mais saber.

Uma certa contradição anima o período imperial do Brasil. D. Pedro I foi um Monarca belicoso, com um comportamento rude e agressivo, dividido entre o prazer e o dever, entre Portugal e o Brasil; pouco atento a estudos, aos valores culturais das Letras e das Ciências. Todavia, foi no tempo do reinado de seu pai e no seu tempo que se introduziu o ensino superior no Brasil, que a Química e as outras ciências ascenderam no indicador cultural da Nação. A formação de D. Pedro II fez dele um homem instruído, sapiente mesmo, mas cujo discurso só condizia com uma fatia restrita da população; procurava na correspondência com as elites europeias o meio intelectual que o confortava. Era totalmente dedicado ao Brasil, oposto à guerra, mas com pouca intervenção nos negócios de Estado e mesmo na Educação, competências do governo central onde dominava o direito e a economia.

“Tivemos três reis... O quieto e esperto avô (D. João VI); o filho trêfego e aventureiro de cálida vocação heroica (D. Pedro I); o neto sábio e cauto, um dos mais serenos e nobres espíritos do seu século (D. Pedro II)”, assim retrata Pedro Calmon avô, filho e neto. E, num “apelido” que é um julgamento, intitula este último de “Filósofo” [15].

3. O Laboratório

No Palácio Imperial de São Cristóvão, D. Pedro II possuía um laboratório/gabinete de Química. Segundo Pedro Calmon (Moniz de Bittencourt) (1902-1985), professor, historiador e biógrafo de D. João VI, D. Pedro I e D. Pedro II, a existência do laboratório/gabinete é comprovada por um despacho datado de 1863, dirigido ao inspetor da alfândega António Nicolau Tolentino, onde se pede o desalfandegamento de oito caixas contendo objetos e produtos para um laboratório químico para uso das princesas, filhas de D. Pedro II [4,5,16]. No período republicano que se seguiu à deposição da monarquia foram inventariados os bens da família imperial, pessoais e do Palácio de São Cristóvão. Em agosto de 1890 iniciou-se o leilão dos mesmos, o que se prolongou pelo menos por treze sessões. A fragmentação e organização dos bens, e a sua venda apressada ainda que pacífica, foi alvo de severas críticas públicas. Tanto no “Inventário do Espólio da Família

Real” como no leilão são mencionados “móveis de laboratório” e referidos alguns objetos pertencentes ao Gabinete de Química [5,16].

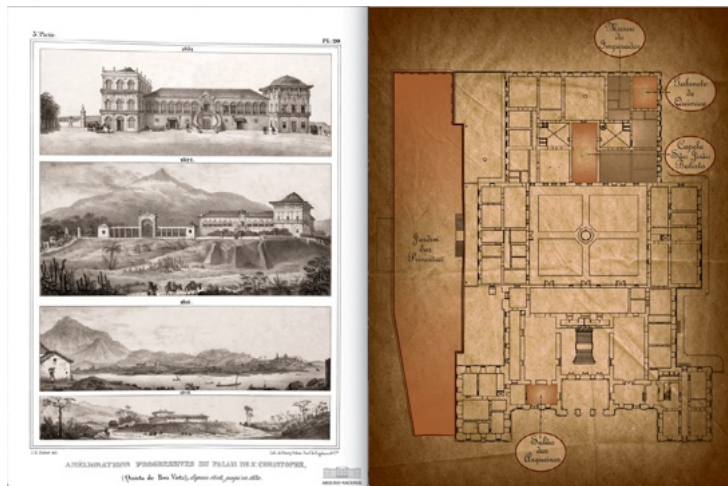


Figura 5 – Melhorias progressivas do Palácio de São Cristóvão (Quinta da Boa Vista), de 1808 a 1831 (à esquerda) e Primeiro piso do pavimento da Casa do Imperador (à direita). Autor: Jean-Baptiste Debret, Acervo bibliográfico do Arquivo Nacional. Biblioteca Maria Beatriz Nascimento. OR 1909, vol. 3, prancha 20. Museu Nacional, 1.º Pavimento. commons.wikimedia.org/wiki/File:Pa%C3%A7o_de_S%C3%A3o_Crist%C3%B3v%C3%A3o,_RJ_-_2830581716228%29.jpg. museunacional.ufrj.br/casadoimperador/pavimento1.html.

Os equipamentos do laboratório/gabinete privativo de Química terão sido originalmente comprados nos anos 40, sendo principalmente de importação londrina – firma Samuel Phillips & Co [16]. No relato de uma viagem ao Brasil ocorrida em 1846, da autoria de Thomas Ewbank, pode ler-se que no palácio da Quinta da Boa Vista (o Palácio Imperial de São Cristóvão) havia um laboratório privativo do Monarca que continha uma bomba de ar, aparelhos elétricos, aparelhos eletromagnéticos e outros: “...o Jovem Imperador aqui passa parte considerável de seu tempo.” [4,16,17].

Terá sido mesmo o próprio Imperador a introduzir as suas filhas, Isabel e Leopoldina, nos estudos experimentais de Química. Sabe-se, também, que D. Pedro II escreveu textos sobre teoria atômica para facilitar o estudo do seu neto Pedro Augusto [4].

Para além da Química, a Astronomia prendia fortemente a atenção do Monarca. O Imperador dispunha de uma luneta astronómica, que terá sido encomendada a Eugène Soulier de Sauve – professor suplente de Química na Escola Militar e, depois, lente de Física e de Geologia (1840) e diretor do Observatório na mesma Escola (1845).

4. O Diário

D. Pedro II do Brasil escreveu um Diário ao longo de várias décadas da sua vida, iniciado quando

tinha apenas 15 anos, e já formalmente considerado “maior” e Imperador do Brasil, e terminado só dias antes de falecer, aos 66 anos de idade, embora com intermitências. Como qualquer diário, não foi feito para se transformar num objeto de leitura generalizada; mas, vindo de um Imperador, não admira que seja considerado um objeto de informação primordial.

O Diário de D. Pedro II do Brasil é um relato demonstrativo da estruturação que lhe impunham, e da que ele se auto-impunha, na sua rotina diária, nos seus afazeres de Monarca, nas viagens de Estado, nas diversificadas visitas de estudo; é também uma digressão íntima pelas suas próprias ideias, gostos e reflexões.

A escrita é dinâmica, mostra um homem observador, atento à evolução, mas ciente das limitações que o rodeiam, sem drama; um intelectual com o peso da coroa.

O Diário é, a todos os títulos, uma obra excepcional. Se é perfeitamente previsível que o Diário contenha descrições relacionadas com a sua agenda de comando de um Império, já é de todo inesperado depararmo-nos com inúmeras descrições críticas sobre escolas e sua funcionalidade, laboratórios e seu apetrechamento, qualidade de professores, lentes e alunos.

Eis alguns exemplos, de diferente natureza, no que à Química se refere:

– “Visitei primeiramente o edifício, onde se vão assentar a fundição e o laminador de cobre para as espoletas fulminantes e depois o laboratório químico, onde se ia preparar o fulminato de mercúrio, por meio da reação do álcool sobre o nitrato ácido de mercúrio, tendo já havido algumas explosões da retorta que precisa de ser substituída e fabricando-se 2 mil oitavos de fulminato por mês” [18];

– “As ciências naturais contrariamente à opinião do mesmo inspetor devem ser ensinadas por 2 professores. Não-de expor apenas os princípios dessas ciências; mas devem fazê-lo com toda a exatidão e clareza, para o que é preciso saber essas matérias, e custará a achar no mesmo indivíduo os conhecimentos precisos para dar essas noções de física, química e de história natural; pois que são ramos das ciências naturais muito separados”. (Reflexões para serem entregues ao ministro do Império sobre a reforma do plano de estudos do Colégio Pedro II) [19].

– “Visitei a Escola Politécnica excelentemente montada e gostei de...” [20] (Estadia em Lisboa);

– “O que mais me agradou lá foi o laboratório de química dividido para análise qualitativa, e para quantitativa, com todos os arranjos precisos. O professor Chandler pareceu-me muito hábil...”

(Lehigh University, Bethlehem, Pensilvânia, EUA); William Henry Chandler (1841-1906), reconhecido professor universitário de Química) [21];

- “*Li a Revue des Sciences des Débats de ontem. Ocupa-se quase que exclusivamente da doutrina microbiana. Não é o micróbio o agente vacinador, mas uma substância solúvel química fabricada por ele. Ainda há-de ser isolada e preparada formando uma farmácia microbiológica*” [22];

- “*Analogia interessante entre os organismos vegetais e animais. “Essai sur la synthèse des matières protéiques par Schützenberger”. É interessante e pus a nota que exprime a antiga opinião minha. “Ainda a química há-de formar um organismo”* [23];

- “*5 h. Volto ao Annuaire, não tenho sono. 6 h. Li até à química que não poderei apreciar senão com maior atenção...*” [24].

Esta exigua amostra, retirada do seu Diário, evidencia o grau de conhecimento e atualização do Imperador em relação à Química (e às Ciências, em geral). D. Pedro II não se limita a observar e questionar, antes comenta, discute, critica e sugere. Durante o período do seu exílio, os últimos dois anos da sua vida, as referências à Química são constantes. Muitas são consequência da sua leitura de artigos científicos, sempre com espírito de benefício para a humanidade; muitas outras referem a sua presença nas academias científicas e encontros acadêmicos.

5. Correspondência e visitas

“*O Imperador do Brasil manteve hoje comigo durante três quartos de hora uma conversa sobre várias questões de química*”. Esta frase faz parte de uma carta escrita pelo holandês Willem Gunning, então professor de química na Universidade de Amsterdão, dirigida a van't Hoff no verão de 1876. E, mais à frente, lê-se o propósito da missiva: O Imperador “*disse que gostaria de visitá-lo em Utrecht e conversar consigo...*”. A visita aconteceu. Van't Hoff falou-lhe da sua teoria do carbono tetraédrico, fundamental para se perceber a estereoquímica e a existência de isômeros. D. Pedro II tudo compreendeu e ficou de tal modo entusiasmado que perguntou a van't Hoff se não se poderia comercializar modelos que estimulassem o conhecimento dos jovens pela Química [4].

O Imperador aprendera química lendo obras de John Dalton, Louis Gay-Lussac, Jacob Berzelius, Auguste Laurent, Charles Frédéric Gerhardt e Marcellin Berthelot; estava a par da moderna teoria atômica [15]. D. Pedro II conheceu de perto Louis Pasteur, Claude Bernard, Marcellin Berthelot, Auguste Daubrée, Jean-Baptiste Dumas, Eugène Chevreul, Alfred Nobel e Justus von Liebig, entre muitos outros [4,5].

Nas suas viagens à Europa, o Imperador, muitas

vezes sob anonimato para melhor interiorizar o que via e ouvia, visitava escolas, assistia a palestras... Em Paris, por exemplo, foi sentado junto dos alunos, que assistiu a uma aula de química de Charles Adolphe Würtz na Faculdade de Medicina [4].

No que respeita à correspondência, a sua maioria trata de convites que lhe foram dirigidos para integrar academias científicas e agradecimentos pela cortesia prestada no Brasil a cientistas em visita. D. Pedro II, por sua vez, foi pródigo na oferta de ordens honoríficas brasileiras, particularmente a Imperial Ordem da Rosa, por si criada. Esta troca foi mutuamente vantajosa. O sábio Imperador e o Brasil mostravam-se na vanguarda da civilização e os intelectuais ganhavam prestígio social.

D. Pedro II foi membro de prestigiadas academias científicas, de que se salienta a *Royal Society* britânica, a Academia das Ciências da Rússia e, inevitavelmente, a *Académie des Sciences* francesa a partir de 1875, honra esta apenas atribuída antes a dois chefes de estado. Com o seu prestígio e empenho, o Imperador conseguiu que cientistas que desenvolviam a sua atividade no Brasil tivessem acesso a publicar os seus trabalhos de investigação no *Comptes Rendus*, o jornal da *Académie des Sciences*, que assim os divulgou junto da comunidade científica internacional [4,5].

6. As escolas de eleição

A Química surge no Brasil como disciplina independente, em 1811, com a transferência da corte portuguesa para o Rio de Janeiro e carta régia de D. João VI. Foi na Academia Real Militar, instituição considerada de ensino superior, que o médico britânico Daniel Gardner passou a lecionar Química; já antes, porém, Gardner, enquanto professor do Seminário de São Joaquim, instruíra os seus alunos nesta área e proferia palestras públicas e privadas acompanhadas de experiências laboratoriais. A ele se deve o primeiro livro de química editado no Brasil, “*Syllabus ou Compendio das Lições de Chymica*” [25]. Digno de nota é também a edição do livro “*Elementos de chimica*”, de Vicente Coelho de Seabra (1764-1804), cuja primeira parte foi publicada em 1788 e a segunda em 1790, “*oferecidos à Sociedade Literária do Rio de Janeiro para o uso do seu curso de química*” que não parece ter sido valorizado no Brasil talvez por não apresentar interesse prático imediato [26]. Depois de 1833, e até 1846, a leção de Química na Academia esteve a cargo do médico João da Silveira Caldeira (1800-1859) e de frei Custódio Alves Serrão (1799-1873), especialista em mineralogia [27].

A Academia Militar vai dar lugar à Escola Central e, mais tarde, à Escola Politécnica do Rio de

Janeiro, em 1874. Por sua vez, o Seminário de São Joaquim foi remodelado e, em 1837, deu origem ao (Imperial) Colégio Pedro II, de ensino secundário claramente vocacionado para a formação dos filhos de uma elite social.

O médico Joaquim Duarte Murtinho (1848-1911) foi convidado a lecionar a disciplina de Química Mineral e, para o ensino de Física e Química Industrial, foi contratado o cientista francês Charles-Ernest Guignet (1829-1906). Entre 1884 e 1889, a Química Industrial teve como professor o cientista alemão Wilhelm Michler (1846-1889) [5].

O ensino primário não exercia qualquer atração sobre o Imperador D. Pedro II. O próprio reconheceu que o seu empenho sempre fora dirigido ao ensino secundário e superior [28]; e, neste domínio, manifestava um interesse muito particular por um conjunto de escolas do Brasil, entre as quais se inserem as duas atrás mencionadas, Escola Politécnica e Colégio Pedro II, onde a sua presença foi uma constante em concursos, provas e mesmo aulas.

Charles Guignet, por exemplo, comunicava assiduamente com o Imperador, informando-o sobre o andamento dos trabalhos realizados e a qualidade dos seus alunos. “Vários destes jovens deverão vir a ser químicos hábeis”, reportou Guignet em agosto de 1876 [5,29].

Na Revista de Engenharia (Rio de Janeiro) encontra-se o relato de uma das visitas do Imperador à Escola Politécnica, em 1889, durante a qual examinou com detalhe e interesse os trabalhos dos alunos e as análises químicas realizadas por Michler sobre “as matérias graxas, gomas e mucunã do Brasil” [5,30].

7. Remate

D. Pedro II do Brasil era um erudito, uma personagem de exceção no seu tempo. Chefe de Estado, para mais de uma Monarquia e, consequentemente, de herança familiar, dispunha de um saber enciclopédico a par da sua permanente atualização. Considerava que a educação era a base sólida da civilização de um país. Era poliglota. Lia muito, era leitor assíduo de muitas revistas de índole literária, política e científica. A Química (e a Astronomia) eram as suas disciplinas científicas de eleição.

Enquanto Imperador e depois no exílio, até poucos dias antes da sua morte, conheceu um sem número de escolas de ensino médio e superior, deambulou por gabinetes e laboratórios, escutou aulas, exames orais, palestras, participou em debates. Ofereceu apoio financeiro do seu próprio património a projetos de investigação e a jovens e talentosos estudantes a fim de prosseguirem os seus estudos, no Brasil e no estrangeiro.

Foi um Imperador viajante. Visitou todo o Brasil, Portugal e a Europa, os Estados Unidos da América e o Canadá, esteve na Turquia e no Egipto, onde se fez fotografar junto das pirâmides, e em muitas regiões do Médio Oriente, incluindo Jerusalém.

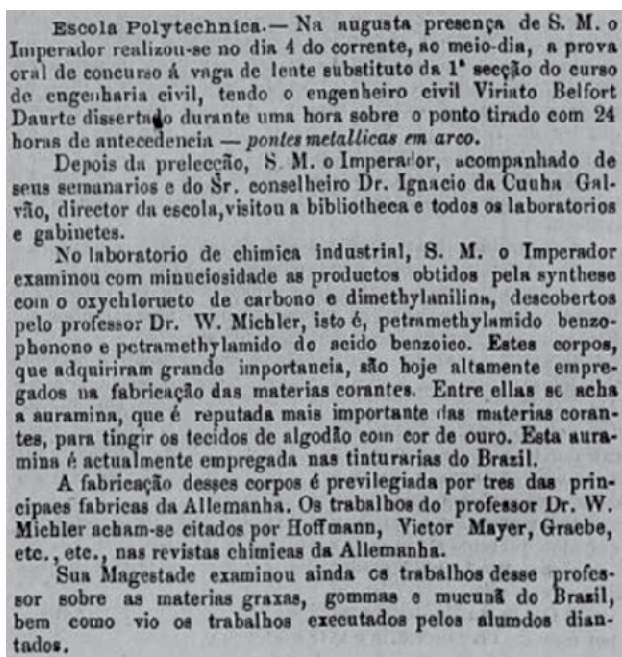


Figura 6 – Notícia na Revista de Engenharia (Rio de Janeiro) dando conta da visita do Imperador D. Pedro II à “Escola Polytechnica”, em 4 de junho de 1889, Hemeroteca Digital Brasileira. memoria.bn.gov.br/docreader/DocReader.aspx?bib=709743&pagfis=2934.



Figura 7 – D. Pedro II e a sua comitiva visitando as pirâmides em 1876. pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:D._Pedro_II_e_sua_comitiva_visitando_as_pir%C3%A2mides_em_1876.jpg.

Referências

- [1] “Nasci para consagrar-me às letras e às ciências, e, a ocupar posição política, preferiria a de presidente da República ou ministro à de imperador”. Transcrições dos diários de d. Pedro II (1840–1891), VOLUME 9. 31 de dezembro de 1861. museuimperial.museus.gov.br/transcricoes-dos-diarios-de-d-pedro-ii-1840-1891.
- [2] D. Pedro II em “Diário do Imperador D. Pedro II (1840–1891)”, Begonha Bediaga (org.), Museu Imperial, Petrópolis, 1999. Transcrições dos diários de d. Pedro II (1840–1891), VOLUME 29. 9 de dezembro de 1889 (2ª f). museuimperial.museus.gov.br/transcricoes-dos-diarios-de-d-pedro-ii-1840-1891.
- [3] F. Reis, “José Júlio Bettencourt Rodrigues (1843–1893)”, Instituto Camões, Ciência em Portugal – Personagens e Episódios. cvc.instituto-camoes.pt/ciencia/p36.html.
- [4] C. A. L. Filgueiras, *Quím. Nova* **1988**, 11, 210–214. quimicanova.sbc.org.br/pdf/Vol11No2_210_v11_n2_289%29.
- [5] N. P. Santos, *Revista da SBHC* **2004**, 2, 54–64. sbhc.org.br/resources/download/1320067516_ARQUIVO_artigos_4.pdf.
- [6] “Diário do Imperador D. Pedro II (1840–1891)”, Begonha Bediaga (org.), Museu Imperial, Petrópolis, 1999. Transcrições dos diários de d. Pedro II (1840 – 1891), 21 de setembro de 2020/16 de setembro de 2025. museuimperial.museus.gov.br/diarios.
- [7] O Museu Imperial em Petrópolis (Rio de Janeiro), inaugurado em 1943, é dedicado ao Império brasileiro. Possui um acervo de mobiliário, documentos e objetos pertencentes à família imperial e notícia eventos e novas publicações sobre o tema. museuimperial.museus.gov.br/museu-imperial-recebe-palestra-do-historiador-paulo-rezzutti-em-comemoracao-ao-bicentenario-de-d-pedro-ii-2.
- [8] A Fundação Maria Luísa e Oscar Americano, sediada em São Paulo, é uma instituição que possui muitas peças da família imperial, assim como cartas, desenhos e fotografias pertencem do próprio D. Pedro II. fundacaoooscaramericano.org.br/fundacaoooscaramericano.org.br/exposicoes/5.
- [9] “D. Pedro II e Portugal: memória, representações e sociabilidades”, Alessandra Bettencourt Figueiredo Fraguas e Maurício Vicente Ferreira Júnior (org.), Museu Imperial, apoio da Embaixada de Portugal em Brasília e do Instituto Camões, 2023.
- [10] A. Carneiro, “Silva, José Bonifácio de Andrade e”, CIUHCT, Cientistas, Engenheiros e Médicos em Portugal. dicionario.ciuht.org/bonifacio-jose. DOI: 10.58277/CQEH5201.
- [11] “José Bonifácio de Andrada e Silva (1763–1838)”, ACL – Academia das Ciências de Lisboa, PT/ACL/ACL/C/001/1789–05/JBAS. arquivo.acad-ciencias.pt/descriptions/255.
- [12] A. J. Marques, “O professor do jovem Imperador – Um Naturalista Luso-brasileiro Alexandre Antônio Vandelli (1784–1862)”, Vieira & Lent (ed.), Rio de Janeiro, 2011. ISBN: 9788588782792.
- [13] “Alexandre Antônio Vandelli”, ACL – Academia das Ciências de Lisboa, PT/ACL/ACL/C/001/1805–02–06/AAV.
- [14] “Instruções para serem observadas pelos Mestres do Imperador na Educação Literária e Moral do Mesmo Augusto Senhor”, redigidas pelo Marquês de Itanhaém em 1838, Artigo 10.º, in Ref. [9].
- [15] Pedro Calmon, “O Rei Filósofo – Vida de D. Pedro II”, Palavras prévias, Companhia Editora Nacional, S. Paulo, 1938.
- [16] Regina M. M. C. Dantas, *A Casa do Imperador Do Paço de São Cristóvão ao Museu Nacional*. Tese de Mestrado, UNIRIO – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, **2007**. museunacional.ufrj.br/casadoimperador/img/Dissertacao%20-%20A%20CASA%20DO%20IMPERADOR.pdf.
- [17] T. Ewbank, “Life in Brazil or journal of a visit to the land of the cocoa and the palm”, Harper & Brother, New York, **1856**; “A Vida no Brasil: ou, Diário de uma visita à terra do cacau e das palmeiras”, J. A. Haddad (trad.), Belo Horizonte, Itatiaia, **1976**.
- [18] VOLUME 7 – PASSEIO A SANTA CRUZ – DEZEMBRO DE 1860. 29 de dezembro de 1860, pg.146, in Ref. [6].
- [19] VOLUME 9. 16 de janeiro de 1862, in Ref. [6].
- [20] VOLUME 11. 1.ª VIAGEM AO EXTERIOR – 1.ª PARTE (EUROPA). 21 de junho de 1871, in Ref. [6].
- [21] VOLUME 17 – 2.ª VIAGEM AO EXTERIOR – 1.ª PARTE (AMÉRICA DO NORTE). 26 de junho de 1876, in Ref. [6].
- [22] VOLUME 27 – 3.ª VIAGEM AO EXTERIOR – 1.ª PARTE. 2 de março de 1888, in Ref. [6].
- [23] VOLUME 36 – EXÍLIO. 10 de fevereiro de 1891, in Ref. [6].
- [24] VOLUME 41 – EXÍLIO. 12 de setembro de 1891, in Ref. [6].
- [25] R. Gonçalves-Maia, *QUÍMICA* **2025**, 49, 105–112. DOI: 10.52590/M3.P721.
- [26] F. Reis, “Vicente Coelho de Seabra Silva Telles (1764–1804)”, Instituto Camões, Ciência em Portugal – Personagens e Episódios. cvc.instituto-camoes.pt/ciencia/p8.html.
- [27] N. P. Santos, A. C. Pinto, R. B. Alencastro, *Quím. Nova* **2000**, 23, 418–426. scielo.br/j/qn/a/LDgvCbCmWPVYhbF5z6V3vsj/?lang=pt&format=pdf.
- [28] Andrea C. Zichia, *O direito à educação no Período Imperial: um estudo de suas origens no Brasil*. Tese de Mestrado, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, **2008**. teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-05082008-140802/publico/DissertacaoAndreaZichia.pdf.
- [29] Inventário dos Documentos do Arquivo da Casa Imperial do Brasil, Existentes Nº 2, Castelo D’Eu, Maço 175 – Doc. 8018; Maço 177 – Doc. 8084; Maço 179 – Doc. 8193. museuimperial.museus.gov.br/wp-content/uploads/2022/08/Inventario-dos-documentos-do-Arquivo-da-Casa-Imperial-do-Brasil-POB-Vol-2-.pdf.
- [30] Revista de Engenharia (RJ) – 1879 a 1891. Ano 1889 Edição 00231 (1), pg.154 memoria.bn.gov.br/docreader/DocReader.aspx?bib=709743&pagfis=2934.

>

Raquel Gonçalves-Maia

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Ciências ULisboa).

Professora Catedrática aposentada da FCUL. Desenvolveu atividade de investigação na área da Química-Física, Cinética e Termodinâmica. Dirigiu o Boletim da Sociedade Portuguesa de Química. Foi representante nacional na *Commission on Chemical Kinetics* da IUPAC. Foi colaboradora regular do

“JL – Jornal de Letras, Artes e Ideias”. É membro do PEN Clube Português. A Química, a História e a Filosofia das Ciências e a Literatura suscitaram o seu interesse. Tem centenas de artigos e algumas dezenas de livros, contos e romances publicados em Portugal e no Brasil. rmcgonc@gmail.com

ORCID.org/0000-0002-0543-8752

Jonathan Pereira: um Luso-Descendente na Vanguarda da Farmacologia Vitoriana

>

João Paulo André
Raquel Gonçalves-Maia

Jonathan Pereira: a Luso-Descendant at the Vanguard of Victorian Pharmacology.

Of Portuguese-Jewish descent, Jonathan Pereira (1804–1853) is regarded as the author of “The Elements of Materia Medica”, he systematized contemporary knowledge of therapeutic substances and exerted a decisive influence on Rudolf Buchheim, the founder of experimental pharmacology. His work signalled the transition from the empirical tradition of “materia medica” to a scientifically grounded approach to drugs and therapeutics.

De ascendência judaico-portuguesa, Jonathan Pereira (1804-1853) é considerado um dos principais precursores da farmacologia moderna. Autor de “The Elements of Materia Medica”, sistematizou o conhecimento sobre substâncias terapêuticas e exerceu uma influência direta sobre Rudolf Buchheim, fundador da farmacologia experimental. A sua obra assinalou a transição da “materia medica” empírica para uma abordagem científica do medicamento.

1. Introdução

Amplamente reconhecido e respeitado no seu tempo, Jonathan Pereira (1804-1853) destacou-se como uma das principais figuras da farmacologia e da farmacognosia da primeira metade do século XIX (Figura 1). Tendo iniciado a carreira como boticário, viria a ser professor de química e *materia medica* em Londres, *Fellow* da *Royal Society* e distinguido com título honorífico de doutor em Medicina.

Autor de uma vasta gama de publicações – de artigos a tratados – que abrangeram áreas como a farmácia, a química, a toxicologia, a taxonomia vegetal, a medicina, a nutrição e a física –, distinguiu-se sobretudo pela notável obra *The Elements of Materia Medica*, publicada em dois volumes, o primeiro em 1839 e o segundo em 1840. Por *materia medica* entendia-se, na época, o corpo de conhecimento relativo às propriedades terapêuticas das substâncias e dos materiais utilizados na cura de doenças – incluindo plantas, minerais e produtos de origem animal –, constituindo a base histórica da farmácia e da farmacologia.

Pereira, que morreu prematuramente, teve o seu monumento funerário concebido por Charles Harriott Smith (1792-1864), o arquiteto inglês responsável pela Coluna de Nelson, em Trafalgar Square [1]. Outras provas do prestígio alcançado foram o busto em mármore que lhe foi erigido no *London Hospital* (atualmente *Royal London Hospital*) e a Medalha Pereira, bem como um fundo de bolsas com o seu nome, instituídos

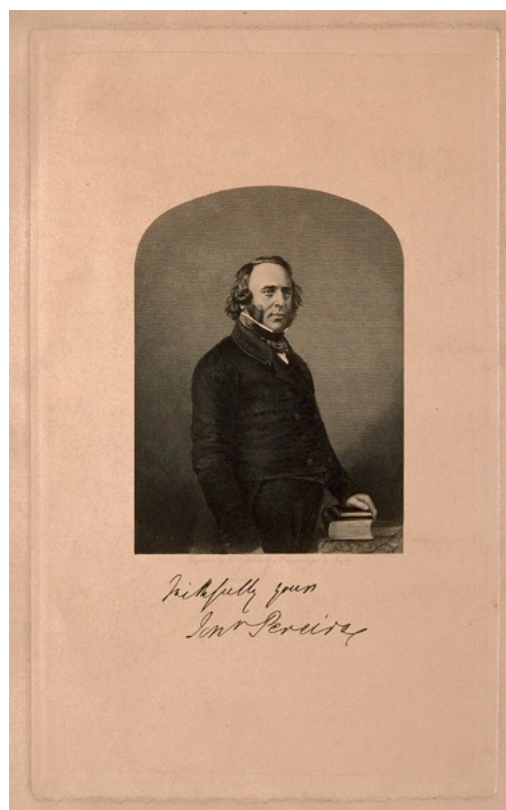


Figura 1 – Jonathan Pereira: gravura a buril e pontilhado, por Daniel John Pound (1853), baseada numa daguerreotípia de John Jabez Edwin Mayall, wellcomecollection.org/search/images?query=dkc8de84#.

pela *Pharmaceutical Society* (Figura 2). Hoje, porém, raramente é recordado — e apenas de forma indireta: a sua obra *The Elements of Materia Medica* serviu de alicerce ao tratado *Lehrbuch der Arzneimittellehre* (*Manual de Farmacologia*), do alemão Rudolf Buchheim (1820-1879), amplamente considerado o fundador da farmacologia moderna [2-4].

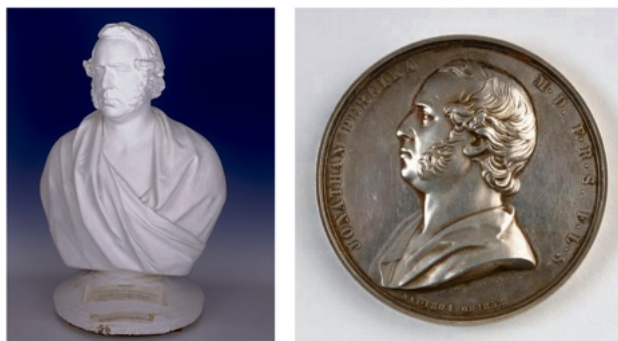


Figura 2 – Jonathan Pereira, modelo em gesso do busto em mármore de Patrick MacDowell (1853), Royal London Hospital, museum.rpharms.com/objects/sculpture-bust-of-dr-jonathan-pereira-1853; Medalha Pereira, prata (58 mm), 1854, Pharmaceutical Society of Great Britain, kedem-auctions.com/en/silver-medal-%E2%80%93-british-pharmaceutical-society-jonathan-pereira-%E2%80%93-london-1854.

2. Origens e aspetos biográficos

Como o apelido sugere, Jonathan Pereira tinha origens ibéricas e judaicas. A extensa família Pereira espalhou-se pelo mundo, e o nome está associado à perseguição das comunidades judaicas que, durante o período medieval e nos séculos seguintes, se dispersaram pela Europa, chegando também às Américas e a África. Não há indícios de que o célebre farmacologista tivesse qualquer ligação ao judaísmo praticado no Reino Unido. No entanto, os seus avós

paternos eram judeus praticantes.

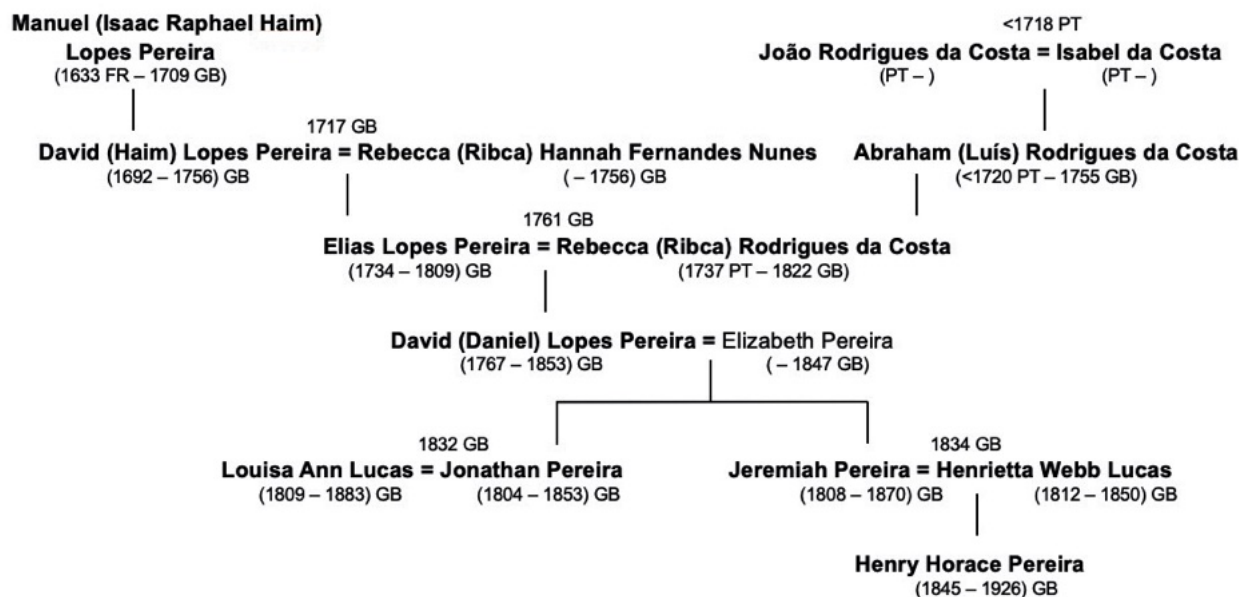
De acordo com informações fornecidas pelo seu sobrinho, o reverendo Henry Horace Pereira, bispo de Croydon (Igreja Anglicana), Jonathan Pereira nasceu a 22 de maio de 1804, em Shoreditch (Middlesex), numa freguesia simultaneamente civil (para registos administrativos) e eclesiástica, integrada na Grande Londres [5].

No registo do seu casamento, ocorrido a 1 de setembro de 1832, na freguesia eclesiástica de Winchester St. John (Hampshire), Jonathan Pereira surge identificado como paroquiano de St. Botolph, Aldersgate (Londres) [6]. A noiva, Louisa Ann Lucas, filha de John Lucas e Elizabeth Webb, fora batizada em 1809 [7] na mesma paróquia onde o casamento viria a realizar-se. O casal não teve filhos. Curiosamente, o irmão de Jonathan, Jeremiah Pereira (1808-1870), também médico, casou com a irmã de Louisa, Henrietta Webb Lucas (1812-1850), seguindo um tipo de “endogamia social” bastante comum à época [8-10]. No censo de Londres de 1851, regista-se que duas das filhas de Jeremiah, Emily e Louisa, viviam com os tios, possivelmente devido à morte precoce da mãe [11]. Jonathan Pereira morreu inesperadamente a 20 de janeiro de 1853, na sua residência em Finsbury Square [12], aos 48 anos. A esposa sobreviveu-lhe cerca de trinta anos [13].

O pai de Jonathan Pereira, referido como David (Daniel) Lopes (Lopez) Pereira, era comerciante de profissão (Figura 3). Nasceu em 1767 no Reino Unido e veio a falecer em 1853 em Finsbury Square, Londres, poucos meses depois do filho [14]. É quase certo que a mãe de Jonathan Pereira se chamava Elizabeth e que morreu em 1847 em Shoreditch (Middlesex) [15].

Elias (Eliau) Lopes Pereira, nascido em Londres, ativo membro da Sinagoga de Bevis Marks, e Rebecca

Figura 3 – Árvore genealógica de Jonathan Pereira.



(Ribca) Rodrigues da Costa, ambos de ascendência portuguesa, foram os avós paternos de Jonathan Pereira [16]. A ascendência do avô radica-se em Almendra (Vila Nova de Foz Côa) e a da avó em Chaves, com passagens por Lisboa e Santarém, onde veio a nascer [17-21]. Vários membros das famílias estão presentes nos Arquivos da Inquisição portuguesa (Torre do Tombo, Lisboa).

3. Formação e ascensão profissional

Jonathan Pereira (Figura 4) recebeu a sua formação escolar inicial numa modesta academia de Finsbury, em Londres, que frequentou dos 10 aos 15 anos. A sua preparação farmacêutica e médica terá seguido o percurso habitual da época, aliando um estágio privado junto de um cirurgião a uma instrução formal numa instituição médica. Em 1821, com 17 anos, matriculou-se no *Aldersgate Street Dispensary*, uma instituição respeitada à época (hoje extinta), fundada em 1770, com a missão filantrópica de prestar cuidados aos mais pobres (Figura 5). Aí estudou química, medicina geral e botânica [22]. No ano seguinte, ingressou no *Medical College* do *St. Bartholomew's Hospital* [5]. Aos 19 anos, obteve o título de *Licentiate* da *Society of Apothecaries* [23], que consistia num exame oral acompanhado de uma apresentação detalhada dos cursos frequentados pelo candidato. Com esse certificado, ficou habilitado a exercer como boticário no próprio dispensário onde estudara. Assim teve início a sua carreira profissional.

Entre 1824 e 1827, deu aulas particulares para complementar os seus rendimentos. Durante esse período, traduziu a *Pharmacopoeia Londinensis* (*Royal College*

of Physicians, 1618) do latim para inglês, compilou *Selecta à Praescriptis* - que chegaria à décima oitava edição em 1890 - e escreveu *A Manual for the Use of Students (of Medicine)* e *A General Table of Atomic Numbers, with an Introduction to the Atomic Theory* [5,24,25]. Importa notar que, no título desta última obra, a designação “atomic number” diz respeito aos pesos atômicos e não, evidentemente, ao número de prótons. É interessante observar como Pereira adotou a teoria atômica numa época em que até figuras de primeiro plano da química, como Humphry Davy (1778-1829), se mostravam reticentes quanto à sua aceitação. Davy, embora reconhecesse a utilidade de conceber a matéria como composta por partículas discretas, não aceitava a teoria atômica de Dalton como um quadro explicativo ou preditivo completo, preferindo interpretar as reações químicas em termos de forças elétricas de atração e repulsão.

O primeiro cargo académico de Pereira foi o de leitor de química, em 1826, seguido da nomeação como leitor de *materia medica*, em 1828, ambos no *Aldersgate Dispensary*. Nesse mesmo ano foi eleito *Fellow* da *Linnean Society*. Mais tarde, em 1838, seria eleito *Fellow* da *Royal Society*. Ao longo da década de 1830, lecionou química e *materia medica* tanto no *London Hospital* como na *Aldersgate Medical School* - instituição privada de ensino médico, fundada em 1820, que, embora colaborasse com o *Aldersgate Dispensary*, era independente deste.

As suas aulas eram tão procuradas que nem as maiores salas disponíveis conseguiam acolher todos os interessados. Storey, no seu artigo biográfico sobre Pereira, observa que a sua popularidade se devia ao facto de não se limitar a enumerar e descrever os me-



Figura 4 – Jonathan Pereira. Xilogravura, a partir de uma daguerreotipia de Mayall, commons.wikimedia.org/wiki/File:Jonathan_Pereira.1_Wood_engraving_after_Mayall.1_Wellcome_V0004610.jpg.



Figura 5 – Shaftesbury House, Aldersgate Street. Gravura de Thomas Hosmer Shepherd, gravada por W. H. Prior. Edifício onde funcionou o *Aldersgate Street Dispensary*, instituição à qual Jonathan Pereira esteve associado, britton-images.com/product/shaftesbury-house-aldersgate-st-london.

dicamentos e as suas aplicações terapêuticas – prática comum na altura –, mas de abordar também a história de cada substância, a sua descoberta, propriedades, efeitos fisiológicos em animais e humanos, modos de administração e toxicidade [24]. Muitos dos textos que serviram de base às suas lições foram publicados, entre 1835 e 1837, na *London Medical Gazette*, um periódico semanal dedicado à medicina e a áreas científicas afins [25,26].

O nome e as lições de Pereira ultrapassaram as fronteiras de Londres, granjeando reconhecimento em todo o país e no estrangeiro; os candidatos às escolas médicas costumavam incluir a frequência das suas aulas nas respetivas credenciais (Figura 6). Os textos que lhes serviam de base foram traduzidos para alemão e chegaram até à Índia. Pereira estruturara o seu curso de lições com um propósito claro em mente: a elaboração do tratado *The Elements of Materia Medica and Therapeutics*, publicado pela primeira vez em 1839.

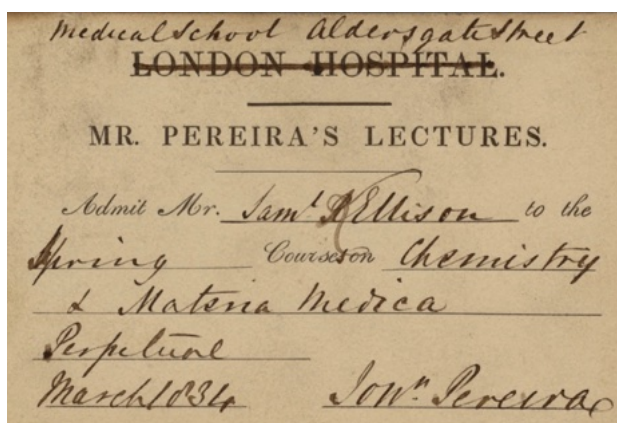


Figura 6 – Bilhete de admissão às aulas de Jonathan Pereira, emitido para Samuel Ellison, para o curso de *Chemistry & Materia Medica*, primavera de 1834. Medical School, Aldersgate Street, [x.com/BHAandM/status/1660571204447801347/photo/2](https://www.bham.ac.uk/status/1660571204447801347/photo/2).

Em 1841, abriu uma vaga para o cargo de médico assistente no *London Hospital*. Embora Pereira desejasse muito o posto, este exigia um diploma formal de Medicina e a realização de um exame no *College of Physicians*. Esta instituição, porém, dispensou-o desse requisito, e, por sua vez, a Universidade de Erlangen concedeu-lhe um grau honorário [25].

A *Pharmaceutical Society of Great Britain* foi outra importante instituição à qual Pereira ficou associado (Figura 7). Tudo começou em 1842, com uma troca de correspondência com Jacob Bell (1810–1859), um dos fundadores da instituição [27], na sequência de um convite para proferir uma ou duas conferências, de tema à sua escolha. Pereira, para além de abordar descobertas recentes na medicina e a composição química dos alimentos, apresentou três palestras sobre luz polarizada – um tema então discutido pela primeira vez no Reino Unido. As suas intervenções

causaram uma forte impressão na direção da Sociedade, que rapidamente o convidou a lecionar *materia medica* na nova *School of Pharmacy*, função que desempenharia até 1851/52 [25]. Paralelamente, tornou-se também examinador da mesma disciplina na Universidade de Londres.

Pereira colaborou ativamente com o *Pharmaceutical Journal and Transactions*, o periódico da *Pharmaceutical Society*, não apenas através da publicação de dezenas de artigos, mas também mediante a realização de trabalho editorial. O esforço desenvolvido no âmbito da instituição, orientado para a promoção de uma abordagem mais científica da prática farmacêutica, refletiu-se igualmente na redação do *Pharmacy Act* (1852) – a primeira lei britânica de regulamentação farmacêutica.



Figura 7 – *Pharmaceutical Society of Great Britain*, edifício na Bloomsbury Square, Londres. Fotografia de finais do século XIX, [rpharms.com/about-us/museum/online-exhibitions/the-history-of-the-royal-pharmaceutical-society/headquarters](https://www.rpharms.com/about-us/museum/online-exhibitions/the-history-of-the-royal-pharmaceutical-society/headquarters).

A colaboração com a *Pharmaceutical Society* terminou em 1852, tendo Pereira alegado excesso de trabalho, resultante da preparação de uma nova edição revista e ampliada de *The Elements of Materia Medica and Therapeutics*, que não chegaria a concluir. Após a sua morte, a sua coleção de espécimes, guardada numa sala daquela instituição, foi transferida para os *Royal Botanic Gardens*, em Kew [28].

4. Interesses científicos e publicações

The Elements of Materia Medica distinguiu-se por apresentar a descrição mais completa e rigorosa das substâncias medicinais conhecidas à época, explorando as suas origens, história comercial e

efeitos terapêuticos (Figura 8). Muitos dos temas abordados, de forma quase enciclopédica, tinham já sido tratados por Pereira em artigos preliminares publicados no *Pharmaceutical Journal and Transactions*. A obra tornou-se rapidamente uma referência essencial, tanto para os que comercializavam produtos farmacêuticos como para os profissionais responsáveis pela sua prescrição. Em 1842, surgiu uma segunda edição, ampliada; uma terceira, em 1849; uma quarta, em 1854, na qual o autor trabalhava à data da sua morte; e ainda uma quinta edição, em 1857.

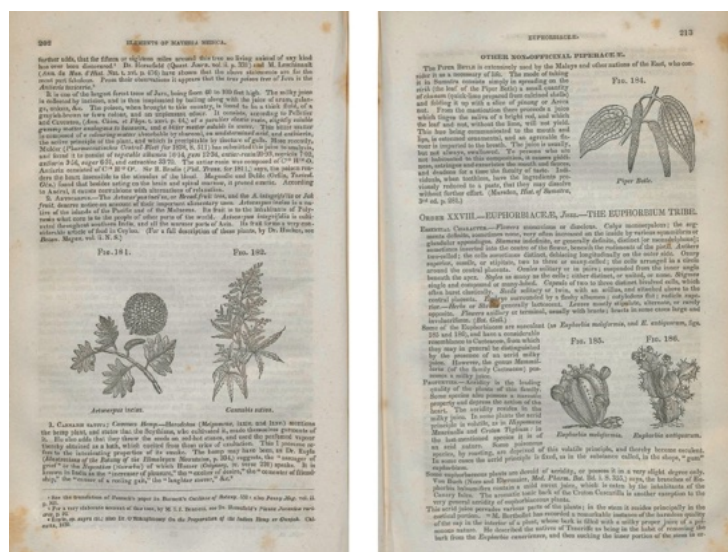


Figura 8 – Páginas ilustradas de *The Elements of Materia Medica; Comprehending the Natural History, Preparation, Properties, Composition, Effects, and Uses of Medicines*, de Jonathan Pereira (2.ª edição, Vol. II, Parte II, *Vegetable Materia Medica*, Londres, 1842-1843). Exemplos de gravuras botânicas representando espécies medicinais descritas na obra, wellcomecollection.org/works/nrc4cr3x.

Nesta obra, na secção intitulada “*Tabular View of The History and Literature of Materia Medica*”, Pereira destaca as contribuições de várias civilizações antigas para a medicina e a farmacologia, bem como as de nações como a Grã-Bretanha, França, Alemanha, Países Baixos, Bélgica, Dinamarca, Noruega, Suécia, Rússia, Finlândia, Itália, Espanha, Portugal e os Estados Unidos da América. No que respeita a Portugal – a pátria dos seus antepassados –, menciona, na página 12 (Vol. I, edição de 1839), entre outras obras, o *Colóquio dos Simples*, e *Drogas e Coisas Medicinais da Índia* de Garcia de Orta, publicado em Goa em 1563, cuja tradução latina abreviada por *Carolus Clusius* foi publicada em Antuérpia em 1567; a *Farmacopéa Lisbonense*, ou *Collecção dos Simples, Preparações, e Composições mais efficazes e de maior uso*, de Manuel Joaquim Henriques de Paiva, dada à estampa em 1785; a *Pharmacopoeia Geral para o Reino e Domínios de Portugal*, de Francisco

Tavares, publicada em 1794; e o *Jornal da Sociedade Farmacêutica Lusitana*, um periódico mensal do qual Pereira refere ter visto apenas um número, datado de 1839. Destaca também feitos científicos portugueses notáveis, como a descrição, em 1800, por Félix de Avelar Brotero, da *Callicocca ipecacuanha*, espécie botânica utilizada como emético, e a cristalização da cinchona por Bernardino António Gomes, em 1810.

Revelando uma vastíssima gama de interesses científicos e uma notável atualidade nos seus conhecimentos, Pereira participou em diversas discussões da sua época, como a questão da cor da forma reduzida do azul da Prússia ($K_2Fe[Fe(CN)_6]$), que o químico britânico Thomas Everitt (1805-1845) afirmava ser amarela. Em *The Elements of Materia Medica*, Pereira refere que preparou ele próprio o composto e observou que este era branco, tornando-se azul ao ser exposto ao ar. Acrescenta ainda que o químico Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) obtivera resultados idênticos. Outro exemplo foi a sua participação no debate sobre a anestesia, então a dar os primeiros passos.

Tendo vivido numa época em que a grande maioria dos medicamentos era preparada a partir de produtos de origem vegetal, Pereira foi, por necessidade, um botânico competente. Ainda assim, ao longo das suas numerosas publicações sobre *materia medica*, a sua contribuição para a taxonomia vegetal foi limitada, centrando-se exclusivamente na família *Zingiberaceae* – à qual pertencem o gengibre e o cardamomo –, da qual descreveu três espécies. A primeira foi *Elettaria cardamomum-zeylanicum* J. Pereira (1.ª edição de *The Elements of Materia Medica*, 1840, p. 696), oriunda do Sri Lanka – nome atualmente obsoleto e considerado sinónimo de *Elettaria cardamomum var. major* Baker. A segunda foi *Amomum citratum* J. Pereira (artigo no volume de janeiro de 1850 do *Pharmaceutical Journal and Transactions*), proveniente da África Ocidental, que, após reclassificação, é hoje designada *Aframomum citratum* (J. Pereira) K. Schum. Finalmente, a terceira foi *Amomum korarima* J. Pereira (3.ª edição de *The Elements of Materia Medica*, 1850), da Etiópia, atualmente considerada sinónimo de *Aframomum corrorima* (A. Braun) P. C. M. Jansen.

Em 1843, Pereira publicou *A Treatise on Food and Diet* (1843), uma das obras mais filosóficas sobre nutrição humana produzidas até então (Figura 9). Neste tratado, faz referência às mais recentes investigações no domínio da química agrícola e alimentar, nomeadamente aos trabalhos de Jean Baptiste Boussingault (1802-1887), Justus von Liebig (1803-1873) e Jean Baptiste Dumas (1800-1884). Nesse mesmo ano, Pereira também deu à estampa *Lectures on Polarized Light*, obra na qual

defende que o estudo da luz polarizada não constituía apenas uma curiosidade científica, mas um recurso útil e proveitoso para o avanço da medicina e da farmácia (Figura 10).

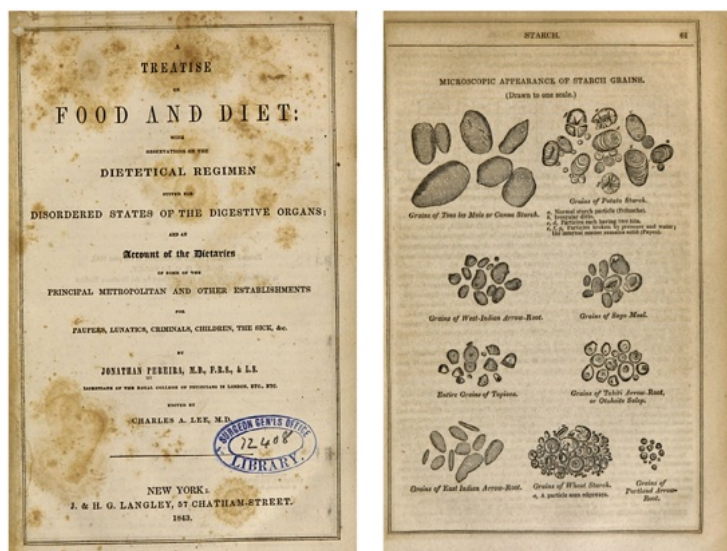


Figura 9 – *A Treatise on Food and Diet: With Observations on the Dietetical Regimen Suited for Disordered States of the Digestive Organs*, de Jonathan Pereira (Nova Iorque, J. & H. G. Langley, 1843). Página de rosto e ilustração representando o aspecto microscópico dos grânulos de amido, wellcomecollection.org/works/nrc4cr3x.

5. Legado e notas finais

Jonathan Pereira foi um dos primeiros autores britânicos a utilizar o termo “farmacognosia” para designar o estudo sistemático da origem, propriedades, estrutura e composição química de substâncias bioativas de origem natural. A sua época marcou o início de importantes avanços na farmacologia e no uso racional dos medicamentos.

A sua obra *The Elements of Materia Medica* serviu de base a uma tradução e adaptação alemã realizada por Rudolph Buchheim (1820–1879), publicada sob o título *Jonathan Pereira's Handbuch der Heilmittellehre*. O primeiro volume, com 844 páginas, saiu em 1846; o segundo, com 929 páginas, em 1848. Nesta adaptação, Buchheim introduziu diversos fármacos até então pouco conhecidos e excluiu outros que considerava ineficazes. Na secção “Efeito Fisiológico”, que, segundo a convenção anterior, se limitava a descrever os sintomas observáveis provocados pelos fármacos no organismo, acrescentou a rubrica “Modo de Ação”, na qual descrevia tanto as alterações provocadas nos órgãos pelos agentes farmacológicos como as transformações que esses agentes sofriam sob a influência do organismo. Ao integrar as técnicas laboratoriais pioneiras de François Magendie (1783–1855), especialmente no estudo dos alcaloides, com a sistematização de Pereira, e ao valorizar a experimentação e investigação dos mecanismos de ação dos fármacos em detrimento da mera observação clínica, Buchheim, na Universidade de Dorpat (atualmente Tartu, na Estónia, então parte do Império Russo), contribuiu decisivamente para completar a transição de uma *materia medica* descritiva para uma disciplina científica baseada em dados fisiológicos, estabelecendo as bases da farmacologia experimental, que o seu discípulo Oswald Schmiedeberg (1838–1921) viria a consolidar.

Em conclusão, ao sistematizar o conhecimento existente sobre fármacos – abrangendo a sua origem, propriedades químicas e efeitos fisiológicos –, Jonathan Pereira contribuiu para a estruturação de uma base organizada, crítica e científica do saber sobre as substâncias terapêuticas, afirmando-se como um importante precursor da farmacologia moderna.

Agradecimento

Os autores agradecem à Doutora Carla Cristina Costa Vieira, CHAM – Centro de Humanidades, o precioso auxílio na identificação de alguns ascendentes de Jonathan Pereira.

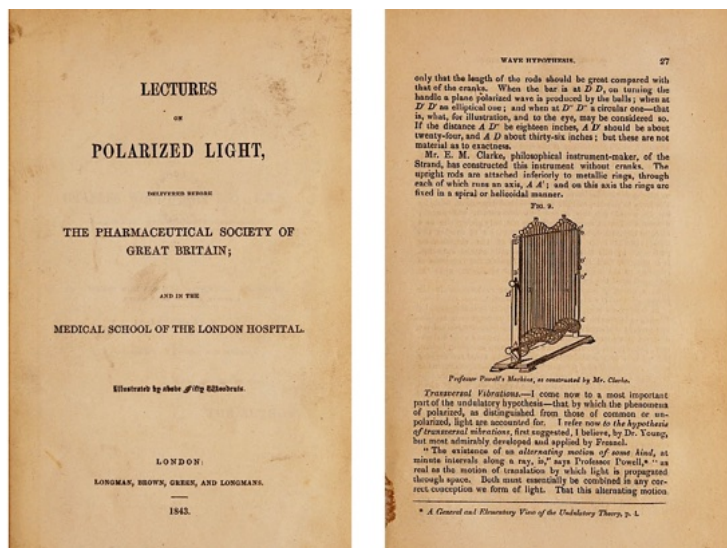


Figura 10 – *Lectures on Polarized Light*, de Jonathan Pereira (Londres, Longman, Brown, Green, and Longmans, 1843). Página de rosto e ilustração da “máquina de Powell”, dispositivo mecânico destinado a ilustrar a teoria ondulatória da luz, wellcomecollection.org/works/nrc4cr3x.

Referências

- [1] R. Gunnis, *Dictionary of British Sculptors 1660-1851*, Harvard University Press, Cambridge, **1954**, 355.
- [2] E. R. Habermann, *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* **1974**, 14, 1-8. DOI: 10.1146/annurev.pa.14.040174.000245.
- [3] M. P. Earles, *Med. Hist.* **1994**, 38, S14, xlv-liv.
- [4] K. M. Reznikov, *Res. Results Pharmacol.* **2019**, 5, 103-116. DOI: 10.3897/rrpharmacology.5.32234.
- [5] S. D. Clippingdale, "Byegone Members of the Hospital Staff", *The London Hospital Gazette* **1918**, 199, 137-138.
- [6] *The Parish Registers, St Thomas, Winchester, Marriages, 1832*, pg. 91. *The Genealogist, Parish Records Marriages*.
- [7] *Baptism Record for Louisa Ann Lucas in the Parish of Winchester St John, 1809.05.12*, pg. 26, *The Genealogist, Parish Records Baptisms & Bastardy*. archive.org/details/sim_gentlemans-magazine_1853-03_39/page/320/mode/2up.
- [8] *Census Transcript Household Channel Islands (Geographically Jersey) for Jeremiah (erradamente designado Tereniah) Pereira, The Genealogist, Channel Islands 1861 Census*.
- [9] *Croydon (Suffragan), Burke's Peerage 1921, Spiritual Lords*, pg. 2351, *The Genealogist, Peerage, Gentry & Royalty*.
- [10] *Burial Register for St Helier Parish Church. Entry for Jeremiah Pereira, aged 61, G/C/03/A4/9/6, 1870.05.26, Jersey Heritage (Archive Records)*.
- [11] *Census Transcript Household London (Geographically Middlesex) for Jonathan Pereira, The Genealogist, London 1851 Census*.
- [12] *Obituary. Jonathan Pereira, M.D., Internet Archive, The Gentleman's Magazine 1853-03*, vol. 39, pg. 320-322. archive.org/details/sim_gentlemans-magazine_1853-03_39/page/320/mode/2up. *Civil Record for Jonathan Pereira in the District of St. Luke, Middlesex (March 1853)*, vol. 1b, pg. 406, *The Genealogist, BMD Records Deaths*.
- [13] Louisa Ann Lucas (Pereira) encontrava-se a viver em Alhambra Road, Portsea (Portsmouth), com as sobrinhas, em 1881 (*Census Transcript Household Hampshire 1881 for Louisa A. Pereira, Alhambra Road, Portsea, The Genealogist, Hampshire 1881 Census*). Morreu dois anos depois, em Tonbridge (Kent) (*Civil Record for Louisa Ann Pereira in the District of Tonbridge (October-December 1883)*, vol. 2A, pg. 382, índice pg. 238, *The Genealogist, BMD Records Deaths*).
- [14] *Obituary (David Lopez Pereira), Internet Archive, The Gentleman's Magazine 1853-05*, 39, 565. archive.org/details/sim_gentlemans-magazine_1853-05_39/page/564/mode/2up. *Civil Record for David Lopes Pereira in the District of Shoreditch (April-June 1853)*, vol. 1C, pg. 87, *The Genealogist, BMD Records Deaths*.
- [15] *Civil Record for Elisabeth Pereira in the District of Shoreditch (January-March 1847)*, vol. 2, pg. 0362, índice pg. 501, *The Genealogist, BMD Records Deaths*.
- [16] "Bevis Marks Records, part II - Abstracts of the Ketubot or Marriage-Contracts of the Congregation from Earliest Times until 1837 with index", L. D. Barnett (ed.), Oxford University Press, Oxford, **1949**, p. 96, n.º 907.
- [17] R. D. Barnett, R. Barnett, *JHSE* **1982-1986**, 29, 28-29. jstor.org/stable/29779807.
- [18] R. D. Barnett (transcrição), *JHSE* **1962**, 6, 68. jstor.org/stable/29777128.
- [19] A. P. Arnold, *JHSE* **1962**, 6, 132. jstor.org/stable/29777129.
- [20] R. D. Barnett, A. S. Diamond, *JHSE* **1968-69**, 22, 117. jstor.org/stable/29778772.
- [21] "Bevis-Marks-Declaration-of-Aliens-1803", *Information on register, LMA/4521/A/01/18/006. Declaration of Aliens forms 1 volume 1795 Apr 06, 1803 Dec 19 - 1813 Sep 15, In English and French. 2*, pg. 37, 26/12/1803.
- [22] À época, os dispensários funcionavam como verdadeiros centros de ensino médico. No primeiro quartel do século XIX, os estudos de medicina estavam em grande parte confinados a escolas privadas, dispendiosas e mal apetrechadas. Eram raros os hospitais que ofereciam formação médica e albergavam escolas de medicina.
- [23] Tratava-se de uma prova de avaliação destinada a certificar os conhecimentos e a capacidade de liderança num determinado domínio de especialização.
- [24] G. O. Storey, *J. Med. Biogr.* **1998**, 6, 206-216. DOI: 10.1177/096777209800600405.
- [25] "Memoir of the Life of the late Jonathan Pereira, M. D., F. R. S., F. L. S., &c., &c.", From the Pharmaceutical Journal, Março, **1853**. books.google.pt/books?id=GrqN3MnoZSkC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [26] Veja-se, a título de exemplo, "*London Medical Gazette: Or, Journal of Practical Medicine*, vol. 20 (1837)". books.google.pt/books/about/London_Medical_Gazette.html?id=TPQaAQAAAJ&redir_esc=y
- [27] A correspondência trocada encontra-se na biblioteca da *Royal Pharmaceutical Society of Great Britain*. ucl.ac.uk/pharmacy/about/history-school.
- [28] I. M. Turner, *Kew Bull.* **2011**, 66, 581-585. jstor.org/stable/23216740.

>

João Paulo André

Centro de Química, Universidade do Minho.

Centro de Biologia Molecular e Ambiental, Universidade do Minho.

Licenciado em Química pela Universidade de Coimbra e doutorado em Química pela Universidade de Basileia, é Professor Auxiliar no Departamento de Química da Universidade do Minho. Tem-se dedicado à divulgação científica, explorando as interseções entre ciência, arte e cultura.

É autor de *Poções e Paixões - Química e Ópera* (Gradiva, 2018) e de *Irmãs de Prometeu - A Química no Feminino* (Gradiva, 2022), obra que conta com uma

edição em inglês, *Sisters of Prometheus* (Springer, 2024). É também coautor, com Carlos Fiolhais, de *A Harmonia das Esferas - Música, Ciência e os Segredos do Universo* (Gradiva, 2025). Colabora como colunista no jornal *Nascer do SOL*. jandre@quimica.uminho.pt
ORCID.org/0000-0001-6761-171X

>

Raquel Gonçalves-Maia

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Ciências ULisboa).

Professora Catedrática aposentada da FCUL. Desenvolveu atividade de

investigação na área da Química-Física, Cinética e Termodinâmica. Dirigiu o Boletim da Sociedade Portuguesa de Química. Foi representante nacional na *Commission on Chemical Kinetics* da IUPAC. Foi colaboradora regular do "JL - *Jornal de Letras, Artes e Ideias*". É membro do PEN Clube Português. A Química, a História e a Filosofia das Ciências e a Literatura suscitaram o seu interesse. Tem centenas de artigos e algumas dezenas de livros, contos e romances publicados em Portugal e no Brasil. rmcgonc@gmail.com
ORCID.org/0000-0002-0543-8752

O Ensino da Química em Revisão: Novas Aprendizagens para Novos Desafios

> Ana Maia Fernandes

Chemistry Education Under Review: New Learning for New Challenges.

The revision of the Essential Learnings for Chemistry addresses challenges like inequalities and misinformation, consolidating a student-centred paradigm. It introduces clear performance descriptors and four didactic pillars: structured assessment, critical integration of AI, contextualisation in sustainability and citizenship, and promotion of authentic practical work. The emphasis on distinguishing science/pseudoscience is key, turning the classroom into a critical thinking space through deconstruction activities, preparing students for informed citizenship.

A revisão das Aprendizagens Essenciais para a Química responde a desafios como desigualdades e desinformação, consolidando um paradigma centrado no aluno. Introduz descritores de desempenho claros e quatro eixos didáticos: avaliação estruturada, integração crítica da IA, contextualização na sustentabilidade e cidadania, e promoção de trabalho prático autêntico. A ênfase na distinção ciência/pseudociência é crucial, transformando a sala de aula num espaço de pensamento crítico através de atividades de desconstrução, preparando alunos para uma cidadania informada.

Introdução

As novas Aprendizagens Essenciais (AE) em consulta pública¹ surgem num momento de desafios complexos para a escola: desigualdades persistentes nas aprendizagens [1], diversidade crescente de perfis de alunos [2] e multiculturalismo [3], pressão para recuperar aprendizagens [4] e a necessidade urgente de um currículo mais significativo e contextualizado [5].

Neste cenário, o currículo assume um papel central, pois define não apenas o que se aprende, mas também como se aprende. A introdução das AE em 2018 representou assim uma mudança significativa, ao deslocar o foco de uma lógica centrada em conteúdos para uma abordagem orientada para as aprendizagens. Este modelo procurou ainda reforçar a autonomia das escolas, permitindo-lhes adaptar o ensino aos seus contextos específicos, em alinhamento com o Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória [6].

Importa, porém, contextualizar o percurso subsequente, para se compreender a situação atual. As AE foram concebidas como orientação curricular de base, para efeitos de planificação, realização e avaliação do ensino, tendo sido construídas a partir dos programas e metas curriculares então

em vigor, que se mantinham como enquadramento do trabalho a desenvolver para além do núcleo essencial [7]. Com o Despacho n.º 6605-A/2021, esses programas e metas foram revogados, passando as AE, o Perfil dos Alunos e a Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania a constituir os referenciais curriculares de base [8]. Esta evolução tem alimentado o debate sobre o risco de as AE — e, na prática, o manual escolar — passarem a funcionar como o próprio currículo, quando a sua finalidade é definir aprendizagens nucleares e não esgotar o currículo. Explicitar esta tensão afigura-se essencial para enquadrar quer o alcance quer os limites da revisão atualmente em curso.

A revisão em curso pretende consolidar este paradigma, reforçando a coerência, a consistência e a utilidade prática das AE. Ao mesmo tempo, procura fortalecer a articulação com a nova Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania [9], sublinhando o papel da escola na formação de cidadãos críticos, informados e socialmente responsáveis.

O (atual) Paradigma para o Ensino das Ciências

No que respeita às disciplinas que integram a Quí-

mica — Físico-Química no Ensino Básico, Física e Química A e Química no Ensino Secundário — as novas AE mantêm uma continuidade conceptual relativamente ao modelo anterior. No entanto, a sua revisão introduz algumas mudanças relevantes do ponto de vista didático, que podem ser sintetizadas em quatro eixos principais:

1. Avaliação

Uma das principais novidades é a introdução de Descritores de Desempenho, organizados em quatro domínios: Conhecimento Científico, Trabalho Prático, Resolução de Problemas e Comunicação Científica, bem como em diferentes níveis de desempenho (Proficiente e Avançado). Este referencial comum procura promover maior clareza e consistência nos critérios de avaliação, contribuindo para reduzir discrepâncias entre contextos escolares e oferecendo uma orientação mais estruturada do que a existente no modelo de 2018.

Ainda assim, esta mudança comporta um risco que importa acautelar. Dada a abrangência dos novos descritores, a sua aplicação quotidiana pode resvalar de uma lógica de acompanhamento regular das aprendizagens para uma prática de classificação permanente, com custos na gestão do tempo letivo e no volume de trabalho dos professores. A investigação em avaliação tem mostrado, de resto, que a função classificativa tende a sobrepor-se à função formativa quando ambas coexistem sem salvaguardas, desviando o esforço docente do *feedback* que efetivamente melhora as aprendizagens [10]. O próprio enquadramento legal aponta noutra direção, ao privilegiar a função reguladora e pedagógica da avaliação no dia a dia e ao remeter a classificação para momentos delimitados do percurso escolar [11]. Para que os descritores sirvam esse propósito, e não o contrariem, a sua operacionalização deverá ser acompanhada de orientações claras quanto à frequência e à finalidade da recolha de informação avaliativa.

2. Digitalização e Inteligência Artificial

As novas orientações assumem explicitamente a integração de ferramentas digitais no ensino das ciências. Entre os exemplos referidos encontram-se o uso de Inteligência Artificial (IA) generativa, Laboratórios de Educação Digital, simulações e técnicas de vídeo-análise. Mais do que promover o uso destas tecnologias, o documento sublinha a importância do seu uso crítico, responsável e ético. A implicação prática é que o ensino de Química deve agora incluir o desenvolvimento de competências para distinguir alegações científicas de pseudociência e o uso crítico de ferramentas tecnológicas para interpretar fenómenos reais.

3. Química para a Sustentabilidade, Ética e Cidadania

A Química é apresentada de forma mais clara como uma disciplina com impacto social. Incentiva-se a abordagem de temas contemporâneos ligados à sustentabilidade e à cidadania científica, como a exploração do lítio, a poluição espacial, a ética na inovação científica ou a economia verde. Desta forma, a aprendizagem científica aproxima-se de problemas reais e de debates sociais relevantes.

4. Metodologias Ativas e Trabalho Prático

O trabalho prático² continua a ocupar um lugar central, mas com maior ênfase na autonomia dos alunos, na colaboração e no desenvolvimento de projetos. Destacam-se abordagens associadas a projetos STEAM (acrónimo em língua inglesa de Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) e iniciativas de Ciência Cidadã, frequentemente relacionadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

De forma mais ampla, esta revisão aproxima-se de tendências internacionais na educação em ciências, que valorizam abordagens interdisciplinares, contextualizadas e centradas no aluno. Exemplos dessas abordagens incluem a educação STEM [12], a aprendizagem baseada em projetos [13] e a educação científica contextualizada [14]. O objetivo último é promover uma literacia científica que capacite os alunos para uma cidadania ativa e informada [15].

Ciência e Pseudociência

Embora a introdução da educação STEAM, da tecnologia e da IA no ensino tenha vindo a ser discutida, a distinção fundamental entre ciência e pseudociência tem recebido menos atenção. Este aspeto é, no entanto, crucial para uma literacia científica sólida. Enquanto a ciência se baseia em métodos sistemáticos, evidências empíricas e processos de validação, a pseudociência refere-se a crenças ou práticas que se apresentam como científicas, mas que não seguem os princípios do método científico nem possuem fundamentação empírica robusta. No contexto educativo, a presença de crenças pseudocientíficas entre estudantes representa um desafio, uma vez que estas podem coexistir com o interesse pela ciência. Por isso, a educação científica deve incluir oportunidades para discutir explicitamente *como distinguir ciência de pseudociência*, promovendo pensamento crítico e literacia científica [16].

Um artigo recente [17] contribui para repensar as práticas de ensino das ciências num contexto marcado pela rápida disseminação de desinformação científica e pseudociência. Para esta autora, o ensino das ciências deve ir além da transmissão

de conteúdos; deve promover também competências de literacia científica crítica. Nesse sentido, torna-se essencial preparar os alunos para avaliar a credibilidade das fontes, analisar evidências e distinguir entre ciência, opinião e pseudociência, trabalhando em sala de aula o conceito de Natureza da Ciência, vulgarmente reconhecido pelo acrónimo NOS (em língua inglesa). A autora sublinha ainda a importância de integrar estratégias pedagógicas que desenvolvam o pensamento crítico, a argumentação baseada em evidências e a análise de informação científica presente nos *media* e nas redes sociais. Estas abordagens contribuem para formar cidadãos capazes de participar de forma informada em debates científicos e sociocientíficos na sociedade contemporânea.

Um outro estudo recente disponível como *pre-print* na plataforma SSRN [18] sugere que algumas atividades comuns em feiras de ciência podem reproduzir práticas pseudocientíficas quando privilegiam demonstrações espetaculares em detrimento de investigação baseada em evidências. Projetos muito comuns, como o “vulcão de bicarbonato e vinagre”, ilustram atividades que privilegiam o efeito visual e a demonstração de resultados previsíveis, mas que frequentemente carecem de investigação genuína, formulação de hipóteses ou análise crítica de dados. Neste sentido, a autora argumenta que estas práticas podem criar uma espécie de “simulação de ciência”, que valoriza o espetáculo em detrimento do processo científico. A autora defende, assim, a necessidade de reorientar estas atividades para formas de investigação mais autênticas, baseadas na formulação de perguntas, na testagem de hipóteses e na compreensão da natureza da ciência, promovendo pensamento crítico e evitando a aproximação a práticas pseudocientíficas. As implicações didáticas, segundo a autora, centram-se sobretudo na necessidade de reorientar atividades escolares que simulam ciência para práticas de investigação científica autêntica. Em vez de privilegiarem criatividade baseada em efeitos visuais ou demonstrações espetaculares, os projetos de ciência deveriam incentivar a investigação autêntica, mesmo que mais simples. O foco passa a ser o raciocínio científico e o processo investigativo, e não a complexidade aparente do projeto.

A ênfase das novas Aprendizagens Essenciais na distinção entre ciência e pseudociência convida a uma mudança concreta nas práticas letivas. Esta competência pode ser desenvolvida através de atividades de desconstrução aplicadas, onde os alunos usam o conhecimento químico como ferramenta de análise crítica. Por exemplo, podem calcular, com base no número de Avogadro, a im-

probabilidade de existir uma molécula ativa num produto homeopático após diluições extremas; ou podem investigar a composição química dos *chemtrails* para contrastar alegações conspiratórias com os princípios da combustão e da física da atmosfera. Estas tarefas, ancoradas nos descritores de “Resolução de Problemas” e “Comunicação Científica”, transformam a sala de aula num laboratório de pensamento crítico, preparando os alunos para avaliar alegações no mundo real e exercer uma cidadania informada, que é um dos pilares da revisão curricular em curso.

(Algumas) Conclusões

A revisão das Aprendizagens Essenciais nas disciplinas de Química representa uma oportunidade estratégica para alinhar o ensino com os desafios do século XXI. Ao reforçar a avaliação com descritores claros, integrar ferramentas digitais de forma crítica, contextualizar a aprendizagem em torno da sustentabilidade e da cidadania, e promover metodologias ativas e um trabalho prático autêntico, o documento avança no sentido de uma literacia científica mais robusta e aplicada.

Neste contexto, a ênfase explícita na distinção entre ciência e pseudociência não é um acréscimo marginal, mas um pilar fundamental. Ela responde diretamente à necessidade de formar alunos que não apenas dominem conteúdos, mas que possuam um pensamento crítico aguçado para navegar num ecossistema de informação saturado de desinformação.

Esta ênfase encontra ancoragem em aprendizagens concretas das AE de Físico-Química. Entre as ações orientadas para o desenvolvimento do pensamento crítico e analítico, o documento prevê, por exemplo, analisar textos com diferentes pontos de vista, distinguindo alegações científicas de não científicas, bem como debater temas sustentando ou refutando afirmações com argumentos baseados em conhecimento científico [19]. É neste enquadramento — o da literacia científica e da compreensão da metodologia e da natureza da ciência [16,17] — que a distinção entre ciência e pseudociência adquire tradução curricular efetiva.

Assim, o sucesso da implementação destas novas AE dependerá da capacidade de traduzir estes princípios em práticas de sala de aula concretas. Isto implica afastar-se de demonstrações meramente espetaculares e abraçar investigações autênticas, onde o processo de formular perguntas, testar hipóteses e analisar criticamente os resultados seja mais valorizado do que o produto final. Desta forma, a Química no ensino básico e secundário pode cumprir o seu duplo propósito: desenvolver o conhecimento disciplinar e formar cidadãos cientificamente literatos, éticos e preparados para participar de forma informada nos complexos debates sociocientíficos do nosso tempo.

Notas

¹A Revisão das Aprendizagens Essenciais encontra-se disponível em: Consulta pública \| Revisão das Aprendizagens Essenciais - EduQA.

²Adota-se aqui a definição encontrada em: L. Dourado, *Trabalho Prático, Trabalho Laboratorial, Trabalho de Campo e Trabalho Experimental no Ensino das*

Ciências - contributo para uma clarificação de termos, in “Ensino Experimental das Ciências – (Re)Pensar o ensino das ciências”, A. Veríssimo, A. Pedrosa, R. Ribeiro (eds.), Ministério da Educação – Departamento do Ensino Secundário: Lisboa, **2001**, 13. dge.mec.pt/sites/default/files/Secundario/Documentos/Programas/CE_Programa/publicacoes_repensar.pdf

Referências

- [1] C. K. C. Sato, G. A. Lacerda, J. Cossi, M. A. F. B. Aguiar, *Inter-American Development Bank*, **2023**. DOI: 10.18235/0005078.
- [2] L. Pappámikail, D. Beirante, “Conjunto de materiais: educação inclusiva. Módulo 1: gestão da educação inclusiva”, Ministério da Educação / Direção-Geral da Educação, **2022**. hdl.handle.net/10400.15/4662 (acedido em 01/05/2026).
- [3] F. Jonsdóttir, J. Einarssdóttir, *Educ. Action Res.* **2024**, 32, 127–143. DOI: 10.1080/09650792.2022.2064891.
- [4] Presidência do Conselho de Ministros. Resolução do Conselho de Ministros n.º 140/2024, de 17 de outubro, **2024**, 1–6. diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/140-2024-891337590 (acedido em 06/04/2026).
- [5] J. Costa, J. Couvaneiro, “Conhecimentos vs. competências: Uma dicotomia disparatada na educação”, Guerra & Paz, Lisboa, **2019**.
- [6] DGE. Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória, **2017**.
- [7] Decreto-Lei n.º 55/2018, de 6 de julho, Diário da República, 1.ª série, N.º 129, 6 de julho de **2018**.
- [8] Despacho n.º 6605-A/2021, de 6 de julho, Diário da República, 2.ª série, **2021**.
- [9] Direção-Geral da Educação, Estratégia Nacional de Educação Para a Cidadania, **2025**. dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/enec-2025.pdf (acedido em 07/04/2026).
- [10] P. Black, D. Wiliam, *Assess. Educ.: Princ. Policy Pract.* **1998**, 5, 7–74. DOI: 10.1080/0969595980050102.
- [11] Portaria n.º 223-A/2018, de 3 de agosto e Portaria n.º 226-A/2018, de 7 de agosto, Diário da República, 1.ª série.
- [12] R. W. Bybee, “The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities”, National Science Teachers Association (NSTA) Press, Arlington, VA, **2013**.
- [13] J. S. Krajcik, K. Mun, *Promises and Challenges of Using Learning Technologies to Promote Student Learning of Science*, in “Handbook of Research on Science Education”, 2nd ed., S. K. Abell, N. G. Lederman (eds.), Routledge, New York, **2014**, Vol. II, 337–360.
- [14] G. S. Aikenhead, *Sci. Educ.* **2023**, 107, 237–260. DOI: 10.1002/sce.21777.
- [15] OECD, “PISA 2018 Assessment and Analytical Framework”, PISA, OECD Publishing, Paris, **2019**. DOI: 10.1787/b25efab8-en.
- [16] E. Z. Mugaloglu, *Sci. Educ.* **2014**, 23, 829–842. DOI: 10.1007/s11191-013-9670-x.
- [17] E. Gerges, *Front. Educ.* **2025**, 10, 1615769. DOI: 10.3389/educ.2025.1615769.
- [18] J. A. A. Mallari, “Plastic Bottles and Baking Soda Volcanoes: Are Science Fairs Promoting Pseudoscience Under the Guise of Creativity?”, *SSRN* **2025**. DOI: 10.2139/ssrn.5761602.
- [19] Direção-Geral da Educação, *Aprendizagens Essenciais de Físico-Química – 3.º Ciclo do Ensino Básico* (documento em consulta pública). eduqa.pt/consulta-publica-aprendizagens-essenciais-ensino-basico (acedido em 09/07/2026).

>

Ana Maia Fernandes

Universidade da Beira Interior.

Doutorada em Educação pela Universidade da Beira Interior (UBI), debruça-se sobre a questão de género, inclusão e equidade no ensino das Ciências, mais concretamente na área da Física. Atualmente é Professora Auxiliar Convidada na UBI, bem como Professora de Física e Química do Ensino Básico e Secundário na Escola Secundária Rainha Dona Amélia, em Lisboa.

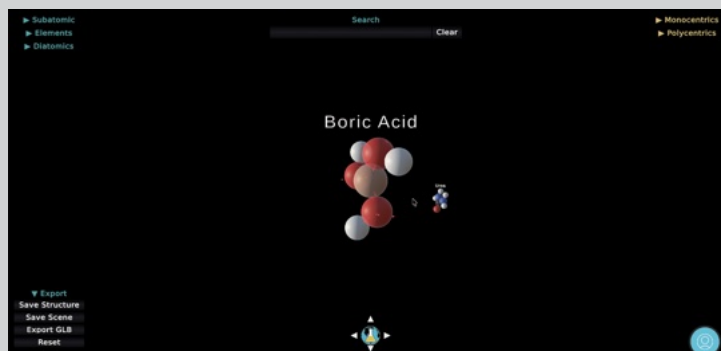
ana.maia.fernandes@ubi.pt

CIÊNCIA ID 281A-81CD-A1DC

Química para Ver, Mexer e Compreender



E se, em vez de apenas observar uma molécula ou um mecanismo, fosse possível interagir com ele? É essa a proposta de *Science with Impact*, uma plataforma que aposta em modelos tridimensionais interativos para tornar processos químicos complexos mais fáceis de visualizar e compreender. Através do motor *Genesis*, estruturas e mecanismos são programados tendo em conta princípios químicos, como geometria, valência, eletrostática e termodinâmica, criando ambientes em que o utilizador pode manipular condições e observar, em tempo real, a resposta do sistema. Mais do que simples animações, estas simulações transformam o espectador em participante: é possível testar previsões, explorar relações de causa-efeito e acompanhar passo a passo fenómenos moleculares diretamente no navegador, sem necessidade de instalar *software* especializado. O projeto, criado por Vanessa Rosa, tem vindo a colaborar com investigadores de instituições como o MIT, Johns Hopkins, Duke University e University of Florida, explorando também a utilização destas ferramentas no ensino e na comunicação de resultados científicos. Num contexto em que mecanismos tridimensionais continuam muitas vezes confinados a representações bidimensionais e estáticas, *Science*



Simulações 3D interativas. @ Science with impact.

with Impact mostra como a interatividade pode ajudar a ultrapassar essa barreira. Uma forma diferente de comunicar química, em que visualizar deixa de significar apenas olhar e passa também a significar explorar.

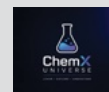
Veja mais em sciencewithimpact.org

>

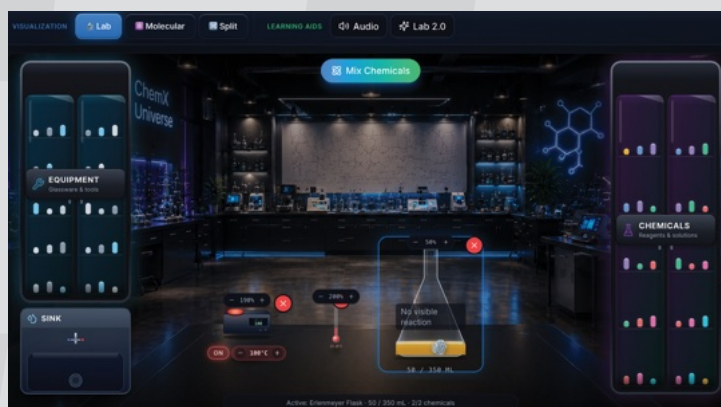
Vasco Bonifácio

vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt

Um Universo Digital para Aprender Química



Aprender química *online* já não significa apenas consultar textos, assistir a vídeos ou resolver exercícios. A plataforma *ChemX Universe* procura reunir num único espaço diferentes formas de explorar esta ciência, combinando aulas interativas, laboratórios virtuais, experiências, calculadoras e até um tutor baseado em inteligência artificial. Destinada a estudantes, professores e escolas, acompanha diferentes níveis de ensino, desde os primeiros anos até ao universo académico. Um dos elementos mais apelativos é o laboratório virtual, que permite realizar experiências diretamente no navegador e observar fenómenos como reações de precipitação, oxidação-redução, cinética ou cristalização sem as limitações de um laboratório físico. A plataforma inclui ainda percursos alinhados com diferentes currículos, conteúdos de Química Orgânica, Analítica e Físico-Química, exercícios, tabelas periódicas interativas e ferramentas de cálculo, procurando ligar teoria, prática e avaliação num mesmo ambiente digital. Ainda em fase de desenvolvimento, *ChemX Universe* mostra bem como as novas plataformas educativas estão a evoluir de simples repositórios de conteúdos para ambientes integrados de aprendizagem. Num mesmo “universo”, é possível estudar, experimentar, calcular e questionar — uma abordagem que poderá



Laboratório virtual. @ ChemX Universe.

tornar a aprendizagem da Química mais próxima, interativa e, sobretudo, exploratória.

Veja mais em chemxuniverse.com

>

Vasco Bonifácio

vasco.bonifacio@tecnico.ulisboa.pt

O Que Há de Química num Fato de Banho?

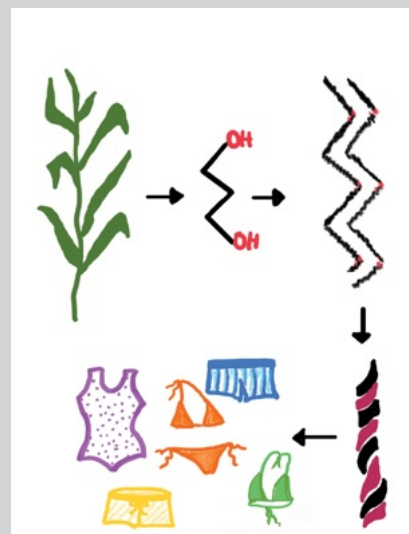
Os fatos de banho são, sem dúvida, uma peça de roupa que associamos ao verão, à praia, aos dias de sol e, claro, às férias! Mas já pensaram nos materiais de que são feitos?

A sustentabilidade é uma preocupação crescente da indústria têxtil. A utilização eficiente dos recursos naturais, a escolha das matérias-primas, a redução do desperdício e a economia circular são alguns dos principais desafios deste setor, nos quais a Química tem um papel muito importante. Um desses desafios é a escolha dos materiais. No caso dos fatos de banho, pretendemos que os tecidos sejam elásticos e se ajustem ao corpo, permitindo-nos nadar e movimentar confortavelmente. Devem também manter a forma quando molhados e secar rapidamente.

Muitos fatos de banho incluem na sua composição elastano, uma fibra sintética com elevada elasticidade. Nos Estados Unidos, é habitualmente designado por *spandex*, enquanto Lycra® é uma das marcas comerciais mais conhecidas deste tipo de fibra. Curiosamente, *spandex* é um anagrama de *expands* (“expande-se”, em inglês). A fibra de elastano que viria a ser comercializada pela DuPont sob a marca Lycra® foi desenvolvida pelo químico Joseph Shivers em 1958, inicialmente sob a designação “Fiber K”. Mas de onde vem a extraordinária elasticidade deste material? O elastano é formado por poliuretanos segmentados, que combinam segmentos flexíveis, que permitem o alongamento da fibra, com segmentos mais rígidos, que ajudam a fibra a recuperar a forma original. Esta estrutura molecular explica a elevada elasticidade que torna o elastano tão útil em fatos de banho e vestuário desportivo.

Contudo, a utilização do elastano também coloca desafios ambientais. Nos fatos de banho, é geralmente combinado com outras fibras, como poliéster ou poliamida. Separar estes materiais no final da vida útil da peça não é fácil, e a presença de elastano pode dificultar a sua reciclagem. Isto não significa, porém, que seja “não reciclável”: estão a ser investigados processos para separar e até despolimerizar o elastano presente em misturas têxteis.

Outra estratégia em prol da sustentabilidade consiste na utilização de matérias-primas de origem renovável. Um exemplo é o Sorona®, uma fibra de poli(trimetileno tereftalato) (PTT), um polímero da família dos poliésteres. O PTT é produzido a partir de ácido tereftálico e propano-1,3-diol (PDO), que pode ser obtido por fermentação de açúcares de origem vegetal. No Sorona®, o PDO de origem biológica permite que cerca de 37% da massa do polímero provenha de matérias-primas renováveis. A estrutura molecular do PTT confere às fibras suavidade, flexibilidade



e capacidade de recuperar a forma após a deformação.

A utilização de matérias-primas renováveis não torna, por si só, um material “sustentável”, mas pode reduzir a dependência de recursos fósseis e alguns impactos ambientais da sua produção. Outras estratégias incluem o poliéster reciclado, produzido, por exemplo, a partir de resíduos de PET, valorizando materiais já existentes.

Outra abordagem é a tecnologia REFIBRA™, desenvolvida pela empresa austríaca Lenzing, que permite utilizar resíduos têxteis celulósicos, como algodão, ou fibras de celulose regenerada, juntamente com celulose da madeira, para produzir novas fibras.

Todas estas soluções mostram como a Química pode contribuir para tornar a indústria têxtil mais sustentável. Mas não existem materiais sem impacto ambiental: a origem das matérias-primas, os recursos usados na produção, a durabilidade e as possibilidades de reutilização ou reciclagem devem também ser considerados.

Da próxima vez que escolherem um fato de banho, talvez valha a pena olhar não apenas para a cor, o padrão ou o modelo, mas também para a etiqueta. Por detrás de um fato de banho há muito mais Química do que parece!

Saiba mais em:

M. Reisch, *Chem. Eng. News* **1999**, 77, 70. DOI: 10.1021/cen-v077n007.p070.

M. B. Johansen, B. S. Donslund, M. L. Henriksen, S. K. Kristensen, T. Skrydstrup, *Green Chem.* **2023**, 25, 10622–10629. DOI: 10.1039/D3GC02994H.

A. C. Marr, *Adv. Synth. Catal.* **2024**, 366, 4835–4845. DOI: 10.1002/adsc.202401066.

Sorona®, “Sorona® Celebrates 20th Anniversary of First Commercial Run”, 2020, sorona.com (acedido em 03/09/2026).

Lenzing AG, “Fiber Technologies: REFIBRA™ technology”, Lenzing, lenzing.com/technology-production/technologies (acedido em 03/09/2026).

>

Marta Piñeiro

mpineiro@qui.uc.pt

Uma Teia que Não Gosta de Água

> Marta C. Corvo

Introdução

Já reparaste que uma gota de água não se comporta da mesma maneira em todas as superfícies? Nalgumas espalha-se rapidamente, enquanto noutras permanece em forma de gota ou parece deslizar sem as molhar. Nesta atividade vamos descobrir porquê e aprender o significado de duas palavras muito usadas pelos químicos: hidrofílico e hidrofóbico. E, pelo caminho, vamos fazer aparecer uma teia de aranha quase como por magia!



Material

- Prato de papel branco
- Lápis de cera branco
- Aguarela preta
- Pincel
- Água

Procedimento:

1.

Com o lápis de cera branco, desenhar uma teia de aranha sobre o prato de papel. Carregar bem no lápis e passar várias vezes sobre os traços para formar uma boa camada de cera.



2. Preparar a aguarela preta, adicionando-lhe um pouco de água.

3. Com o pincel, espalhar a aguarela por toda a superfície do prato, incluindo por cima da teia desenhada.

4. Observar o que acontece. A teia está visível?

5. Comparar o comportamento da aguarela sobre o papel e sobre os traços de cera. A água comporta-se da mesma maneira nas duas superfícies? Antes de continuar a ler, tentar encontrar uma explicação para o observado.

Explicação

A água não interage da mesma maneira com todos os materiais. Alguns têm grande afinidade com a água e são chamados hidrofílicos — podemos pensar neles como “amigos da água”. Outros têm pouca afinidade com a água e são chamados hidrofóbicos — podemos dizer, de forma simples, que “não gostam” de água. O papel é constituído principalmente por celulose. As moléculas de celulose possuem muitos grupos $-OH$, que conseguem estabelecer interações favoráveis com as moléculas de água. Por isso, a água molha o papel e consegue penetrar entre as suas fibras. Dizemos que a celulose é hidrofílica. A cera do lápis comporta-se de maneira diferente. É constituída maioritariamente por substâncias apolares, enquanto a água é polar. Isto significa que as moléculas de água interagem muito melhor entre si do que com as substâncias presentes na cera. Assim, a água não molha facilmente a superfície coberta pela cera. Dizemos que a cera é hidrofóbica. É esta diferença que faz aparecer a nossa teia. Quando espalhamos a aguarela sobre o prato, esta molha o papel que ficou exposto, depositando aí o pigmento e deixando-o escuro. Nas zonas desenhadas com o lápis, a camada de cera dificulta o contacto da água com o papel e a aguarela não adere da mesma forma. Os traços permanecem claros e a teia, antes quase invisível, fica finalmente à vista. Este efeito não acontece apenas com lápis de cera. Consegues encontrar outros materiais hidrofóbicos à tua volta? Experimenta colocar uma gota de água sobre diferentes superfícies, como papel de cozinha, plástico, papel encerado ou uma folha de uma planta. A gota espalha-se ou mantém-se mais arredondada? Faz primeiro uma previsão e depois põe-na à prova. Será que consegues descobrir quais destes materiais são mais “amigos” da água?

Bibliografia

[1] Adaptado de Team Cartwright: “Magic Spider Web Experiment: Halloween STEAM Activity”. team-cartwright.com/magic-spider-web-experiment (consultado em 05/08/2026).



>

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 CO_2 , armazenamento de energia e preservação de obras de arte.
marta.corvo@fct.unl.pt
ORCID.org/0000-0003-0890-6133

Química nas Escolas 2026/2027

A *Química nas Escolas 2026/2027* reúne, num único espaço, um conjunto de iniciativas destinadas a aproximar os alunos da Química e a facilitar o acesso das escolas às oportunidades disponíveis ao longo do ano letivo. Concursos, visitas a laboratórios, oficinas, atividades experimentais e programas de verão são algumas das propostas promovidas por escolas, universidades, centros de investigação e outras instituições científicas. Dirigidas a alunos de diferentes idades e níveis de ensino, estas iniciativas permitem observar a Química em ação, contactar com investigadores, desenvolver projetos e explorar a presença da ciência no quotidiano, dos alimentos e materiais ao ambiente e à investigação científica. Entre as oportunidades em destaque encontram-se as Olimpíadas de Química e o ChemRus, bem como visitas a laboratórios, universidades e centros de ciência e diversas atividades promovidas pela Divisão de Ensino e Divulgação da Química (DEDQ) da SPQ. Mais do que divulgar iniciativas, a *Química nas Escolas* pretende constituir um instrumento de apoio aos professores, permitindo identificar atividades adequadas aos seus alunos e planear atempadamente inscrições, contactos e deslocações. Para esse efeito, a informação é



Mais informações em:
spq.pt/news/quimica-nas-escolas-20262027

complementada por um calendário de planeamento que ajuda a acompanhar as principais oportunidades ao longo do ano. Este é um recurso que pretende contribuir para reforçar a ligação entre as escolas e as instituições científicas e proporcionar aos alunos novas formas de descobrir, experimentar e compreender a Química. Consulte a *newsletter Química nas Escolas 2026/2027* e descubra as atividades disponíveis.

ReAge! Dá Valor ao Resíduo! (2.ª Edição)

A 2.ª edição do projeto “ReAge! Dá Valor ao Resíduo!” desafia novamente professores, alunos e comunidades educativas a olhar para os resíduos agroalimentares não como desperdício, mas como recursos com potencial para serem valorizados. Promovida pela Divisão de Ensino e Divulgação da Química (DEDQ) da SPQ e pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), a iniciativa centra-se na valorização de resíduos domésticos, como borras de café, cascas de frutas e legumes ou óleos alimentares usados, no contexto de uma bioeconomia sustentável. Dirigido a professores dos ensinos básico e secundário, que poderão envolver alunos, famílias e outros elementos da comunidade educativa, o ReAge! propõe a exploração, adaptação ou criação de atividades experimentais simples, seguras e cientificamente fundamentadas. Os protocolos disponibilizados pelo projeto funcionam como pontos de partida, incentivando cada equipa a adaptá-los à sua realidade ou a desenvolver novas propostas. O resultado deverá ser documentado através de fotografias e/ou de um vídeo, com duração máxima de dois minutos, mostrando o resíduo escolhido, as principais etapas do trabalho, as adaptações realizadas e o resultado obtido. As inscrições decorrem de 29 de setembro a 30 de outubro de 2026. A 27 de novembro



Mais informações em:
spq.pt/news/reage-d-valor-ao-resduo-2-edio

realiza-se uma Ação de Formação de Curta Duração (ACD) destinada aos professores inscritos, seguindo-se o desenvolvimento dos projetos até 30 de abril de 2027, data-limite para a entrega dos trabalhos. Ao aproximar ciência, sustentabilidade e participação da comunidade, o ReAge! procura promover a literacia científica, o pensamento crítico e a adoção de comportamentos mais sustentáveis, mostrando que aquilo que sobra pode ganhar uma nova vida.

Chemistry Europe Award 2027: Nomeações Abertas

Encontram-se abertas, até 1 de novembro de 2026, as nomeações para o *Chemistry Europe Award 2027*, distinção bienal atribuída pela *Chemistry Europe* para reconhecer investigadores que tenham dado contributos de excelência numa área específica da Química. Criado em 2023, o prémio dedica cada edição a uma área distinta da Química. A primeira edição (2023) foi dedicada à Sustentabilidade, Energia, Materiais e Ambiente, a segunda (2025) à Química Teórica e Computacional e a terceira (2027) à Química Medicinal e Biorrelacionada, com especial enfoque na descoberta e desenvolvimento de fármacos, *drug design* e tecnologias PROTACs (*PRO*teolysis *T*argeting *C*himeras), uma estratégia inovadora de desenvolvimento de fármacos baseada na degradação seletiva de proteínas-alvo. O prémio inclui um diploma e um



Mais informações: chemistryviews.org/chemistryeuropeaward

montante de 10 000 euros. As nomeações podem ser submetidas por qualquer membro da comunidade científica, não sendo aceites autoneomeações. O vencedor será selecionado por um comité internacional constituído por membros dos conselhos editoriais das revistas da *Chemistry Europe*.

17.º Encontro Nacional de Química-Física (17ENQF) e 1.º Simpósio Ibérico sobre Matérias-Primas Críticas (ISCRM)

O 17.º Encontro Nacional de Química-Física (17ENQF) e o 1.º Simpósio Ibérico sobre Matérias-Primas Críticas (ISCRM) realizar-se-ão em simultâneo na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP), entre 30 de março e 2 de abril de 2027. O 17ENQF será organizado pela FCUP sob os auspícios da Divisão de Química-Física da Sociedade Portuguesa de Química (SPQ). Desde a sua primeira edição, em 1993, o ENQF tem constituído um importante fórum de encontro da comunidade portuguesa de Química-Física, incentivando fortemente a participação de estudantes e investigadores em início de carreira. A edição de 2027 tem como tema central a Energia, abordando os desafios científicos e tecnológicos associados à transição energética, ao desenvolvimento de materiais e processos inovadores, ao armazenamento e conversão de energia e ao papel da Química-Física na compreensão e otimização destes sistemas. O programa contará com palestras plenárias e convidadas de elevado nível científico, bem como sessões de comunicações orais e em painel. Paralelamente, o ISCRM pretende constituir um ponto de encontro estratégico para investigadores, represen-



Mais informações em: xviiinqf.events.chemistry.pt

tantes da indústria, decisores políticos e *clusters* de inovação, com o objetivo de debater soluções soberanas para o fornecimento, processamento e reciclagem de matérias-primas críticas, transformando o potencial geológico da Península Ibérica numa fonte de resiliência geopolítica para a Europa. Como pilar científico desta edição inaugural, o simpósio destacará os avanços do projeto iChem4M – *Innovation in Chemistry for Critical Raw Materials*, financiado pelo programa NORTE 2030 e coordenado pelo CIQUP – Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto.

Agenda

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

> novembro de 2026

- 02 – 03 de novembro de 2026, *online*
Applications of Artificial Intelligence to Process Chemistry
scientificupdate.com/training_courses/applications-of-artificial-intelligence-to-process-chemistry
- 02 – 04 de novembro de 2026, Londres, Reino Unido
Bridging electrochemical devices across Earth and space applications – Faraday Discussion
rsc.org/events/find-an-event/bridging-electrochemical-devices-across-earth-and-space-applications-faraday-discussion
- 03 – 06 de novembro de 2026, Praga, Chéquia
12th International Symposium on Recent Advances in Food Analysis (RAFA2026)
rafa2026.eu
- 04 – 07 de novembro de 2026, Memphis, EUA
2026 Southeastern Regional Meeting of the American Chemical Society (SERMACS 2026)
sermacs2026.org
- 09 – 10 de novembro de 2026, *online*
Practical Crystallisation
rsc.org/events/find-an-event/practical-crystallisation
- 09 – 12 de novembro de 2026, *online*
Flow Chemistry
rsc.org/events/find-an-event/flow-chemistry
- 11 – 12 de novembro de 2026, Barcelona, Espanha
Drug Discovery Chemistry Europe 2026
drugdiscoverychemistry.com/europe
- 11 – 13 de novembro de 2026, Praga, Chéquia
22nd International Conference on Polysaccharides and Glycoscience
polysaccharides.csch.cz
- 12 – 13 de novembro de 2026, Londres, Reino Unido
Horizons Symposium 2026: (Nano)catalysis
rsc.org/events/find-an-event/horizons-symposium-2026

13 – 15 de novembro de 2026, Cairo, Egito
2nd Women in Chemical Sciences Conference (WICSIC 2026)
womeninchemistrynetwork.org/2026/04/01/second-wicsic-wicsea-conference

14 – 17 de novembro de 2026, Cincinnati, EUA
Central Regional Meeting ACS 2026
acscerm2026.org

15 – 19 de novembro de 2026, Kolkata, Índia
16th International Symposium on Ionic Polymerization (IP'26)
iupac.org/event/16th-international-symposium-on-ionic-polymerization-ip26

16 – 20 de novembro de 2026, Newcastle, Austrália
6th International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials
icean2026.com

17 de novembro de 2026, Londres, Reino Unido
Challenges in Catalysis IX
rsc.org/events/find-an-event/challenges-in-catalysis-ix

17 de novembro de 2026, *online*
Data Reuse (ChemSpider webinar)
rsc.org/events/find-an-event/data-reuse-chemspider-webinar

18 – 19 de novembro de 2026, Boston, EUA
4th LNP Characterization and Analytical Development
rsc.org/events/find-an-event/4th-lnp-characterization-and-analytical-development

18 – 20 de novembro de 2026, Pontevedra, Espanha
XXX Encontro Galego-Português de Química
encontrogalegoportugues.org

19 de novembro de 2026, Londres, Reino Unido
RSC CICAG Quantum Computing in Chemistry
rsc.org/events/find-an-event/rsc-cicag-quantum-computing-in-chemistry

19 – 21 de novembro de 2026, Xiamen, China
RSC FIRST 2026: AI in Chemistry
rscfirst.org.cn

22 – 25 de novembro de 2026, Chiang Mai, Tailândia
POLY-CHAR 2026 – Smart, Sustainable & Data-Driven Polymeric Materials
fametu.com/polychar2026

22 – 26 de novembro de 2026, Pretória, África do Sul
Pan Africa Chemistry Network Congress 2026
rsc.org/events/find-an-event/pan-africa-chemistry-network-congress-2026

24 de novembro de 2026, Londres, Reino Unido
Automated Intelligent Chemistry
soci.org/events/young-chemists-panel/2026/automated-intelligent-chemistry-2026

30 de novembro – 02 de dezembro de 2026, Gateshead, Reino Unido
12th Winter Process Chemistry Conference
scientificupdate.com/conference_events/winter-process-chemistry-conference

dezembro de 2026

02 – 05 de dezembro de 2026, Tezpur, Índia
5th International Conference on Modern Trends in Molecular Magnetism (MTMM)
mtmm2026.website

07 de dezembro de 2026, Londres, Reino Unido
Organic Chemistry Poster Symposium 2026
rsc.org/events/find-an-event/organic-chemistry-poster-symposium-2026

08 – 09 de dezembro de 2026, Londres, Reino Unido
4th Annual Chemical Feedstocks for Sustainable Industry Conference 2026
rsc.org/events/find-an-event/4th-annual-chemical-feedstocks-for-sustainable-industry-conference-2026

08 – 10 de dezembro de 2026, Nice, França
International N.I.C.E. Rendez-vous on Bioinspiration & Biobased Materials – Winter 2026
nice-conference.com

14 de dezembro de 2026, Londres, Reino Unido
Materials Chemistry Poster Symposium
rsc.org/events/find-an-event/materials-chemistry-poster-symposium

14 – 17 de dezembro de 2026, Paris, França
11th International Conference on Molecular Electronics (ElecMol)
[rsc.org/events/find-an-event/11th-international-conference-on-molecular-electronics-\(elecml\)](https://rsc.org/events/find-an-event/11th-international-conference-on-molecular-electronics-(elecml))

15 – 18 de dezembro de 2026, Mumbai, Índia
Conference on Advances in Catalysis for Energy and Environment (CACEE-2026)
cacee.org

janeiro de 2027

11 – 12 de janeiro de 2027, Londres, Reino Unido
RSC Chemical Nanoscience and Nanotechnology Annual Symposium
rsc.org/events/find-an-event/rsc-chemical-nanoscience-and-nanotechnology-annual-symposium

18 – 22 de janeiro de 2027, Kaohsiung, Taiwan
3rd International Symposium on Carbon Materials (ISCM-3) 2027
2027-iscm-3.conf.tw/site/page.aspx?pid=901&sid=1697&lang=en

21 – 22 de janeiro de 2027, Tirupur, Índia
International Conference on Nanomaterials – 2027 (ICN-2027)
icn2027.in

31 de janeiro – 05 de fevereiro de 2027, Bressanone, Itália
European Winter School on Physical Organic Chemistry – Catalysis: From Small Molecules to Complex Systems (E-WISPOC 2027)
ewis poc.com

fevereiro de 2027

16 de fevereiro de 2027, *online*
Global Women's Breakfast 2027 (GWB2027)
iupac.org/event/gwb2027

22 – 23 de fevereiro de 2027, *online*
Applications of Machine Learning to Process Chemistry
scientificupdate.com/training_courses/applications-of-machine-learning-to-process-chemistry

março de 2027

10 – 12 de março de 2027, *online*
1st International Online Conference on Analytica (IOCANA 2027)
sciforum.net/event/IOCANA2027

15 – 17 de março de 2027, Bruxelas, Bélgica
Mechanics of Bond Breaking 2027: from Single Molecules to Polymer Networks
mbb2027.org

17 – 20 de março de 2027, San Diego, EUA
Chemical Development & Scale-Up in the Fine Chemical & Pharmaceutical Industries
scientificupdate.com/training_courses/chemical-development-scale-up-in-the-fine-chemical-pharmaceutical-industriesworldwatercongress.org

Boletim da Sociedade
Portuguesa de Química

julho-setembro
Vol. 50 | N.º 182 | 2026

Química

