



DEQ
 DEPARTAMENTO
 DE ENGENHARIA QUÍMICA
 TÉCNICO LISBOA



NEQIST
 NÚCLEO DE ENGENHARIA QUÍMICA
 DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO



United Nations
 Educational, Scientific and
 Cultural Organization



2019
IYPT
 International Year
 of the Periodic Table
 of Chemical Elements



57	5	8	88		8	53	76	
La	B	O	Ra	τ	O	R	I	Os
Lanthanum	Boron	Oxygen	Radium	Tau	Oxygen	Roentgen	Iodine	Osmium

	5	68		76
α	B	Er	τ	Os
Alpha Particle	Boron	Erbium	Tau	Osmium

2	0	1	9
---	---	---	---

Laboratórios Abertos 2019

Editado por:

Departamento de Engenharia Química

Instituto Superior Técnico

Edição de:

Maria Amélia Lemos, Cristina Gomes de Azevedo, Dulce Simão

Com a colaboração de:

Núcleo de Engenharia Química



Fevereiro 2019

ISBN: 978-989-99508-6-3

Índice

ÍNDICE	I
PROGRAMA SECUNDÁRIO	III
PROGRAMA JÚNIOR (2º E 3º CICLO BÁSICO)	IV
PROGRAMA KIDS (1º CICLO BÁSICO)	V
PREFÁCIO	1
PALESTRAS	2
<i>Brincar com lego à nanoescala: silício/sílica em nanomateriais multifuncionais</i>	3
<i>Modelagem na indústria química: uma aposta com futuro</i>	7
<i>A Engenharia de Materiais na Indústria Automóvel</i>	12
<i>O que faz um engenheiro químico</i>	15
<i>Elementos sem fronteiras</i>	18
<i>Socorro, a Eletricidade Está em Toda a Parte</i>	22
O CLUBE DOS 118 – PALESTRA INTERATIVA	27
<i>O clube dos 118</i>	28
EXPERIÊNCIAS NO LABORATÓRIO	31
<i>Poema</i>	32
<i>Nitrogénio: Como Relevante é o 7</i>	33
<i>Cobre: um metal de transição</i>	37
<i>A Engenharia Química e a tabela periódica</i>	48
<i>Pequenos Cientistas, Grandes Engenheiros</i>	57
<i>Tabela Periódica: um espetáculo</i>	66
<i>Carbono: o elemento mais versátil da Tabela Periódica</i>	71
<i>Alerta Tabela Periódica: Aqui há Química</i>	84
EXPERIÊNCIAS PARA OS KIDS	103
<i>Engenheiro químico por um dia</i>	104
<i>Parece magia, mas é ciência</i>	106
<i>Brincar com o frio</i>	111
<i>De comer e chorar por mais</i>	112
<i>Bomba de ursinho</i>	117

EXPOSIÇÃO: CIÊNCIA & ARTE	120
<i>Química e Arte: Sugestões para o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019.</i>	<i>121</i>
EQUIPA	167
ESCOLAS PARTICIPANTES	169
PATROCÍNIOS	171

Programa Secundário

	Horário	Actividades
Manhã	9:30h	Palestra
	10:30 - 12:30h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:30h	Palestra
	15:30 - 17:30h	Experiências nos laboratórios

Palestras	9:30h	14:30h
6 Fev 4ª Feira	Socorro, a eletricidade está em todo o lado <i>Alda Simões, DEQ, IST</i>	Brincar com Lego à nanoescala: silício/silica em nanomateriais multifuncionais <i>Carlos Baleizão, DEQ, IST</i>
7 Fev 5ª Feira	A Engenharia de Materiais na Indústria Automóvel <i>Hugo Cardoso, Visteon</i>	O que faz um Engenheiro Químico <i>Sebastião Alves, DEQ, IST</i>
8 Fev 6ª Feira	Elementos sem fronteiras <i>Vasco Bonifácio, CQFM/IBB, IST</i>	Modelagem na Indústria Química: uma aposta com futuro <i>Frederico Montes, Universidade Técnica da Dinamarca, Copenhaga</i>

Experiências nos laboratórios:

Carbono: O elemento mais versátil da Tabela Periódica	Nitrogénio: Como Relevante é o 7
Cobre: Um metal de transição	Eng. Química e a Tabela Periódica
Pequenos cientistas, grandes engenheiros	

Exposição:

Clementina Teixeira - Química e Arte: somos elementos da Tabela Periódica

Programa Júnior (2º e 3º ciclo básico)

	Horário	Atividades
Manhã	9:00h	“O Clube dos 118” Palestra Interativa
	10:00 - 12:00h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:00h	“O Clube dos 118” Palestra Interativa
	15:00 - 17:00h	Experiências nos laboratórios

Experiências nos laboratórios:

Carbono: O elemento mais versátil da Tabela Periódica	Nitrogénio: Como Relevante é o 7
Alerta Tabela Periódica: Aqui há química	Eng. Química e a Tabela Periódica
Tabela Periódica: Um espetáculo	

Programa Kids (1º ciclo básico)

	Horário	Actividades
Manhã	10:00 – 12:00h	Experiências nos laboratórios
Tarde	14:00 – 16:00h	Experiências nos laboratórios

Experiências nos laboratórios:

Engenheiro químico por um dia	De comer e chorar por mais
Parece magia mas é ciência	Brincar com o frio
Pirilampos mágicos	Bomba de ursinho

Prefácio

O livro dos Laboratórios Abertos 2019 constitui uma coletânea das palestras e das experiências que foram disponibilizadas às escolas do ensino secundário e básico, que visitaram o departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, durante a semana de 4 a 8 de Fevereiro de 2019.

Enquadra-se esta iniciativa na ação de divulgação de Ciência e Tecnologia promovida pela Universidade para os jovens, nas áreas da Química, Engenharia Química e Engenharia de Materiais. Destina-se a divulgar a importância destas matérias na construção de uma sociedade mais justa, igualitária e inclusiva, baseada em conhecimentos científicos que permitam o desenvolvimento de um mundo sustentável num futuro que se quer para todos.

Os Laboratórios Abertos 2019 receberam cerca de 1500 alunos e 150 professores do ensino secundário e básico para participarem em três tipos de ações distintas, consoante a escolaridade dos visitantes: Os Laboratórios Abertos Sénior para os alunos do ensino secundário, os Laboratórios Abertos Júnior para o 3º e 2º ciclo do ensino básico e os Laboratórios Abertos Kids para alunos do 1º ciclo. Participaram num conjunto de palestras e experiências interativas. Estas atividades foram dinamizadas por Docentes, Não-Docentes e Estudantes do IST.

A edição de 2019 dos Laboratórios Abertos do Departamento de Engenharia Química do Técnico teve lugar nos anfiteatros da Torre Sul e nos laboratórios do Pavilhão de Química, no Instituto Superior Técnico.

Palestras

A visita aos Laboratórios Abertos começa tradicionalmente com uma palestra.

Dedicada aos alunos do ensino secundário, os nossos oradores são convidados a apresentar temas actuais, com interesse para a formação científica e tecnológica desta faixa etária.

Brincar com lego à nanoescala: silício/sílica em nanomateriais multifuncionais

Carlos Baleizão

Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.
web.tecnico.ulisboa.pt/carlos.baleizao ; carlos.baleizao@tecnico.ulisboa.pt

Da macro à nano escala: porquê diminuir o tamanho dos objectos?

Quando em Dezembro de 1959 o físico americano Richard P. Feynman (que seria galardoado com o Prémio Nobel da Física em 1965), numa conferência na Sociedade Americana de Física em Pasadena, à qual deu o nome de “Plenty of Room at the Bottom”, perguntava porque não escrever os 24 volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete, o espanto foi geral. Na realidade, o campo sobre o qual Feynman queria falar era o da manipulação e controlo de objectos a uma escala atómica, nanométrica (1 nanómetro corresponde a 10^{-9} metros – ver “The scale of things” mais abaixo). Este era um tema novo, e durante a conferência Feynman abordou questões como o de escrever à pequena escala, a informação em pequenos domínios, o porquê de serem necessários melhores microscópios electrónicos (a resolução na altura rondava os 1-2nm), a importância da biologia, a manipulação de átomos, as possíveis novas propriedades com a diminuição do tamanho dos objectos, etc. Mais de 5 décadas depois, olhamos para trás e o mínimo que podemos dizer é que Feynman viu antes de todos os outros a importância da escala nanométrica.

Na mesma conferência, Feynman enunciou possíveis estratégias para a obtenção de objectos nanométricos. Uma das estratégias partia de objectos de escala maior, mas por acção de electrões, o material ia sendo “esculpido” até atingir dimensões na nano-escala. A outra estratégia seria a manipulação de átomos para criar estruturas de dimensão nanométrica. Actualmente, as estratégias enunciadas por Feynman são as duas principais vias para obter matérias nanométricos: “top-down”, em que por acção de electrões, fotões ou agentes químicos se criam objectos nanométricos ou com relevo nanométrico; e “bottom-up”, em que a auto-organização, a reacção controlada ou a manipulação de átomos ou moléculas levam à formação de nanoestruturas. As estratégias de nano-fabricação atrás descritas e a caracterização dos materiais finais são suportados por técnicas avançadas de litografia (electrões ou fotões), microscopia (electrónica, óptica, ou de força atómica) e espectroscopia (fotoelectrónica de Raios-X, ressonância magnética nuclear, etc).

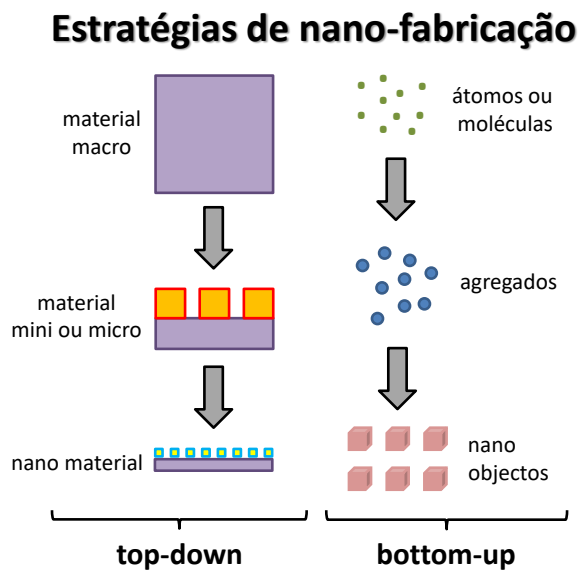
Tal como tinha previsto Feynman, alguns materiais adquirem propriedades novas quando a sua dimensão passa da macro ou micro escala para a nanoescala. Essas propriedades e fenómenos têm levado a novos campos na ciência com aplicação em áreas como a medicina, electrónica, sensores, etc. Por exemplo, o ouro é um metal estável (principalmente devido ao seu elevado potencial de redução) e utilizado em peças de joalharia desde a Antiguidade. Mas quando preparado na forma de esferas ou cilindros com dimensões de

algumas dezenas de nanómetros absorve de forma eficiente a energia dos fotões na região do visível e infravermelho próximo e liberta-a na forma de calor. Este fenómeno está a ser utilizado em medicina, no desenvolvimento de terapias hipertérmicas contra o cancro. Adicionalmente, pequenos clusters de ouro (agregados de alguns átomos de ouro) têm apresentado actividade catalítica surpreendentes em reacções químicas, com um desempenho superior aos catalisadores já existentes, e nalguns casos em transformações novas que têm levado a novas estratégias em síntese química.

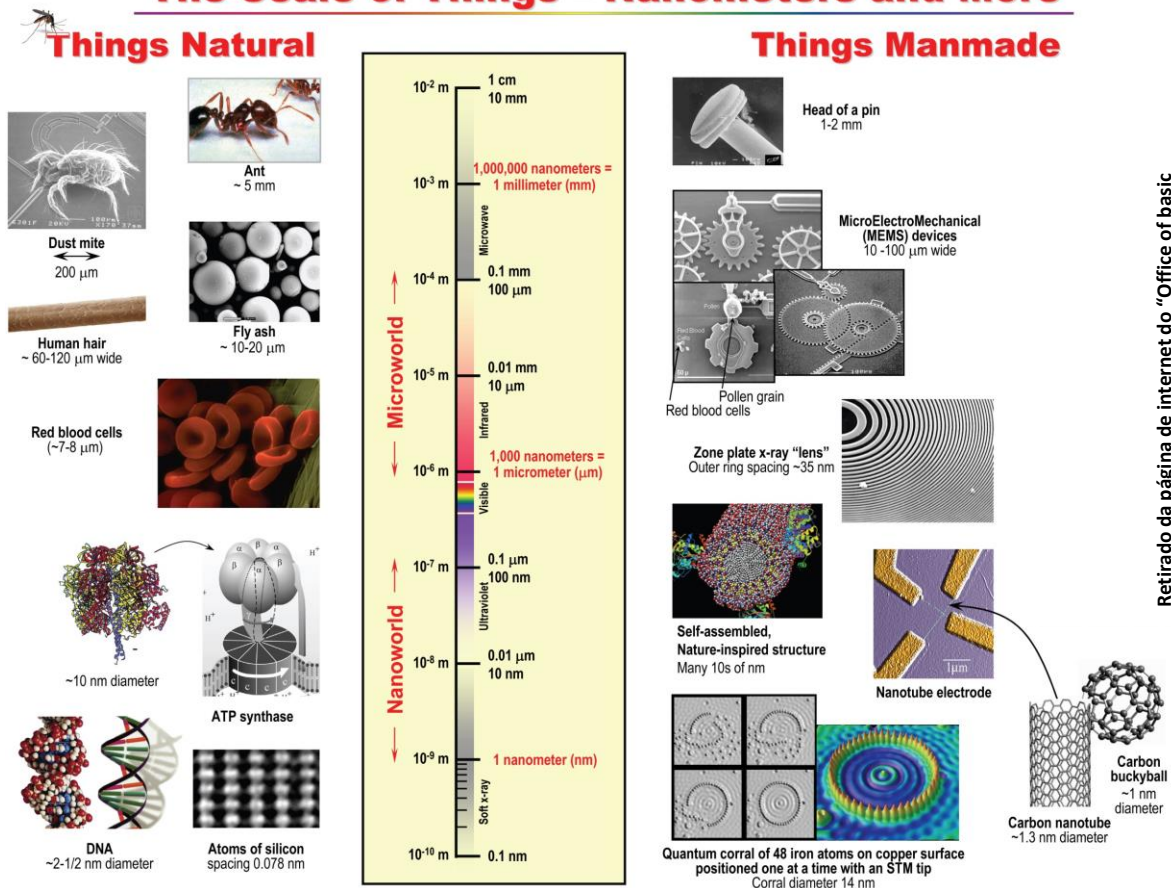
Mas talvez a grande motivação para o desenvolvimento das nanociências e nanotecnologias tenha sido a possibilidade de desvendar processos e mecanismos dos órgãos e células do corpo humano. As células eucarióticas têm dimensões na escala das dezenas de micrómetros, e os seus organelos (núcleo, mitocôndria, lisossomas, etc) na escala das centenas de nanómetros, e somente objectos de algumas dezenas de nanómetros é que podem ser utilizados de forma a dar respostas às perguntas que ainda assolam os cientistas destes campos. Na medicina, a possibilidade de utilizar novos dispositivos de forma a diagnosticar e administrar terapias localmente levou ao crescente interesse nas nanociências e nanotecnologia.

O que tem em comum a areia da praia, fibras ópticas, vidro, ou pastas de dentes?

A resposta é DIÓXIDO DE SILÍCIO, ou como também é conhecido, SÍLICA. Este composto de fórmula química SiO_2 , tem uma estrutura que depende do arranjo tridimensional que pode ser amorfo ou cristalino, sendo de destacar algumas formas cristalinas como o quartzo ou o topázio. O dióxido de silício é um dos óxidos mais abundantes na superfície terrestre, sendo um dos componentes principais da areia e parte do esqueleto de algumas algas (diatomáceas). É utilizado como matéria-prima em materiais como o vidro das janelas ou lâmpadas, no cimento, nas fibras ópticas utilizadas nas



The Scale of Things – Nanometers and More



telecomunicações, e é um dos constituintes básicos dos zeólitos e sílicas mesoporosas que são utilizados como catalisadores na indústria química. O dióxido de silício encontra ainda aplicação como adsorvente (já todos encontramos um pequeno saco com esferas de sílica-gel em peças de vestuário ou em embalagens de aparelhos electrónicos), como isolante na indústria electrónica, ou como agente branqueador em pastas dentífricas.

O dióxido de silício pode ser obtido a partir da extracção mineira e subsequente processamento ou através de métodos sintéticos. De entre os métodos sintéticos há a destacar os métodos térmicos onde derivados de silício são submetidos a altas temperaturas em atmosferas ricas em oxigénio, e os métodos químicos (a baixa temperatura). Este último processo é também conhecido por “processo sol-gel”, uma forma simples, suave e muito versátil de obter materiais com base de dióxido de silício.

Nanopartículas de sílica: como e para quê?

A forma mais versátil e suave de obter nanopartículas de sílica é por hidrólise de esteres de silício catalisada por ácido ou base. Este método permite a preparação de nanopartículas com diâmetros de 20 nm a algumas centenas de nm e com baixa dispersividade de tamanho (as partículas tem todas o mesmo diâmetro). Durante a síntese é possível incluir moléculas no interior da nanopartícula (moléculas fluorescentes, clusters metálicos, etc), ou após a síntese a superfície pode ser modificada

quimicamente de forma a imobilizar polímeros, biomoléculas, agentes marcadores, catalisadores, etc. A estrutura interna das nanopartículas é compacta, com uma baixa difusividade ao oxigénio o que aumenta a estabilidade das moléculas que estão no seu interior. No entanto, é possível preparar partículas porosas, usando para o efeito uma molécula anfifílica (que possui na sua estrutura uma parte apolar e outra polar) que servirá de molde. Após a síntese, o molde é removido e os poros com diâmetros que variam entre os 2 nm e algumas dezenas de nm ficam disponíveis para albergarem moléculas, actuando como nano-contentores para a entrega de fármacos.

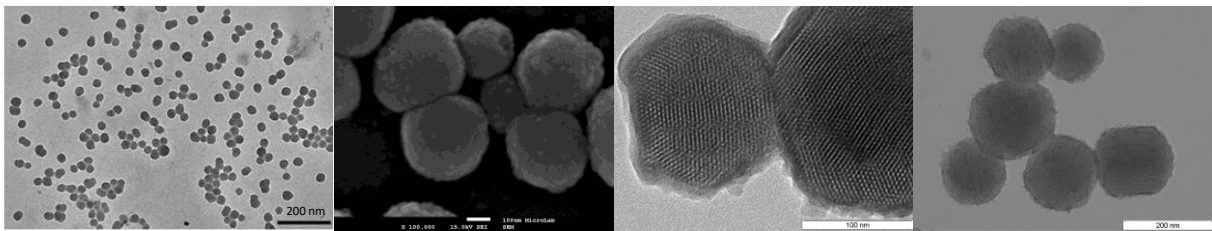


Figura 1. Imagens de microscopia electrónica de nanopartículas de sílica preparadas nos laboratórios do Grupo de Materiais Ópticos e Multifuncionais do Centro de Química Estrutural do IST.

Na conferência serão abordados com mais detalhe os processos de produção de nanopartículas de sílica, a incorporação de moléculas de interesse e as possíveis aplicações para estes nanomateriais.

Modelagem na indústria química: uma aposta com futuro

Frederico Montes

Process and Systems Engineering Centre (PROSYS), Department of Chemical and Biochemical Engineering, Technical University of Denmark, Søtofts Plads Building 229, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

A utilização de modelos matemáticos para simular e representar a realidade que nos envolve é cada vez mais importante no contexto industrial, e cada vez mais eficiente. É até considerada uma arte por muitos, tanto no mundo académico como na própria indústria.

Os modelos matemáticos usados na indústria química podem ser divididos em dois tipos: determinísticos ou empíricos/estocástico [1]. Um modelo determinístico aplica leis da física e conservação de massa, força e energia para explicar determinados fenómenos, enquanto que um modelo estocástico usa sobretudo probabilidades e estatística para descrever o mesmo fenómeno. Um exemplo para um modelo determinístico é a previsão da posição final de um projectil de uma catapulta: aplica-se a força inicial de arremesso, direcção e intensidade do vento, forças de atrito e gravítica, rotatividade do mesmo projectil e forma e características do local de impacto. No entanto, algo tão simples como a distribuição final da areia de um balde a ser despejado de uma altura significativa já é mais complicado: são muitas partículas para simular e a suas distribuições de tamanho, característica e forma é, normalmente, muito irregular. Todavia, usando modelos empíricos e estocásticos pode-se aproximar o tamanho das partículas por regiões, embalar o número e intensidade de colisões entre elas e chegar a resultados aproximados que não divagam muito da realidade.

Níveis de modelos: do ínfimo ao infinito

Nas diferentes áreas da indústria química há diferentes níveis de aplicação de modelagem. Alguns modelos focam-se em níveis atómicos e intermoleculares para prever propriedades químicas de grande importância para a indústria, como solubilidades, pontos de ebulição e dissolução.

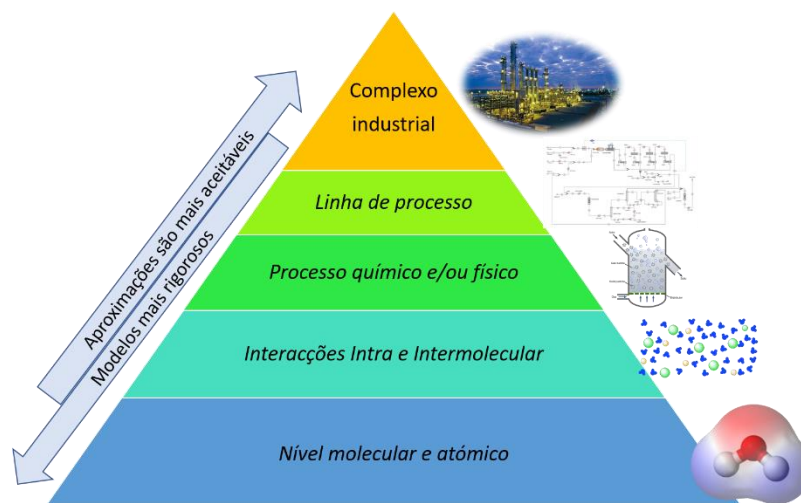


Figura 1 – Estrutura dos níveis de modelos matemáticos na indústria química

Quanto mais a escala aumenta de tamanho, menor é o detalhe dos modelos utilizados em geral, e pequenos desvios nas previsões e simulações são mais aceitáveis, por causa do tempo e do poder computacional que é requerido. É preferível ter uma previsão de algumas horas que obtem um desvio de um quilo por tonelada na produção de um fármaco do que esperar um mês para obter apenas umas gramas de diferença. Saber onde e quando aplicar aproximações e simplificações faz a grande diferença nesta área da engenharia química.

Aplicações de modelagem na indústria

A indústria farmacéutica é um excelente exemplo da interação de vários níveis de modelos e de uma excelente sinergia entre eles. Após a aprovação de um fármaco pelas entidades responsáveis (U.S. Food and Drug Administration nos Estados Unidos e European Medicine Agency na Europa), uma companhia farmacéutica tem em média 4 a 6 anos para reaver todo o investimento realizado para este e outros fármacos que não foram aprovados. É preciso descobrir quais os melhores solventes para o novo produto, quais os processos necessários para a sua produção, saber o que pode correr mal... tudo no menor espaço de tempo e com o menor custo possível. A utilização de modelagem e simulação computacional ao mesmo tempo que se realizam experiências laboratoriais e de mini-instalação permite reduzir imenso o tempo e custo de injeção do medicamento no mercado.

A produção de Ibuprofeno, por exemplo, requer uma série de reacções antes de se obter o tão desejado medicamento. Numa das reacções é necessário adicionar água que precisa de ser removida posteriormente, antes de se cristalizar o Ibuprofeno. No entanto, percalços acontecem, e nem sempre toda a água é removida antes de chegar à unidade de cristalização. A juntar ao facto de que este

processo é muito difícil de quantificar, o tamanho final dos cristais de ibuprofeno pode ser muito aleatório.

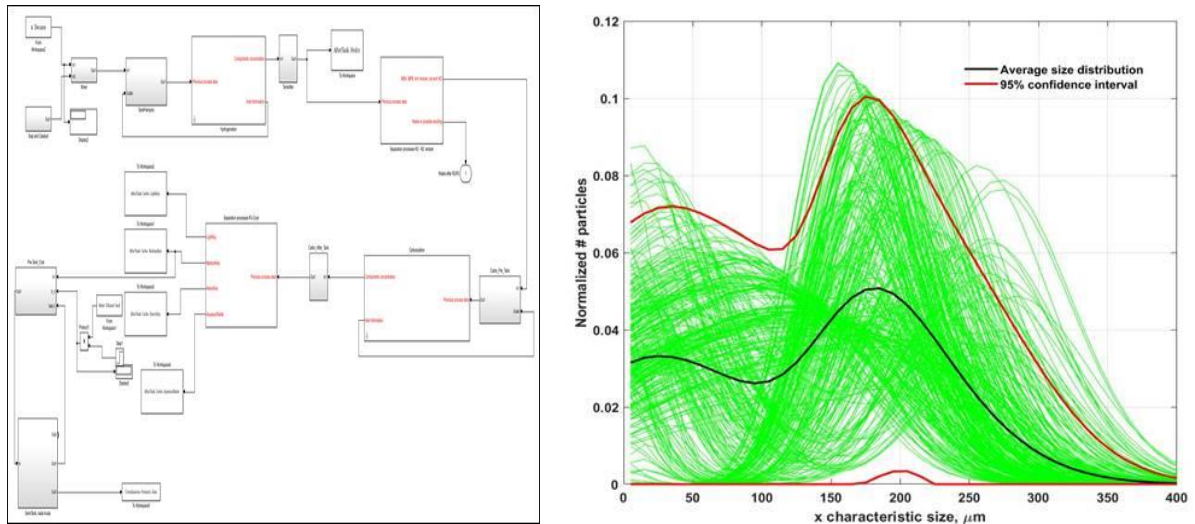


Figura 2 – Simulação da produção de Iburpofeno (esquerda) e possíveis distribuições dos cristais de ibuprofeno sob incerteza dos processos antecedentes (direita)

No entanto, usando modelação e simulação desta unidade com informação e dados disponíveis, foi possível mostrar que nem sempre a introdução de água no processo é nefasta para o mesmo. Após a realização de muitas simulações em vez do mesmo número de experiências, o produto final pode apresentar uma menor distribuição do seu tamanho mesmo na presença de água [2].

Na produção de óleos vegetais, com uma produção anual mundial de 769 milhões de toneladas [3], a qualidade do produto final é de importância máxima. No entanto, embora o mesmo processo seja realizado há anos, pouco conhecimento se tem sobre os detalhes que ocorrem dentro da coluna de hidrólise: desde elevadas temperaturas, alta pressão, e uma composição da matéria prima que não é sempre a mesma, fazem com que a recolha de dados experimentais seja caro e complicada.

Aliando modelos estatísticos, experiências laboratoriais e um bom computador, obtiveram-se resultados impressionantes no comportamento da coluna (figura 3), nomeadamente na injeção de vapor (steam). Futuras experiências serão realizadas numa nova coluna com dupla injeção de vapor para validar os resultados obtidos, e eventualmente mudar o rumo que esta área da engenharia química tem desde tempos primórdios.

A um nível superior, quando uma nova unidade fabril ou de processo tem de ser instalada, várias questões cruciais têm de ser respondidas:

- Quais os processos que devemos incluir?

- Qual a melhor ordem desses processos?
- Quanto vamos gastar? É possível gastar menos e manter a qualidade do nosso produto?

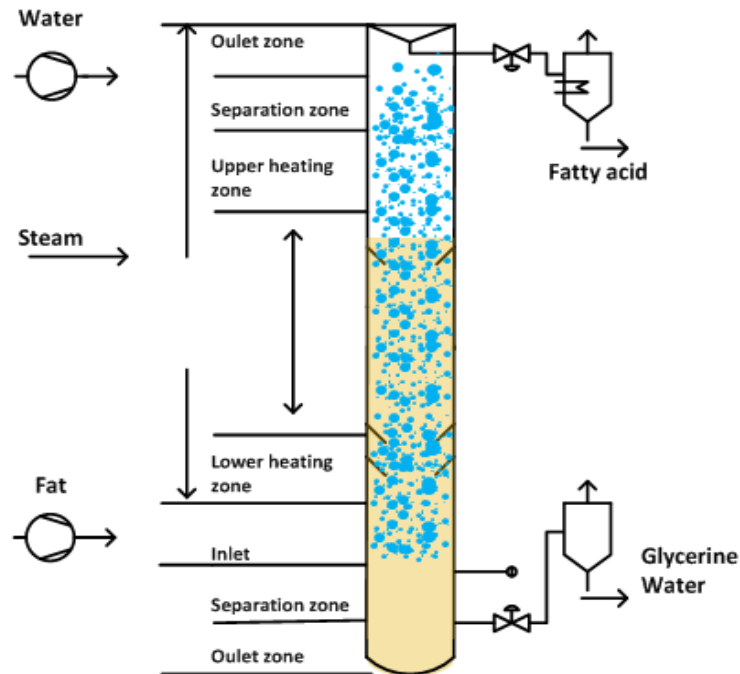


Figura 3 – Coluna de hidrólise para produção ácidos gordos e posteriormente óleos vegetais

Com uma enorme panóplia de opções tão grande, é fácil um engenheiro de processos ficar sob pressão. Uma escolha errada pode significar uma redução na margem de lucro da companhia ou, pior, prejuízo. Testar todas as possibilidades é dispendioso e impensável.

Todavia, com novos algoritmos de optimização a serem publicados constantemente e com poder computacional e evoluir, é possível a integração, simulação e planeamento de unidades de produção inteiras com o clicar de um botão. A este método de optimização dá-se o nome de *superstructure optimization*. Embora os modelos tenham de ser reduzidos e simplificados em muitos casos, e diferentes escalas de modelos tenham de ser utilizados (figura 4), o objectivo geral é apontar na direcção mais acertada para o planeamento da nova unidade [4]. Obviamente que a solução encontrada terá de ser validada posteriormente, e nem sempre é a mais correcta, mas tempo e problemas foram poupados.

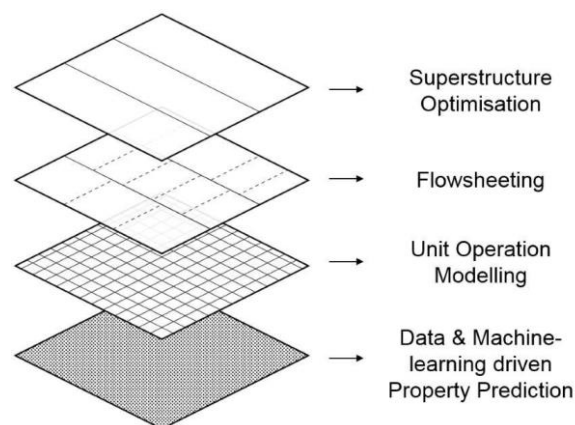


Figura 4 – Esquemática de um problema de *superstructure optimization*

Um futuro brilhante para modelagem na indústria química

Com as recentes evoluções na área de inteligência artificial e *Neural Networks*, um novo futuro se aproxima para a engenharia em geral. Na área da engenharia química, todavia, em futuro pode chegar mais depressa [5]. Maior parte dos sistemas químicos e físicos presentes na nossa indústria são de alta complexidade, difícil mesmo de traduzir e representar por meios computacionais. Estes novos métodos e algoritmos demonstraram ser capazes de representar fielmente comportamentos difíceis de prever, nomeadamente na área de controlo. O futuro pode mesmo trazer evoluções tão grandes como simplesmente o facto de se obter todas as propriedades de uma nova molécula, só pela introdução da fórmula química. Ou a obtenção de como um processo deve funcionar, só pela experiência de processos realizados previamente

Referências

- [1] – Lona, L., *A step by step approach to the Modeling of Chemical Engineering Processes*, Springer International publishing AG, 2018
- [2] – Montes, F., Gernaey, K., Sin, G., *Dynamic plantwide modeling and uncertainty sensitivity analysis of a pharmaceutical upstream synthesis: Ibuprofen case study*, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2018, 57(30)
- [3] – R. Hofer, J. Bigorra, *Biomass-based green chemistry: sustainable solutions for modern economies*, 2018
- [4] – Jones, M., *Multi-Scale Framework for Design and Optimisation applied to oleochemical Processes*, Graduate school Yearbook 2018, 2018, available at: https://www.kt.dtu.dk/english/About-us/Annual_Report-and-yearbooks
- [5] – Hajjar, Z., Tayyebi, S., *Application of AI in Chemical Engineering*, IntechOpen, 2018, chapter 20

A Engenharia de Materiais na Indústria Automóvel

Hugo Cardoso

Visteon, Palmela

Visteon®: uma empresa líder em tecnologia electrónica automóvel

Visteon®

A Visteon® é uma empresa mundial de carácter tecnológico, presente na indústria automóvel, com um dos mais amplos portfólios de soluções a nível de concepção e fabrico de produtos electrónicos para o cockpit de veículos (Figura 1).



Figura 1 – Portfólio de soluções Visteon®.

A Visteon® desenvolve também soluções tecnológicas como sistemas de condução autónoma que proporcionam uma melhor experiência para os condutores e passageiros. Encontra-se actualmente entre os cinco maiores fornecedores desta indústria e é o maior fornecedor mundial com produção exclusiva neste segmento.

A Visteon® emprega cerca de 10 000 colaboradores a nível mundial, com presença em 18 países. Destes fazem parte 19 unidades de produção e 18 centros tecnológicos (Figura 2).

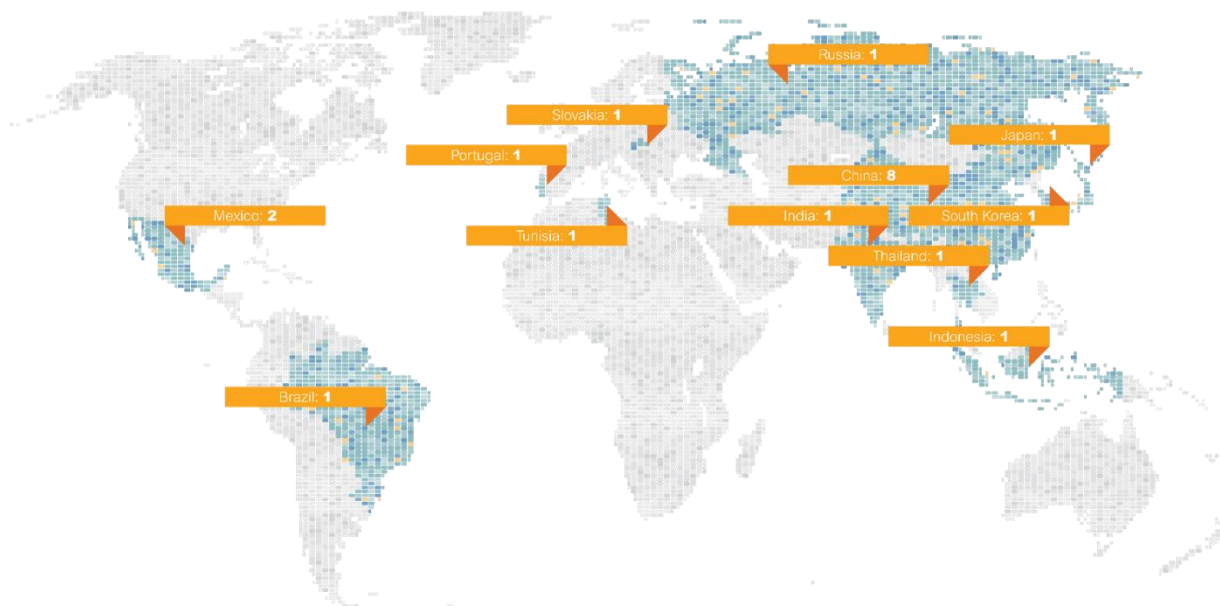


Figura 2 – Distribuição mundial das unidades de produção da Visteon®.

A unidade de produção em Portugal situa-se em Palmela e nela trabalham cerca de 900 colaboradores que produzem diariamente 16 000 produtos acabados que são expedidos para os clientes em 125 localizações diferentes (Figura 3).



Figura 3 – Unidade de produção da Visteon® em Palmela.

O papel de um Engenheiro de Materiais

A indústria automóvel é caracterizada por volumes de produção elevados associados a rigorosos padrões de qualidade e encontra-se constantemente em mudança para se adaptar aos requisitos de clientes. O mesmo se verifica na complexidade de produtos aos níveis de desenvolvimento, processos de fabrico e componentes. É neste cenário que um engenheiro de materiais se torna uma mais valia uma vez que domina a interação entre os diferentes tipos de materiais que constituem um único producto e consegue relacionar-se com outras áreas técnicas de modo a fornecer a melhor solução para os desafios que lhe são apresentados.

Devido às suas competências técnicas, um engenheiro de materiais faz um acompanhamento próximo tanto na área de desenvolvimento de produto como na área de produção. Faz parte das suas principais funções estudar as interações entre materiais, avaliar potenciais fornecedores, desenvolver especificação de produtos, equipamentos e processos, implementar de metodologias de controlo de produção, promover uma gestão e controlo de qualidade, ou até mesmo serviços de prototipagem rápida. A integração em equipas de trabalho multidisciplinares faz com que seja necessário saber relacionar-se com outros membros da equipa, mostrando assim uma grande capacidade de adaptabilidade ao meio envolvente.

O papel de um engenheiro de materiais é bastante abrangente no meio onde se insere e representa uma mais valia técnica para a empresa com que colabora.

Referências

[1] –Visteon. (2019). Consultado a 10 de Janeiro de 2019, disponível em: <https://visteon.com/> .

O que faz um engenheiro químico

Sebastião S. Alves,

Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

SUMÁRIO:

Sem produtos químicos a vida moderna seria impossível. Sem Química não se conseguem sintetizar os produtos químicos indispensáveis, mas sem **Engenharia Química** não se conseguem fabricar nas quantidades apreciáveis necessárias à sociedade moderna. O engenheiro químico não é um químico. Sabe química, mas tem que saber **produzir em quantidade**.

1) VIVER SEM QUÍMICA

Sem a Química e os seus produtos produzidos **em quantidade**:

- Não teríamos cimento, aços, plásticos, tintas, aglomerados de madeira, vidro, ou seja, os nossos edifícios colapsavam.
- Não haveria plásticos, aglomerados de madeira, tintas, vidro, ligas metálicas, ou seja:
 - Muitas das nossas mobílias e eletrodomésticos desapareciam.
 - A caixa da televisão evaporava-se: lá se iam a telenovela, as séries...
 - Sem as embalagens de plástico e vidro e cartão e papel, o leite e os sumos e o açúcar e o vinho derramavam os conteúdos nos armários e no frigorífico e nas bancadas, e era uma grande mixórdia...
- Não haveria fibras, corantes, resinas e plásticos, ou seja, botões e elásticos da nossa roupa (quando não a própria roupa) desapareciam, com consequências escandalosas para o decoro...
- Não haveria papel, plástico, tinta, materiais para eletrónica: acabavam-se os livros, mas também os computadores.
- Não haveria a maior parte dos produtos farmacêuticos. Voltava a morrer-se de infeções. Voltavam a tuberculose e a **peste**.
- Não haveria adubos: seria a **fome** em muito larga escala!
- Uma única coisa de bom: não haveria pólvora nem explosivos! A indústria da guerra voltava à bigorna e à carpintaria! **Porém**, nas pedreiras também voltávamos à picareta...

2) O QUE FAZ UM QUÍMICO

Um químico lida com produtos químicos em pequenas quantidades: sabe sintetizá-los, modificá-los, separá-los, analisá-los. Foi o químico quem inventou os produtos existentes, será o químico a inventar os próximos.

Exemplo: Considere-se a reação: $A + B \rightarrow B + C$.

O químico realiza a reação em bancada com material à escala de copos, tubos de ensaio e varetas de vidro para agitação

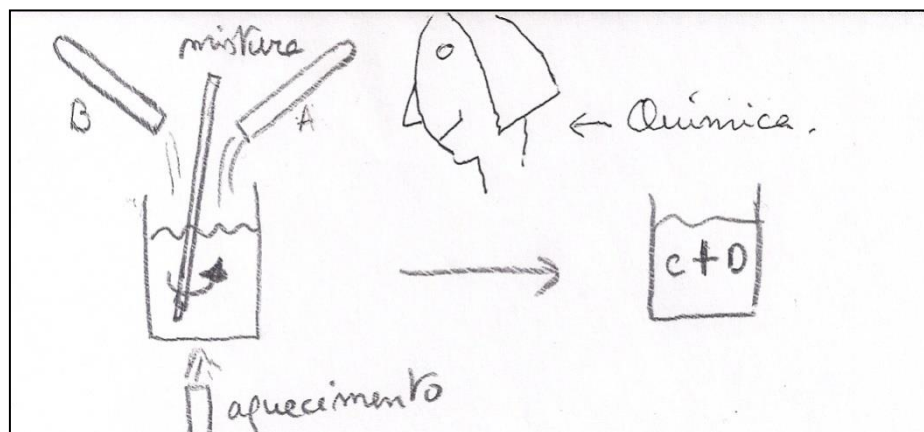


Figura 1 – Reação química em laboratório.

3) O QUE FAZ UM ENGENHEIRO QUÍMICO

O que o químico fez em ponto pequeno, tem o engenheiro químico que traduzir para toneladas:

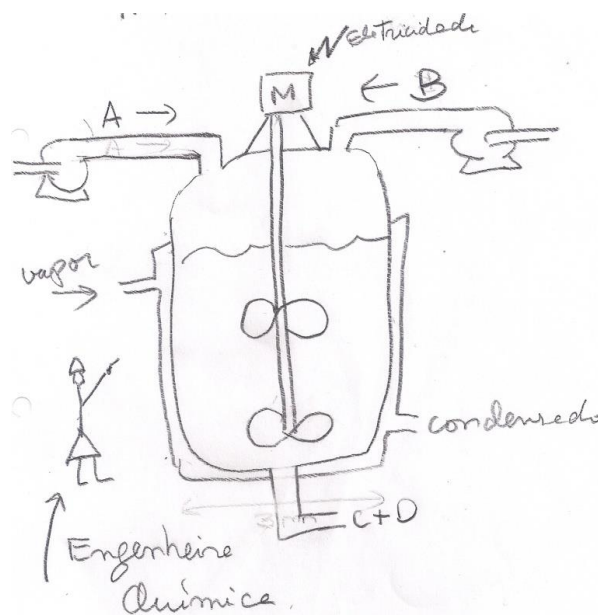


Figura 2 – Reação química em reator industrial.

Os problemas que o Engenheiro Químico tem que resolver neste caso incluem:

- Calcular o volume do reator – depende das quantidades necessárias dos produtos C + D e da velocidade da reação
- Definir o sistema de transporte de A e B, e C+D – diâmetro de conduta, escolha das bombas, eletricidade para as bombas
- Definir sistema de mistura – tipo e tamanho de agitadores, velocidade de agitação, eletricidade para o motor.
- Estabelecer maneira de aquecer ou arrefecer reação, consoante seja endotérmica ou exotérmica – calcular área de aquecimento e consumo de vapor ou água refrigerada.
- Estabelecer sistema de controlo de temperatura.
- Arranjar maneira de separar os produtos C e D, de forma a obtê-los puros – destilação? Evaporação e cristalização? Centrifugação ou filtração? Etc, etc. A **separação e purificação** dos produtos é normalmente o mais difícil num processo e ocupa a maior parte da fábrica.

Nem sempre o Engenheiro Químico está a fazer cálculos destes. Muitas vezes está a usar os seus conhecimentos de Matemática, Física Aplicada, Química, Tecnologia Química, Informática e Economia para fazer diagnóstico quando as coisas correm mal numa fábrica, propor melhoramentos e otimização, planear produção, gerir pessoal, etc.

A formação do Engenheiro Químico concede-lhe uma enorme flexibilidade (maior do que a da maioria das engenharias) e há engenheiros químicos a trabalhar em química, em investigação, em consultadoria, no ensino, na proteção ambiental, em informática, e na administração de empresas e países.

Elementos sem fronteiras

Vasco D. B. Bonifácio

Institute for Bioengineering and Biosciences, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

I saw in a dream a table where all the elements fell into place as required. Awakening, I immediately wrote it down on a piece of paper.

D. Mendeleev, 1869.

História

A tabela periódica dos elementos químicos (TP) é um dos mais fascinantes ícones da Ciência. A organização dos elementos químicos, proposta por Dimitri Mendeleev em 1869, é verdadeiramente extraordinária; não só pela originalidade (fruto de um sonho), mas também pela forma como Mendeleev conseguiu ordená-los de forma simples, usando apenas o número atômico, prevendo mesmo o lugar de outros à data ainda não descobertos!

Passados 150 anos, a composição da TP é muito diferente da sua versão original, que continha apenas 63 elementos químicos (Figura 1).

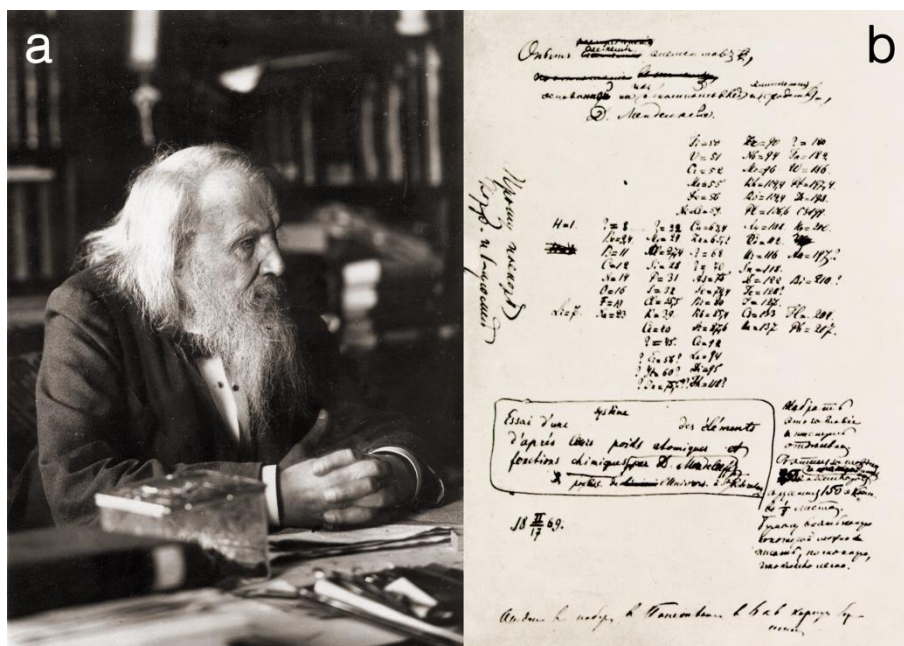


Figura 1 – O nascimento da Tabela Periódica. Dimitri Mendeleev (a) e sua proposta original em 1869 (b).

São neste momento conhecidos 118 elementos químicos, alguns dos quais apenas descobertos nas últimas décadas. Na realidade os elementos químicos naturais são apenas 90. Existem 4 que são obtidos a partir destes 90 por um processo chamado decaimento radioativo. Isto significa que existem 24 elementos químicos que foram sintetizados em laboratório (95 a 118). A síntese de um elemento químico é um processo complexo. É necessário um equipamento muito especial a que damos o nome de ciclotão e são produzidas quantidades muito pequenas em cada reação. Como os seus tempos de vida são muito curtos (de minutos a segundos...) poderão ser necessários vários anos para se comprovar a sua formação!

Mas não é só a descoberta de novos elementos químicos que tem mantido a dinâmica da PT. A imaginação dos cientistas tem conduzido à elaboração de TPs salientando as diferentes propriedades dos elementos e usando as mais diversas formas e feitios. Horizontais, em espiral, em hélice ou mesmo tridimensionais, em versão vídeo ou em áudio [1], existem centenas de versões (Figura 2) [2].

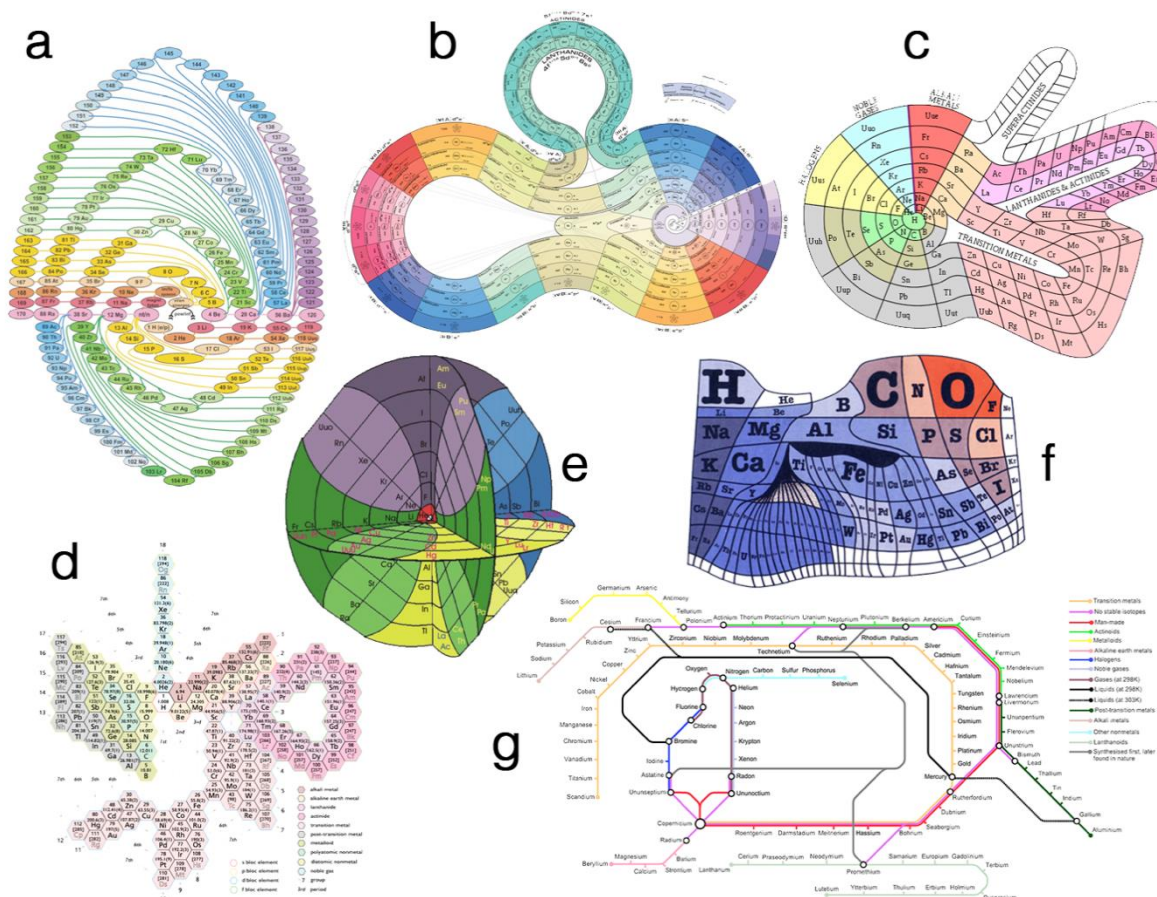


Figura 2 – Exemplos de Tabelas Periódicas. A. Makeyev 2011 (a), J.F. Hyde 1975 (b), T. Benfey 1960 (c), J. Moran 1999 (d), Giros cóptica 2007 (e), Wm. F. Sheehan 1970 (f), M. Lorch, 2013 (g).

Em busca dos elementos químicos

A química está presente em tudo o que nos rodeia. Todos temos essa percepção. Contudo, na maior parte das vezes, a química está mais próxima do que imaginamos. Se procurarem bem nos vossos bolsos vão encontrar muitos elementos da TP. Por exemplo, as moedas que usamos todos os dias são feitas com diversos metais, tais como ferro, cobre, zinco, alumínio, estanho e níquel! Este último até pode causar-nos alergias. Sim, há quem seja alérgico ao dinheiro...

Mas, nos nossos bolsos também encontramos um amigo inseparável (para muitos), o telemóvel inteligente ou *smartphone*. Cada telemóvel tem na sua constituição, desde a bateria ao ecrã, dezenas de elementos químicos. De facto, são cerca de 38 os elementos que usamos para receber e enviar chamadas, trocar mensagens ou fazer aquele *post* no twitter ou no instagram. A grande procura de telemóveis está a preocupar os fabricantes uma vez que a reciclagem de muito dos elementos químicos usados no seu fabrico é de apenas 1%. Num futuro próximo terá que ocorrer uma mudança da tecnologia de fabrico actual pois alguns elementos deixarão de estar disponíveis. Tal como outros recursos naturais, há elementos químicos que também correm o risco de extinção [3] (Figura 3).

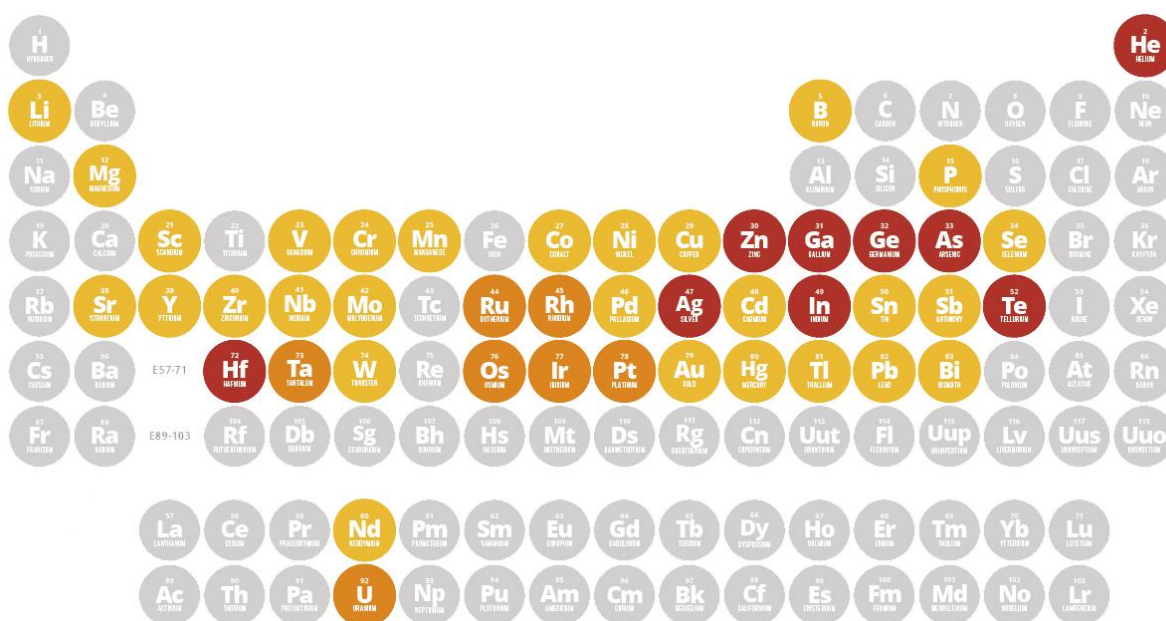


Figura 3 – Elementos químicos em risco de extinção. Disponibilidade limitada com futuro risco de fornecimento (laranja claro), disponibilidade ameaçada por uso excessivo (laranja) e sério risco de extinção nos próximos 100 anos (vermelho). Adaptada da ref. [3].

Os elementos químicos não têm fronteiras, e nós próprios somos uma TP viva. No nosso corpo estão presentes cerca de 60 elementos químicos. Pensa-se que apenas 22 são essenciais à vida e mais alguns

poderão ter um papel igualmente importante, mas os restantes parecem não ter um papel activo no nosso metabolismo [4].

Se continuarmos a procurar vamos encontrar os elementos químicos em muitos outros locais e objectos. Só precisamos de conhecê-los e estar atentos, e a Tabela Periódica é uma grande ajuda nesta descoberta!

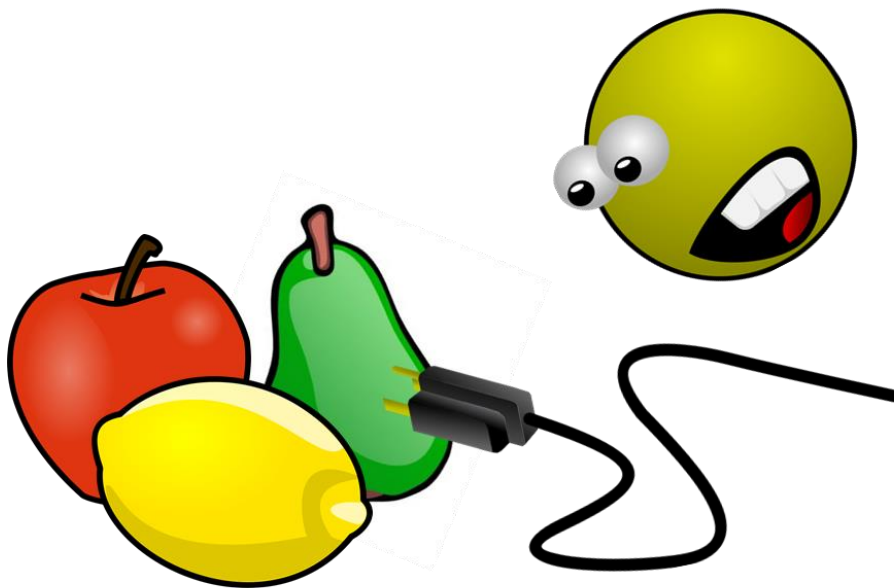
Referências

- [1] V.D.B. Bonifácio, QR coded audio periodic table: A mobile-learning tool, *J. Chem. Educ.* **2012**, *89*, 552-554.
- [2] As diferentes versões da Tabela Periódica foram compiladas numa base de dados disponível online: <http://bit.ly/tabelasperiodicas>.
- [3] A. Brunning, The Periodic table's endangered elements. Chemistry Innovation Knowledge Transfer Network. ACS Green Chemistry Institute.
- [4] F.H. Nielsen, Ultratrace minerals *in* Modern nutrition in health and disease (A.C. Ross, B. Caballero, R.J. Cousins, K.L. Tucker, T. R. Ziegler, Eds.), Baltimore, Williams & Wilkins, 283-303, 1999.

Socorro, a Eletricidade Está em Toda a Parte¹

Alda Simões

Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química,
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Imaginemos que um dia, ao acordarmos, não havia energia eléctrica disponível para usarmos. Até podia haver outras formas de energia, mas não havia mesmo nenhuma energia eléctrica - nem um bocadinho!!... Por um cataclismo qualquer, um evento que não controlávamos, ou apenas porque estávamos a ter um sonho mau, nada do que são aparelhos eléctricos iria funcionar. O que é isto ia provocar? Bom, desde logo não teríamos iluminação nas nossas casas, mas para além disso não funcionariam os rádios, os computadores, eventualmente o esquentador para o banho, a torradeira para o pequeno almoço, mas também o forno de microondas, o elevador do prédio, os semáforos na rua, o motor de arranque dos automóveis, os computadores, laptops e telemóveis, os comboios, os sistemas de telecomunicações...que desastre!

Bom, deixemos este pesadelo e pensemos um pouco sobre a energia eléctrica. Existem muitas formas de energia, e felizmente é possível transformar formas em outras mais facilmente utilizáveis. Por exemplo, a corrente de água de um rio pode alimentar um sistema de turbinas

¹ Palestra publicada no Livro dos Laboratórios Abertos 2015

que vai produzir energia eléctrica que é lançada na rede. Da queima de carvão ou de outros combustíveis é possível produzir vapor que vai por sua vez pôr partes mecânicas em movimento e a partir daí produzir energia eléctrica. A energia do vento, ao pôr as pás de um moinho eólico em movimento, pode também ser transformado em energia eléctrica. E a energia das ondas, e a energia solar... tantas origens possíveis para a energia eléctrica, e mesmo assim por vezes não é suficiente!

Do exemplo assustador descrito atrás percebemos facilmente porquê os países ricos em petróleo são tão determinantes na economia mundial. O acesso às fontes de energia faz mover o mundo e está na origem de muitas das guerras travadas no nosso planeta.

Onde é que entra aqui a Química? Um dos problemas da conversão de formas de energia é a baixa eficiência. Ou seja, cada vez que transformo uma porção de energia (por exemplo, energia térmica da combustão de carvão em energia eléctrica), há uma parte importante que se perde. Por vezes mais de metade. Ora uma forma de produção de electricidade que conduz a menores perdas é a que utiliza energia eletroquímica. Mas o que é isso da energia eletroquímica? Todos nós utilizamos esta forma de energia, apesar de não a conhecermos bem. Trata-se das baterias e pilhas que usamos em aparelhos portáteis, tais como comandos remotos, aparelhos telecomandados, mas também telemóveis e computadores portáteis e de uma forma geral na electrónica de uso corrente – Figura 1.

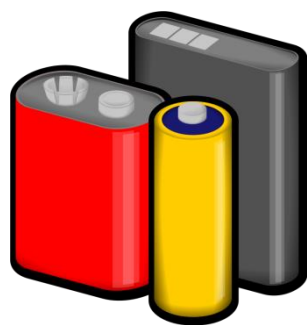


Figura 1- Pilhas e baterias de uso corrente.

Mas então de onde vem esta energia? Ela é produzida directamente sob a forma de corrente eléctrica, pelo que não requer transformação. Ou seja, pode ser utilizada directamente desde que se use como corrente contínua.

Os princípios da Eletroquímica foram desenvolvidos por Michael Faraday em meados do século XIX. Farady foi um génio, nas áreas da Matemática, da Química e da Física – Figura 2. Foi ele um dos primeiros a identificar a corrente eléctrica. A primeira célula eletroquímica capaz de produzir electricidade foi a pilha de Volta. A pilha de Volta foi um marco importante no desenvolvimento dos sistemas produtores de energia eléctrica, sendo crucial para os

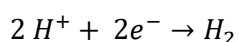
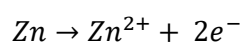
aparelhos portáteis que vieram a tornar-se tão importantes um século mais tarde. Nada acontece por acaso...



Figura 2 – Réplica do laboratório de Michael Faraday (Museu da Eletricidade, Lisboa).

Esta importante pilha de Volta consiste em quê, e como funciona?

Quando dois metais diferentes são colocados numa solução de um sal ou de um ácido, por exemplo, vão-se dar à superfície do metal reacções em que há electrões que são libertados ou captados. Num desses metais vai-se dar a oxidação, pelo passam catiões para a solução e ficam no metal electrões livres, que fluem até ao outro electrodo, onde são consumidos. A reacção em que os electrões são consumidos chama-se redução – Figura 3. No esquema da figura, a reacção de oxidação é passagem de estado de oxidação zero para +2 no caso do zinco, ao passo que a reacção de redução é a do ião H^+ da água:



Isso significa que o ânodo se vai dissolvendo, mas o cátodo se mantém.

O que Alessandro Volta fez (início do século XIX) foi montar um conjunto de células, empilhadas (dai o nome PILHA) na seguinte ordem:

cátodo1/eletrólito/ânodo1/cátodo2/eletrólito/ânodo2...

e assim sucessivamente. Os cátodos eram constituídos por discos de prata ou cobre e os ânodos eram de zinco. O eletrólito consistia numa solução de sal (cloreto de sódio, ou seja, sal de cozinha) embebido em discos de cartão ou de um pano absorvente – Figura 4.

As pilhas tradicionais (i.e., não recarregáveis), usadas durante muitas décadas, foram desenvolvidas a partir desta pilha e das versões que se lhe seguiram.

Sugestão: esta é uma experiência que podem fazer em casa. Os elétrodos de cobre podem ser feitos com moedas de 50 cêntimos (que não ficam danificadas), e os ânodos podem ser feitos com anilhas de aço galvanizado (recoberto com zinco). Até podem acender uma luz LED (Figura 5)!!

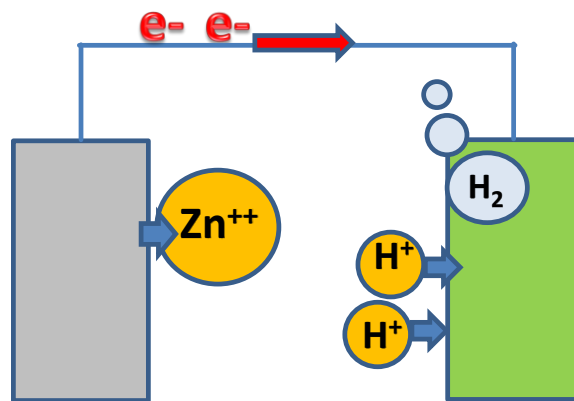


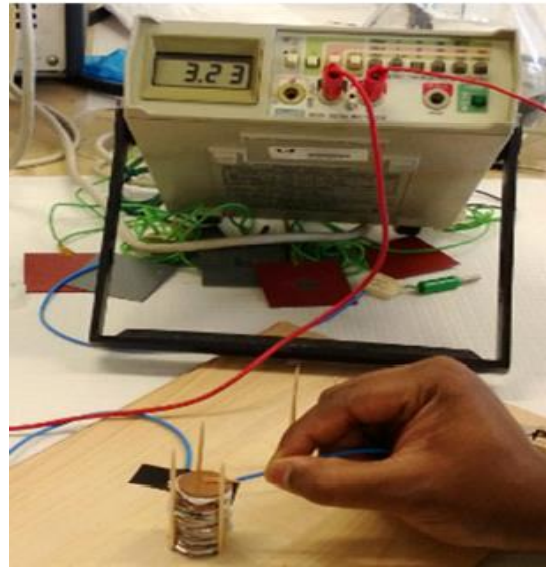
Figura 3 – Princípio de funcionamento de uma célula electroquímica funcionando com um meio ácido e ânodo de zinco.



Figura 4- A pilha de Volta (museu da Eletricidade, Lisboa).



(a)



(b)

Figura 5 – Montagem rudimentar de uma pilha de Volta (a) e medida da respectiva voltagem (b).

O clube dos 118 – Palestra interativa

No ano internacional da Tabela periódica juntamo-nos à conversa sobre os elementos que constituem o nosso universo.

A palestra interativa sobre o clube dos 118 foi dirigida aos alunos do ensino básico do segundo e terceiro ciclos.

Nesta visita aos laboratórios abertos tiveram oportunidade de descobrir os segredos dos 118 elementos atualmente conhecidos.

O clube dos 118

Vasco D. B. Bonifácio

Institute for Bioengineering and Biosciences, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Todos diferentes todos iguais

A tabela periódica dos elementos químicos (TP) é um dos mais fascinantes ícones da Ciência. A organização dos elementos químicos, proposta por Dimitri Mendeleev em 1869, é verdadeiramente extraordinária; não só pela originalidade (fruto de um sonho), mas também pela forma como Mendeleev conseguiu ordená-los de forma simples, usando apenas o número atómico, prevendo mesmo o lugar de outros à data ainda não descobertos. Portanto na tabela periódica os elementos não se encontram arrumados ao acaso, estão muito bem organizados! (Figura 1).

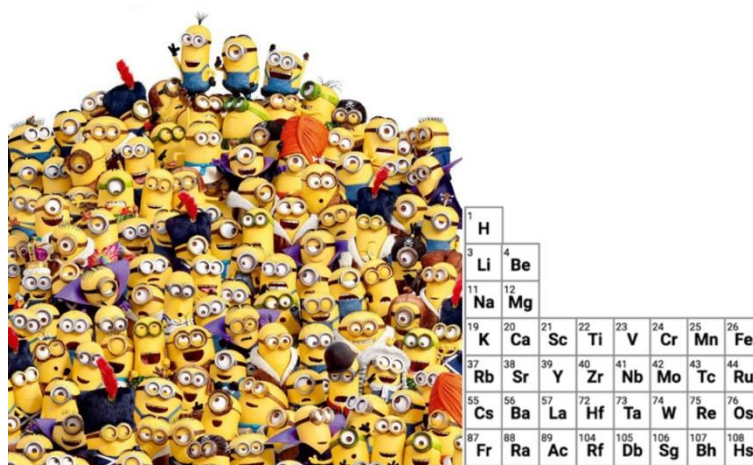


Figura 1 – Organização dos elementos químicos. Na tabela periódica os elementos químicos estão organizados pelo seu número atómico.

Passados 150 anos, a composição da TP é muito diferente da sua versão original, que continha apenas 63 elementos químicos. São neste momento conhecidos 118 elementos químicos, alguns dos quais apenas descobertos nas últimas décadas. Na realidade os elementos químicos naturais são apenas 90, os outros foram sintetizados em laboratório ou derivam dos naturais. Diferentes entre si, os elementos partilham, no entanto, a mesma constituição: protões, neutrões e electrões!

Em busca dos elementos químicos

A química está presente em tudo o que nos rodeia. Todos temos essa percepção. Contudo, na maior parte das vezes, a química está mais próxima do que imaginamos. Se procurarem bem nos vossos bolsos vão encontrar muitos elementos da TP. Por exemplo, as moedas que usamos todos os dias são feitas com diversos metais, tais como ferro, cobre, zinco, alumínio, estanho e níquel! Este último até pode causar-nos alergias. Sim, há quem seja alérgico ao dinheiro...

Mas, nos nossos bolsos também encontramos um amigo inseparável (para muitos), o telemóvel inteligente ou *smartphone*. Cada telemóvel tem na sua constituição, desde a bateria ao ecrã, dezenas de elementos químicos. De facto, são cerca de 38 os elementos que usamos para receber e enviar chamadas, trocar mensagens ou fazer aquele *post* no twitter ou no instagram. A grande procura de telemóveis está a preocupar os fabricantes uma vez que a reciclagem de muito dos elementos químicos usados no seu fabrico é de apenas 1%. Num futuro próximo terá que ocorrer uma mudança da tecnologia de fabrico actual pois alguns elementos deixarão de estar disponíveis. Tal como outros recursos naturais, há elementos químicos que também correm o risco de extinção [1] (Figura 3).

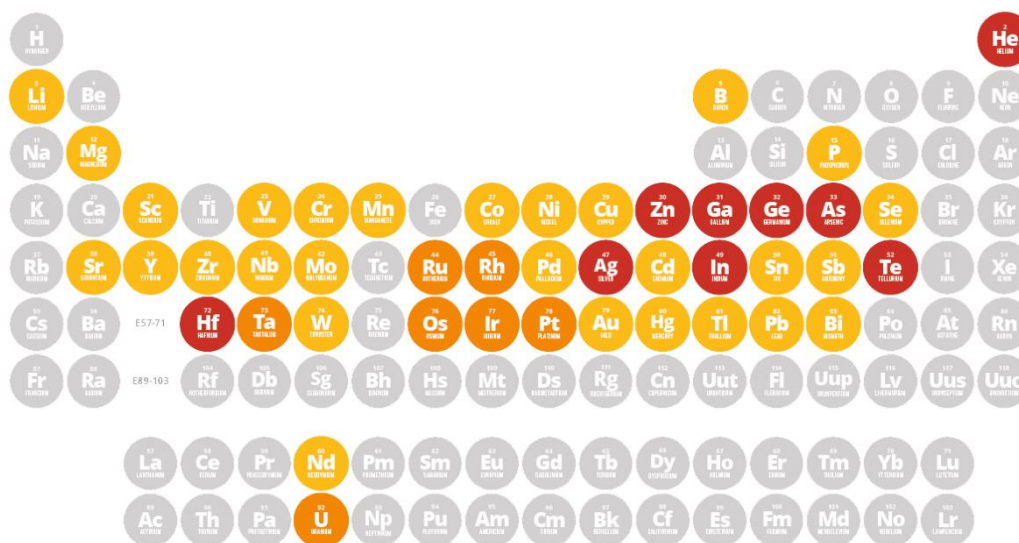


Figura 2 – Elementos químicos em risco de extinção. Disponibilidade limitada com futuro risco de fornecimento (laranja claro), disponibilidade ameaçada por uso excessivo (laranja) e sério risco de extinção nos próximos 100 anos (vermelho). Adaptada da ref. [3].

Nós próprios somos uma TP viva. No nosso corpo estão presentes cerca de 60 elementos químicos. Pensa-se que apenas 22 são essenciais à vida e mais alguns poderão ter um papel igualmente importante, mas os restantes parecem não ter um papel activo no nosso metabolismo [2].

Se continuarmos a procurar vamos encontrar os elementos químicos em muitos outros locais e objectos. Só precisamos de conhecê-los e estar atentos, e a Tabela Periódica, à semelhança de um mapa, é uma grande ajuda nesta descoberta!

Referências

- [1] A. Brunning, The Periodic table's endangered elements. Chemistry Innovation Knowledge Transfer Network. ACS Green Chemistry Institute.
- [2] F.H. Nielsen, Ultratrace minerals *in* Modern nutrition in health and disease (A.C. Ross, B. Caballero, R.J. Cousins, K.L. Tucker, T. R. Ziegler, Eds.), Baltimore, Williams & Wilkins, 283-303, 1999.

Experiências no Laboratório

Sempre uma das grandes atrações dos laboratórios abertos é a altura em que os nossos visitantes têm oportunidade de se envolverem na atmosfera de um laboratório e participar nas várias experiências que foram desenhadas especialmente para uma aprendizagem divertida.

Assim, os mistérios da Ciência vão sendo desvendados, através dos sete módulos experimentais, com o entusiasmo já habitual de todos os envolvidos.

Poema

Fernando Cunha

Aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química,
Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Bem-vindos aos nossos laboratórios!

Bem-vindos à nossa faculdade!

Aqui vão aprender muita coisa

E vão ver magia de verdade.

Mas portem-se bem e tenham cuidado!

Prestem atenção ao que vos digo:

Por mais belas que sejam as nossas poções

Elas não estão livres de perigo!

Temos gelo sem água e ar líquido;

Ácidos, mil cores, tubos e buretas.

O nosso caldeirão são os gobelés;

As nossas varinhas chamam-se varetas.

Aprendam com os nossos cientistas

E vão ver que podem acreditar em mim:

A ciência, o saber e a química

São um universo de magia sem fim!

Nitrogénio: Como Relevante é o 7

Maria João Ferreira, Luis G. Alves, José Armando L. da Silva

Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Introdução

O elemento químico nitrogénio tem na Tabela Periódica o número atómico 7. A sua importância é muito grande a vários níveis, sendo constituinte de todos os seres vivos, por exemplo das biomoléculas estruturais, como é o caso das proteínas ou dos ácidos nucleicos.

O nitrogénio não ocorre, exceto em condições muito específicas, como átomo isolado e precisa de um outro átomo equivalente para formar uma molécula. O nitrogénio molecular, N_2 , nas condições de pressão e temperatura do nosso quotidiano, é um gás, sendo o principal constituinte da atmosfera (cerca de 78%). Todavia, caso se baixe muito a temperatura (até cerca de -196°C e à pressão de 1 atm) passa a ser um líquido. Para permanecer durante períodos consideráveis nesse estado físico, é preciso armazená-lo em depósitos adequados (ver Figura 1), os quais têm de ter uma estrutura que reduza muito a transferência de calor para o exterior.



Figura 1 – Reservatório para conservar o nitrogénio líquido; caso este entre em contacto com uma superfície a temperatura superior, passa rapidamente ao estado gasoso.

O nitrogénio líquido tem várias aplicações, como para a conservação de células (designada criopreservação) para serem usadas posteriormente em estudos ou aplicações específicas, na remoção de verrugas (Figura 2) ou quistos (conhecida por criocirurgia), assim como em equipamentos (tanto

científicos, como de diagnóstico) que necessitam de temperaturas muito baixas para serem utilizados adequadamente.



Figura 2 – Extração de uma verruga com nitrogénio líquido

Além destes casos, tendo em conta a temperatura de condensação do nitrogénio e ainda o facto de não ser reativo nas condições de utilização, pode ser usado para fins didáticos ou lúdicos, como, por exemplo para encher balões sem serem soprados, produzir ferramentas feitas com papel que podem pregar pregos em madeira, pulverizar borracha ou folhas de árvore como se fossem vidro quebradiço, ou até fazer um «caldeirão mágico» [1,2], e ainda colocar bolas a girar sem lhes tocar. É acerca deste último tópico que será exemplificada uma aplicação do nitrogénio líquido, usando bolas de pingue-pongue furadas, mergulhadas previamente em nitrogénio líquido e, de seguida, deixadas soltas à temperatura ambiente.

As bolas «loucas»

Para esta experiência são precisas bolas de pingue-pongue (outras podem ser usadas desde que sejam ocas e não alterem a sua estrutura durante a sua preparação ou ao longo da experiência) que devem ser furadas uma única vez. O diâmetro do furo deve ser pequeno para que a rotação da bola possa durar mais tempo (um valor de 1 mm é adequado). Há, no entanto, um pormenor muito importante, **o furo não pode ser feito perpendicularmente à superfície da bola** (Figura 3), mas sim com um ângulo de perfuração diferente de 90°. Embora seja facultativo, pode-se decorar a superfície das bolas, por exemplo, com pontos das cores do arco-íris distribuídos por circunferências imaginárias geradas em torno do furo. De seguida, as bolas devem ser mergulhadas no nitrogénio líquido seguras com uma pinça (**esta parte deve ser efetuada com a utilização de óculos de segurança e a pinça deve ser colocada ou retirada do nitrogénio líquido com a mão protegida por luvas adequadas; seguidamente, no soltar da bola da pinça, caso seja necessário o auxílio de uma mão, esta deve estar protegida com luvas apropriadas**) de modo a encher, o mais possível, o interior da bola com nitrogénio líquido.

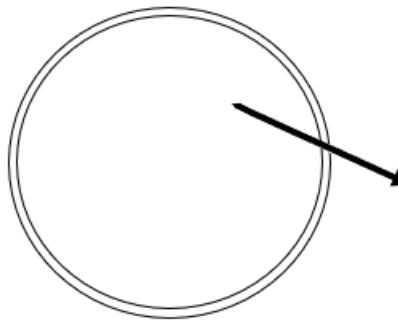


Figura 3 – Como furar a bola

Ao ser libertada da pinça, a bola gira pela superfície em que a largamos porque o furo funciona como um propulsor que fornece a energia necessária a rotação. Uma vez que o furo foi feito obliquamente à superfície da bola a saída de nitrogénio em forma de gás do seu interior é feita tangencialmente. Caso o furo fosse feito na perpendicular, a saída do nitrogénio não seria tangencial e não causava a rotação da bola (Figura 4).

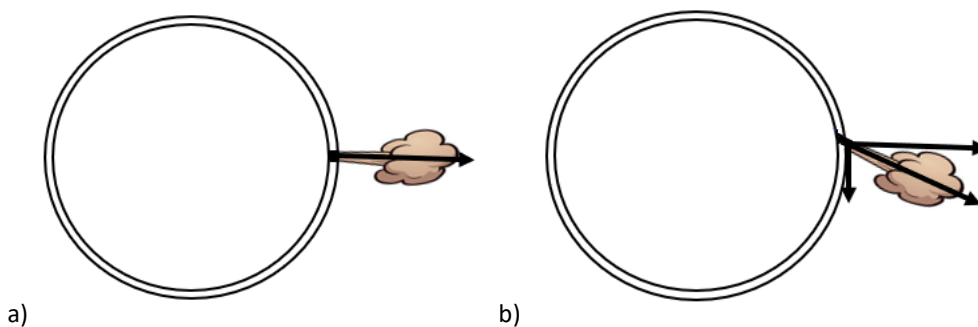


Figura 4 – Resultante das forças aplicadas na bola: a) Furo feito na perpendicular; b) Furo feito tangencialmente à superfície

Como seria de esperar, à medida que se vai esgotando o nitrogénio líquido no interior da bola, a sua rotação vai diminuindo com o tempo, até parar. O tamanho do furo, o ângulo em que foi feito, assim como a quantidade de nitrogénio líquido que entra dentro da bola durante a imersão, condicionam a velocidade e o tempo de rotação.

Por outro lado, caso se tenha decorado a bola com as cores do arco-íris, como foi referido acima, seria possível observar a mudança de cor da bola, quando esta retardar significativamente a sua velocidade de rotação, passando de uma cor aparentemente única (resultante da fusão das cores na nossa retina causada pela velocidade de rotação) para o padrão decorativo feito previamente na superfície da bola (Figura 5). Com esta experiência poderemos aprender Física e Química e somos capazes de fazer coisas que nem os grandes jogadores conseguem com uma bola quando estão em campo.



Figura 5 – Bola em rotação («louca») (A) e parada (B).

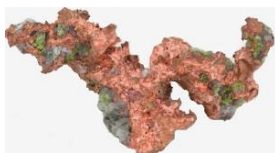
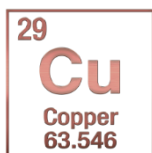
Referências

- [1] - M. Fernanda N.N. Carvalho, José Armando L. da Silva, Hermínio P. Diogo, *Quim. Nova*, 2016, **39**, 1136-1140.
- [2] - Maria Fernanda N.N. Carvalho, José Armando Luísa da Silva, *Coisas que só acontecem com o frio! Laboratórios Abertos 2018*, Amélia Lemos, Cristina Gomes de Azevedo, Dulce Simão (Editoras), **2018**, 89-92.

Cobre: um metal de transição

Sílvia Chaves

Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Introdução

O cobre, um metal rosa-alaranjado descoberto na pré-história, foi o primeiro a ser trabalhado pelo Homem (cerca de 8000 a.C.). O seu nome deriva do latim, *Cyprium aes*, que significa um metal oriundo de Chipre (era romana) [1]. Na Idade do Bronze foi descoberto que o cobre ficava mais duro se fosse enriquecido com estanho (3500 a.C.). Este elemento pode ocorrer naturalmente na natureza mas também ser isolado de minerais tais como calcopirite ou bornita. Os maiores produtores de cobre do mundo são o Chile, o Peru e a China.

Tradicionalmente, o cobre, tal como a prata e o ouro, têm sido usados no fabrico de moedas ao longo dos tempos. Outras aplicações são ainda em equipamento eléctrico (fios e motores), na construção civil (telhados e canalizações), na indústria (permutadores de calor), na agricultura (como fungicida, na forma de sulfato de cobre) e como pigmentos (os seus sais). Do ponto de vista biológico, o cobre em concentração vestigiária é um elemento essencial ao funcionamento de várias enzimas, se bem que seja tóxico em concentrações elevadas. Doenças genéticas, tais como a doença de Wilson (excesso de Cu) ou de Menkes (carência de Cu), podem afectar gravemente o metabolismo do cobre no organismo.

Trata-se de um elemento químico com o símbolo **Cu** e número atómico 29, sendo um elemento de transição externa (ver **Figura 1**). Os metais de transição estão localizados entre os grupos 2 e 13 da Tabela Periódica. São definidos pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) como elementos cujos átomos possuem orbitais d incompletamente preenchidas ou por serem capazes de formar catiões com um subnível d incompleto. O nome “transição” resulta da localização destes elementos na Tabela Periódica, sendo feita a transição do grupo 2 ao 13 por sucessiva adição de electrões ao subnível d.

A maioria dos metais de transição tem características semelhantes às dos outros metais, ou seja, boa condutividade térmica e eléctrica, para além de brilho. Normalmente, são ainda mais duros e possuem maiores pontos de fusão e de ebulição do que os metais alcalinos (grupo 1) e alcalino-terrosos (grupo 2), para além de estabelecerem ligações covalentes e não só metálicas com outros átomos.

Elementos representativos

Elementos de transição

Gases nobres

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
H																		He
Li	Be											B	C	N	O	F		Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl		Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br		Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I		Xe
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At		Rn
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub							

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Elementos de transição interna

Figura 1 – Representação da Tabela Periódica [2].

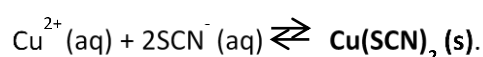
Este módulo de experiências foi concebido de modo a apresentar testes de análise qualitativa e quantitativa, envolvendo o elemento cobre e baseados em reacções colorimétricas, sem recorrer a equipamento laboratorial sofisticado.

As experiências envolvidas neste tópico são:

- Teste do tiocianato
- Doseamento por titulação complexométrica
- Distinção entre mono- e dissacáridos
- Detecção de proteínas.

Teste do tiocianato

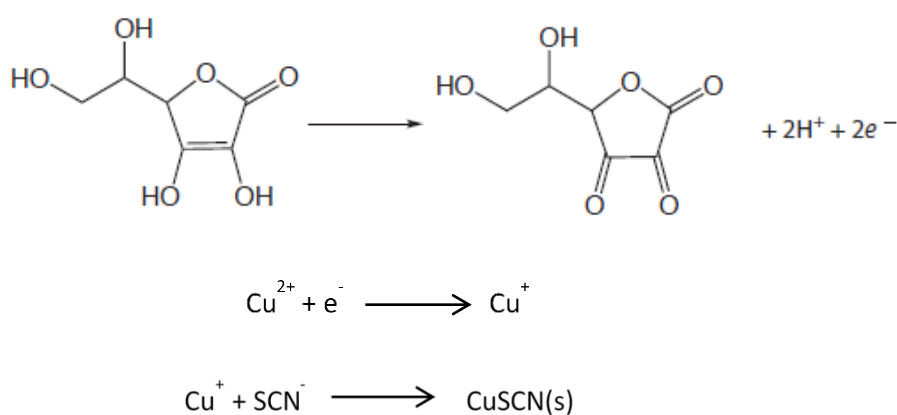
Para identificar, de forma rápida, a presença de cobre numa amostra, pode ser adicionada uma solução de um sal de tiocianato e verificar o aparecimento de um precipitado preto de tiocianato de cobre (II):



No entanto, este precipitado torna-se instável [3] por aquecimento ou na presença de um redutor (que reduz Cu(II) a Cu(I)), decompondo-se para dar um precipitado branco de tiocianato cuproso ($\text{CuSCN}_{(s)}$) com possível libertação de ácido cianídrico ($\text{HCN}_{(g)}$). O redutor pode já estar presente na amostra ou ser adicionado no laboratório. Exemplos de redutores são o ácido sulfuroso (H_2SO_3), o sulfito de sódio (Na_2SO_3), o hidrogenossulfito de sódio (NaHSO_3), o cloreto de hidroxilamónio (NH_3OHCl) ou o ácido ascórbico (vitamina C) [4].

O precipitado branco de tiocianato cuproso tem sido utilizado com fins analíticos no doseamento de cobre numa amostra por pesagem a $110\text{-}120^\circ\text{C}$ (gravimetria) [5] ou por titulação com iodato [6].

Neste teste vai observar-se a formação de um precipitado preto de $\text{Cu}(\text{SCN})_2$, por adição de tiocianato de potássio a uma solução de sulfato de cobre, bem como o seu desaparecimento, para dar origem a um precipitado branco de CuSCN , após adição de umas gotas de limão (ácido ascórbico como redutor, ver esquema abaixo e **Figura 2**) e aquecimento num banho de água.



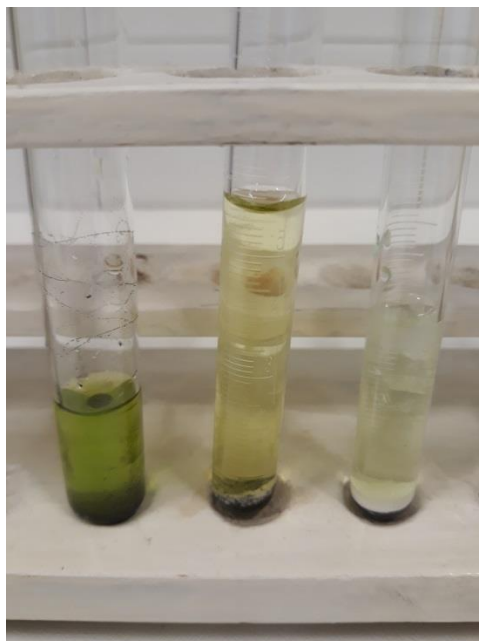
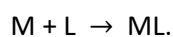


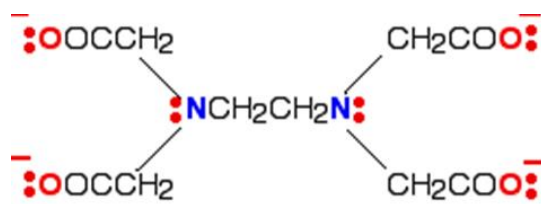
Figura 2 – Teste da presença de cobre por adição de uma solução de tiocianato de potássio na ausência (esquerda) e na presença (direita) de vitamina C; o tubo de ensaio do meio corresponde ao início da formação de CuSCN.

Doseamento por titulação complexométrica

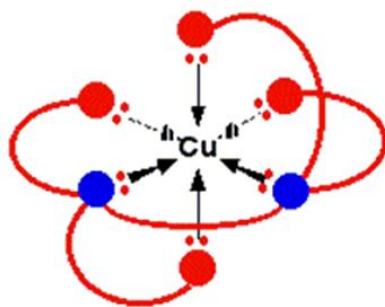
Uma reacção de complexação consiste numa reacção química entre um ião metálico (M) e um composto (L), também chamado de ligando ou complexante, que dá origem a um composto de coordenação denominado complexo metálico (ML):



Os ligandos são compostos doadores de electrões que se ligam aos iões metálicos, deste modo formando complexos. Um complexante largamente utilizado, tanto em análise química como bioquímica, medicina, diversas indústrias e tratamento de efluentes, é o EDTA, visto ser um composto fácil de obter puro e formar complexos de elevada estabilidade com a maior parte dos metais, entre os quais o cobre. O EDTA (abreviatura de ácido etilendiamino tetraacético) é um ligando polidentado que se coordena aos iões metálicos através dos seus átomos de azoto e de alguns dos átomos de oxigénio, originando, por isso, complexos extremamente fortes.



a) EDTA⁴⁻

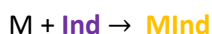


b) $[\text{Cu}(\text{EDTA})]$

Figura 3 – Estrutura do a) EDTA e do seu b) complexo de cobre.

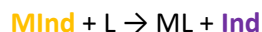
As reacções de complexação têm sido usadas quer com objectivos qualitativos (reconhecer um dado metal em solução devido ao aparecimento de uma cor característica) ou com fins quantitativos (doseamento da espécie por comparação das intensidades de cor obtidas ou por titulação complexométrica).

Em geral, numa titulação complexométrica directa, tem-se na bureta a solução de complexante e no copo de titulação a solução a titular, com o ião metálico em causa. No entanto, para detectar o ponto de equivalência da titulação, em que o complexo está completamente formado, ou seja, o ponto em que a quantidade de complexante adicionado é igual à de ião metálico a dosear, partindo do princípio que se forma um complexo 1:1 (M/L), é necessário adicionar um indicador metalocrómico à solução contida no copo de titulação. Os indicadores metalocrómicos (**Ind**) são compostos orgânicos capazes de formarem complexos (**MInd**) com determinados iões metálicos (M) e que apresentam cores distintas na forma complexada e livre.



Por sua vez, estes indicadores também têm, em geral, comportamento ácido-base, podendo apresentar cores diversas consoante o número de protões que adquirem. Sendo assim, uma boa detecção do ponto de equivalência numa titulação complexométrica exige, para além de uma reacção de complexação rápida, que o complexo **MInd** tenha cor distinta da forma livre **Ind** do indicador ao pH

em que é feita a titulação. Deste modo, no início da titulação a cor que aparece corresponde à da forma **MInd**, porque ainda não foi adicionado qualquer complexante L ao íon metálico (M), e no ponto de equivalência a cor obtida é a correspondente a **Ind** visto que todo o íon metálico M se ligou ao complexante L para dar o complexo ML. Para isto funcionar desta maneira, o complexo do metal com o indicador (**MInd**) deve ser menos estável do que o complexo do metal com o titulante (ML), caso contrário o titulante não desloca o indicador do metal no ponto de equivalência.



Na titulação complexométrica do cobre vai ser usado como indicador metalocrômico a murexida (ver **Figura 4**) e a mudança de cor, no ponto de equivalência, ocorre de amarelo (**MInd**) para violeta (**Ind**), como evidenciado na **Figura 5**.

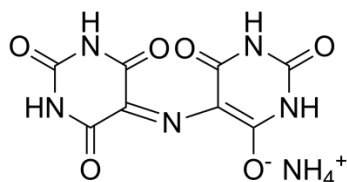
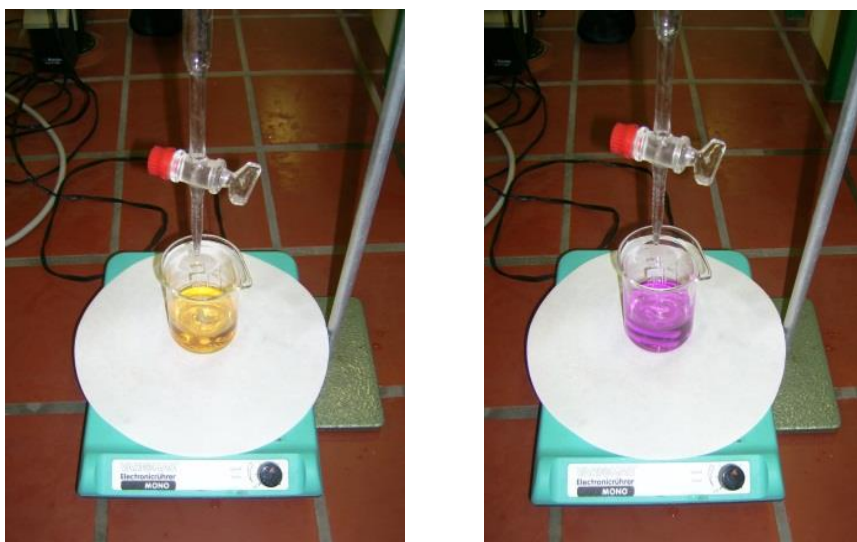


Figura 4 – Estrutura da murexida (sal de amônio do ácido purpúrico).



a)

b)

Figura 5 – Titulação complexométrica do cobre com EDTA, usando o indicador murexida: a) antes do ponto de equivalência; b) no ponto de equivalência.

Distinção entre mono- e dissacáridos

Os hidratos de carbono, e mais concretamente os açúcares, são a principal fonte de energia para o nosso corpo, mas também nos dão prazer quando ingerimos alimentos, adicionando-lhes sabor doce, aroma e textura. Os hidratos de carbono produzem ainda efeitos fisiológicos, tais como o impacto na saciedade e esvaziamento gástrico, além da influência sobre a glicémia. Entre os diversos tipos de açúcar, o mais comum é a sacarose, produzida comercialmente a partir de cana-de-açúcar ou de beterraba, e vulgarmente usada como adoçante. Os frutos contêm frutose, que tem teores mais elevados se forem uvas, mangas, peras, maçãs ou melancia mas muito menor se forem citrinos.

Os açúcares podem ser não hidrolisáveis, ou seja, **monossacáridos** (*glicose*, *ribose*, *frutose*), ou hidrolisáveis, tais como os **dissacáridos** (*sacarose*, *lactose*, *maltose*), que originam 2 moléculas de monossacáridos por hidrólise.

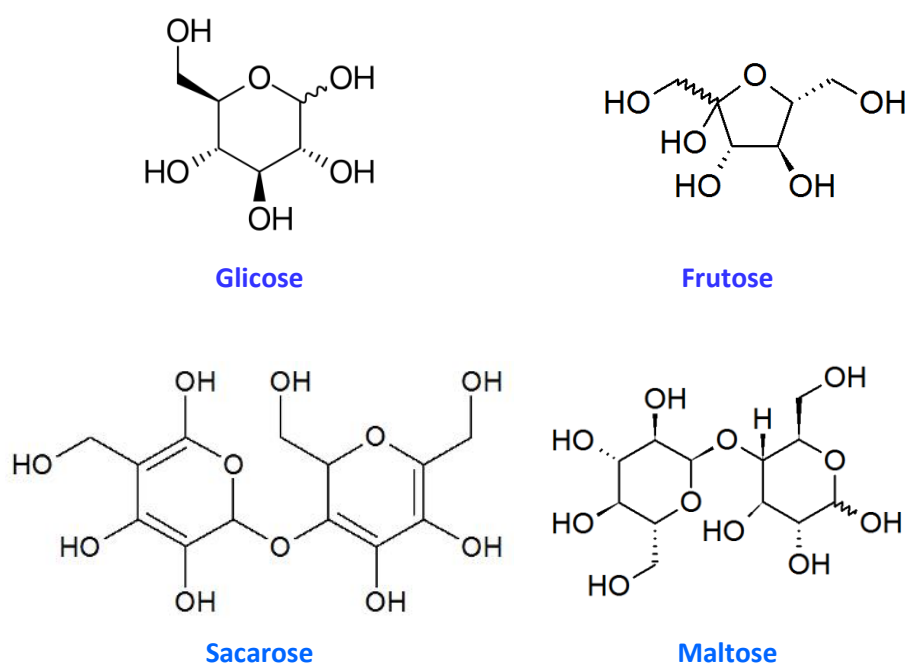


Figura 6 – Exemplos de dois monossacáridos e de dois dissacáridos.

Os açúcares que possuem um grupo OH livre na posição C-1 são bons agentes redutores e designam-se por açúcares redutores. Exemplos de açúcares redutores são **monossacáridos** como a *glicose* e a *frutose*, bem como **dissacáridos** tais como a *lactose* e a *maltose*. O teste de Barfoed [7] permite distinguir um **mono-** de um **dissacárido** redutor, através da velocidade de formação do precipitado de óxido cuproso. Com efeito, este teste baseia-se na redução de iões Cu^{2+} a Cu^+ , com formação de um precipitado vermelho de óxido cuproso (Cu_2O) em que os **monossacáridos** são oxidados mais rapidamente (2-3 min) do que os **dissacáridos** (7-12 min).



Concretamente, a utilização de uma solução de um sal de cobre (II) (acetato cúprico), em meio levemente ácido (ácido acético) e sob aquecimento, permite distinguir entre açúcares redutores **monossacáridos** e **dissacáridos**.

Na experiência realizada, a **frutose** (**monossacárido** redutor) dá origem a um precipitado vermelho de óxido cuproso (**Figura 7a**) ao fim de 3 minutos, enquanto no caso do **dissacárido sacarose** não redutor não há formação de qualquer precipitado (**Figuras 7a** e **7b**).



a)



b)

Figura 7 – Teste de Barfoed para frutose (esquerda) e sacarose (direita) ao fim de a) 3 min e de b) 15 min em banho-maria.

Detecção de proteínas

As proteínas são macromoléculas constituídas por cadeias longas, que podem incluir centenas ou milhares de unidades estruturais (os aminoácidos). As proteínas estão presentes em todos os organismos vivos e participam em vários processos celulares, tendo diversas funções no ser vivo, tais como a replicação do ADN, a resposta a estímulos, o transporte de moléculas, a catálise de reacções (enzimas) e a resposta imunitária. As proteínas diferem entre si através da sequência de aminoácidos, o que provoca o seu enovelamento numa estrutura tridimensional específica determinante da sua atividade.

Os aminoácidos que o organismo não é capaz de sintetizar devem ser obtidos através do consumo de alimentos que contenham proteínas e que são posteriormente transformadas em aminoácidos durante a digestão. As proteínas podem ser de origem animal ou vegetal, encontrando-se em alimentos tais como a carne, os ovos, o leite, o peixe e as leguminosas (feijão, lentilhas, soja, grão-de-bico).

O leite fornece várias proteínas em quantidade elevada (3-3,5g/100g leite). As proteínas lácteas dividem-se em diversas classes: caseínas (75-85%), quase todas associadas a cálcio e a fósforo, sendo responsáveis pela cor branca do leite; proteínas do lactossoro (15-22%), solúveis no soro lácteo; transferrina, lactoferrina e glicoproteínas, entre outras. Por outro lado, cada ovo contém entre 4,9g (tamanho S) e 7g (tamanho XL) de proteínas. Enquanto a gema do ovo inclui toda a gordura do mesmo, diversas vitaminas (A, D, E, K), minerais (fósforo, potássio, magnésio) e um pouco menos do que metade do conteúdo proteico total do ovo, a clara do ovo não contém gordura mas possui um teor mais elevado de proteínas (ovalbumina, ovotransferrina, ovomucina).

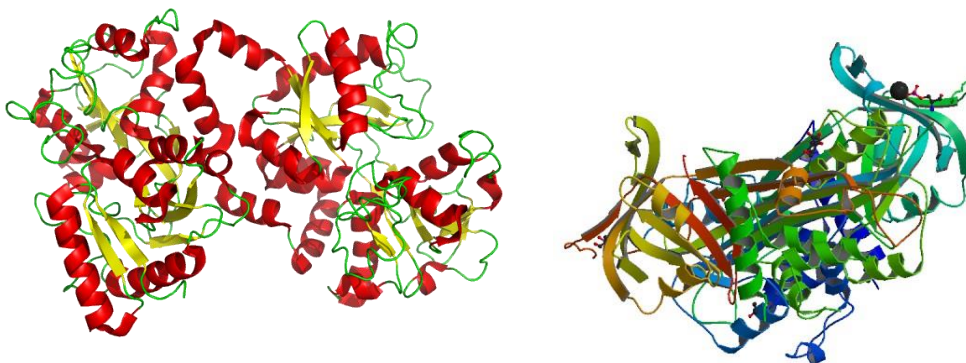
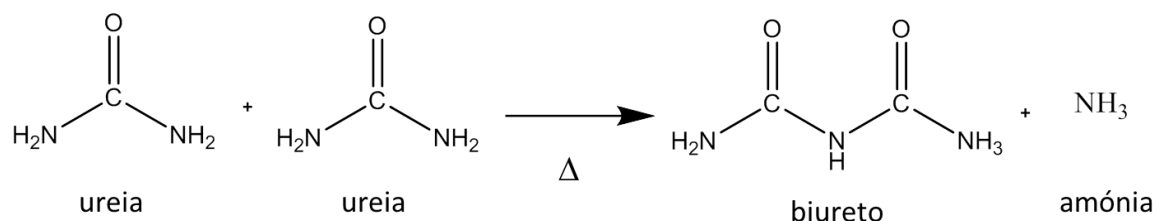


Figura 8 – Estrutura tridimensional da lactoferrina (<https://en.wikipedia.org/wiki/Lactoferrin>) e da ovalbumina ([doi:10.2210/pdb1ova/pdb](https://doi.org/10.2210/pdb1ova/pdb)).

Nesta experiência irá ser realizado o teste do biureto para detecção de proteínas no leite, na gema e na clara de ovo, utilizando uma solução de um sal de cobre. Este teste baseia-se no facto de soluções alcalinas que contêm biureto (composto resultante da decomposição da ureia a 180°C) desenvolverem uma cor violeta na presença de sulfato de cobre, devido à formação de um complexo entre o íão cobre e os átomos de azoto do biureto.



Na **Figura 9** é possível verificar a semelhança entre as ligações existentes na molécula de biureto ao cobre e as correspondentes ligações peptídicas estabelecidas para os aminoácidos nos peptídeos e proteínas.

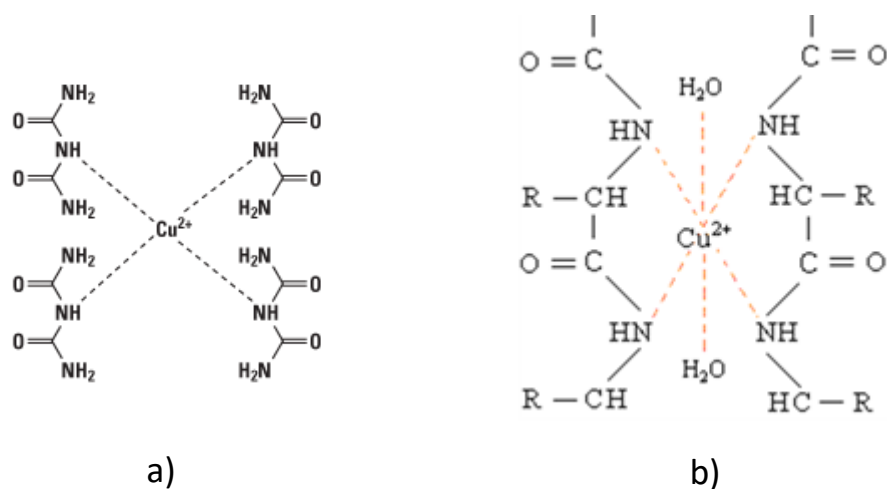


Figura 9 – Formação de complexos de cobre com o biureto a) e com ligações peptídicas numa proteína b).

Por essa razão, a identificação de proteínas é feita usando uma solução de sulfato de cobre em meio básico e este teste de identificação é chamado teste do biureto. Se a mistura reaccional resultante adquirir uma cor violeta, então é porque a amostra contém proteínas. Quanto maior for o conteúdo proteico da amostra, mais intensa é a cor desenvolvida neste teste.

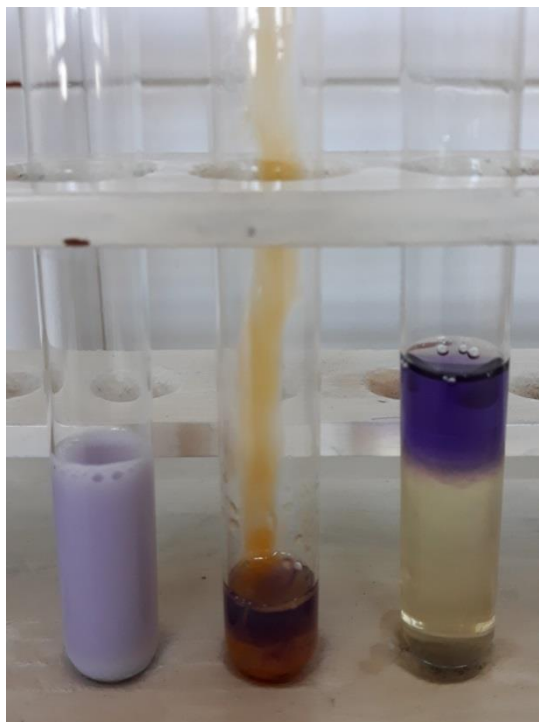


Figura 10 – Teste do biureto positivo para diferentes amostras: leite (esquerda), gema (meio) e clara de ovo (direita).

Referências

- [1] - <http://www.rsc.org/periodic-table/element/29/copper> (consultado em 18 de Dezembro 2018).
- [2] - https://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9rie_qu%C3%ADmica (consultado em 18 de Dezembro 2018).
- [3] - D. Tudela, J. Chem Ed. 70(2) (1993) 174.
- [4] - W.P Hayes, A.H. Sasa, V.S. Fareed, D.T. Burns, Anal. Chim. Acta 71 (1974) 210-214.
- [5] - R. Belcher, T.S. West, Anal. Chim. Acta 6 (1952) 337-339.
- [6] - E.W. Hammock, D. Beavon, E.H. Swift, Anal. Chem. 21(8) (1949) 970-972.
- [7] – Barfoed’s Test, E. Martin e R. Hine em *A Dictionary of Biology*, 6ª edição (2008) ISBN: 9780199204625

Ãgradecimento

Agradeço à Técnica de Laboratório Ana Isabel Vicente a sua colaboração na optimização das experiências deste módulo e na obtenção das fotografias que o ilustram.

A Engenharia Química e a tabela periódica

Fátima Rosa, Licínio Ferreira, Remígio Machado

Cerena - Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A disposição sistemática dos elementos químicos conhecidos na forma de uma tabela – a chamada tabela periódica - de uma forma lógica e em função das suas propriedades, assinala um marco importante no contexto da Engenharia Química. A organização dos elementos na construção da tabela obedece a critérios bem definidos, nomeadamente por ordem crescente do respectivo Número Atómico, por Grupos e Famílias, Raio atómico, Energia de Ionização, Afinidade eletrónica e ainda pelo grau de Eletronegatividade.

As informações sobre os elementos nela contidos tornam possível prever o comportamento de átomos e moléculas, permitindo aos engenheiros usar esta informação quer no desenvolvimento de novos produtos, quer na optimização da escolha de materiais de forma mais segura e eficaz.

Entender os elementos da tabela periódica e a forma como eles interagem entre si é especialmente importante para os engenheiros porque eles trabalham com todos os tipos de materiais.

Dois dos elementos da tabela periódica que vamos utilizar são o Hidrogénio e o Cobre.

O Hidrogénio é um elemento químico com o número atómico 1 e é representado pelo símbolo H. Com uma massa atómica de aproximadamente 1, o Hidrogénio é o elemento menos denso, apresenta-se geralmente na sua forma molecular, formando o gás diatómico H_2 . Tem uma densidade de 0,0898 g/l (14,4 vezes menos pesado que o ar) [1] em condições normais de pressão e temperatura. É um gás inflamável, incolor, inodoro, não-metálico e insolúvel em água.

O Hidrogénio é dos elementos químicos mais abundantes no Universo. No laboratório, o gás H_2 é normalmente preparado pela reacção de ácidos com metais, por exemplo com zinco ou alumínio. A sua produção obtém-se separando-o dos outros elementos com os quais se combina, através de processos que consomem energia, designadamente por electrólise da água também é um método simples de produção de hidrogénio. O hidrogénio é usado intensamente como combustível líquido e gasoso. Uma das primeiras utilizações conhecidas do hidrogénio foi na indústria aeronáutica, em balões e dirigíveis de passageiros. A NASA – agência oficial dos Estados Unidos responsável pelos programas de exploração espacial - foi pioneira na utilização do hidrogénio em aplicações práticas na forma de pilha de combustível.

O Hidrogénio é o elemento mais leve e tem o mais alto valor de energia por unidade de peso, o que implica que a energia de explosão que origina é muito superior a qualquer outro combustível. É por isso que a NASA o utiliza para a propulsão dos foguetes, pois estes requerem combustíveis com as características típicas do hidrogénio: baixo peso, compactação e grande capacidade de armazenamento de energia.

O Hidrogénio é um elemento chave do novo paradigma energético. É um combustível alternativo aos hidrocarbonetos, gera energia através de uma pilha de combustível e produz directamente energia eléctrica reagindo com o oxigénio ao ar. Neste caso, o subproduto da reacção é a água.

O Cobre é um elemento químico de símbolo Cu, número atómico 29 (29 protões e 29 electrões) e de massa atómica 63,6 u. À temperatura ambiente o Cobre encontra-se no estado sólido. Classificado como metal de transição, pertence ao grupo 11 (1B) da tabela periódica. É um dos metais mais importantes industrialmente, de coloração avermelhada, muito dúctil e maleável e um dos melhores condutores de electricidade.

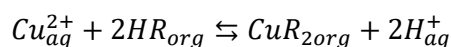
A água com conteúdo em cobre superior a 1 mg/L torna-se colorida, com sabor desagradável, contaminando roupas e objetos. As atividades mineiras podem provocar a contaminação de rios e águas subterrâneas, nomeadamente com cobre, quer durante a exploração ou mesmo depois do seu encerramento.

Misturador-Decantador

A extracção líquido-líquido é uma operação unitária de grande aplicação na indústria química, nomeadamente na metalurgia extractiva, para recuperação dos metais existentes na fase aquosa resultante da lixiviação de minérios. Esta técnica de separação utiliza-se para extrair um elemento, um sal iónico ou um composto dissolvido numa solução, através do contacto desta com um solvente líquido extractante (habitualmente orgânico) não miscível com a solução original. A extracção líquido-líquido tem por objectivo recuperar e concentrar um elemento valioso existente numa fase aquosa (sais de ouro por exemplo) ou eliminar para efeitos de tratamento da fase aquosa um elemento ou compostos tóxicos e/ou poluentes dessa mesma fase aquosa (por exemplo o crómio da industria dos curtumes ou compostos orgânicos como os polifenóis das águas ruças.)

Numa extracção líquido-líquido o solvente de extracção tem como componentes principais um diluente (líquido orgânico utilizado para solubilizar o extractante) e um composto extractante (HR) composto que reage com o soluto pretendido. O extractante é um composto químico do grupo das oximas, grupo cuja fórmula geral $RR'C = NOH$, onde R é uma cadeia lateral orgânica e R' pode ser Hidrogénio, formando uma Aldoxima, ou outro grupo orgânico, formando uma Cetoxima. Assim, por exemplo,

para a extracção do ião Cu_{aq}^{2+} com uma concentração de 1gr/l conferindo à solução uma cor azul característica, a extracção pode ser representada pela estequiometria da reacção:



em que CuR_{2org} representa o complexo resultante da reacção metal- extractante

A Figura 1 mostra o misturador-decantador utilizado na montagem experimental.

Os misturadores são constituídos por dois cilindros concêntricos. O cilindro interior é alimentado na fase aquosa e na fase orgânica por duas tubuladuras de base, assinaladas na Figura 1 com uma seta azul. Após a alimentação, as fases líquidas contidas no cilindro interior são submetidas a agitação mecânica, que dispersa sob a forma de finas gotículas a fase orgânica na fase aquosa formando uma suspensão com elevada área interfacial, aumentando significativamente a cinética da reacção de extracção [2, 3]. Sob o efeito da agitação a suspensão é também transportada até ao orifício lateral situado no topo do cilindro interior (assinalado com seta vermelha na Figura 1) onde por transbordo escoo para o cilindro exterior. Uma vez que o cilindro exterior não é agitado, as duas fases líquidas separam-se por decantação. A solução aquosa refinada mais densa acumula-se na base e sai pela tubuladura lateral junto á base do cilindro. O solvente orgânico ligado ao ião Cu_{aq}^{2+} sendo menos denso flutua e acumula-se no topo do cilindro exterior saindo pela tubuladura lateral conforme indicado na Figura 1. As fases aquosa e orgânica, ao saírem do cilindro exterior são encaminhadas para as entradas dos misturadores decantadores adjacentes, permitindo a realização de um novo andar de extracção líquido-líquido repetindo-se o processo até se utilizarem todos os misturadores decantadores presentes na montagem.



Figura 1 – Misturador decantador

Como indicado na figura 2, a alimentação das fases aquosa e orgânica efectua-se nos extremos opostos da montagem, o que implica que o sentido do transporte activo da fase aquosa se dá em contra corrente relativamente ao sentido de transporte activo da fase orgânica. A extracção em contra corrente permite que em cada andar o gradiente de concentrações do soluto $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ entre as duas fases da suspensão seja o máximo possível, permitindo uma maior eficiência global da extracção líquido líquido.

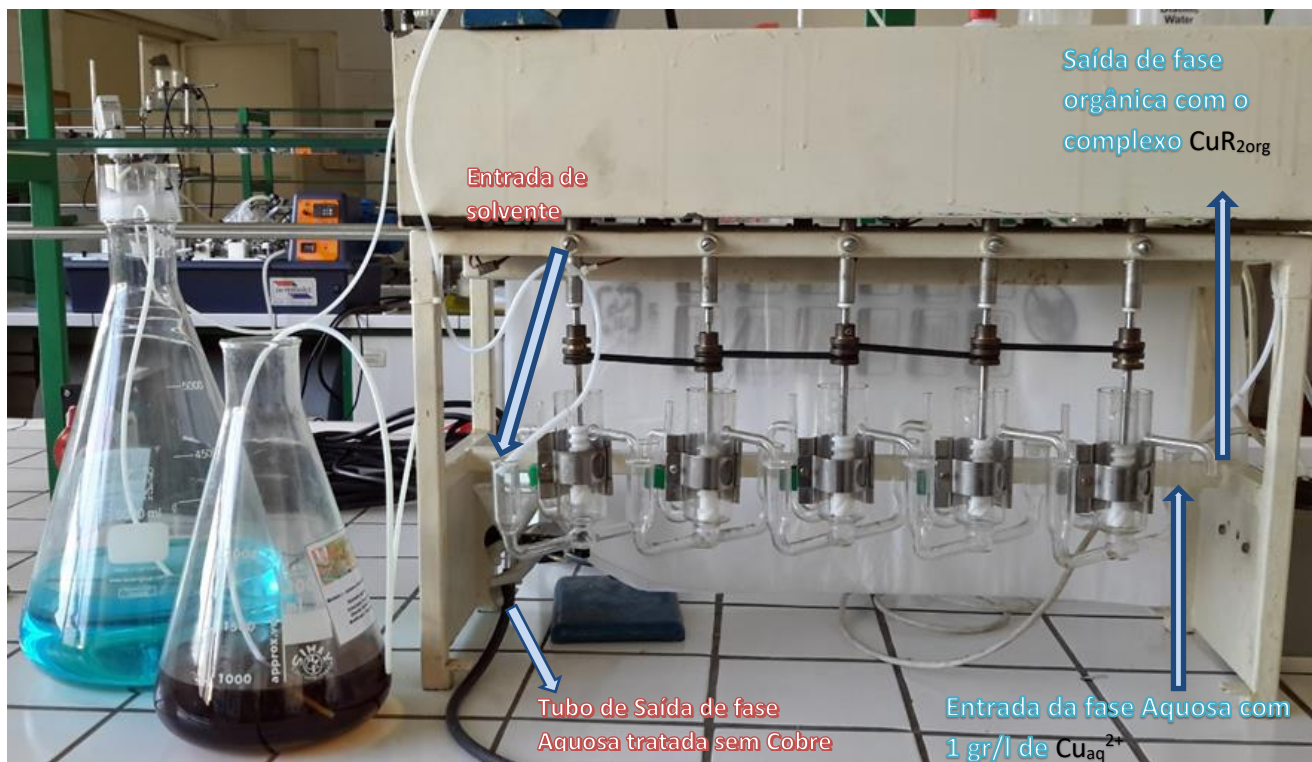


Figura 2 – Equipamento experimental 5 misturadores decantadores. Fase aquosa no Erlenmeyer maior com uma solução com 1 gr/l de $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$ de cor azul. A fase orgânica no Erlenmeyer menor com o solvente contendo o extractante cor castanha

A diminuição acentuada da intensidade da cor azul que se verifica na fase aquosa de saída de cada misturador decantador deve-se ao facto de a solução aquosa de saída de cada andar (refinado) ter relativamente à entrada uma concentração muito menor de $\text{Cu}_{\text{aq}}^{2+}$.

Em contrapartida, nota-se que a fase orgânica à saída de cada misturador decantador apresenta um tom castanho mais escuro face á entrada. Tal deve-se a que a reação do complexo de cobre com a molécula orgânica oxima origina uma cor castanha escura.

Tecnologias de Produção do Hidrogénio

O Hidrogénio é conhecido desde há muito como um gás que se obtém quando se colocam em contacto ácidos diluídos como o clorídrico ou o sulfúrico, com metais como o zinco ou o ferro. Em 1784, Henry Cavendish fez explodir misturas de Hidrogénio e ar recorrendo a faíscas eléctricas e percebeu que obtinha um produto que parecia água [4]. Estes resultados foram posteriormente explicados por Antoine Lavoisier que deu ao gás o nome de Hidrogénio, caindo por terra a teoria de que a água seria formada apenas por um elemento.

Na figura seguinte (Fig. 2), ao adicionar ácido clorídrico ao balão contendo aparas de Zinco, observa-se a efervescência causada pela grande libertação de bolhas, formadas por Hidrogénio gasoso, H_2 . Isto ocorre porque o zinco, sendo um metal mais reactivo do que o Hidrogénio, é capaz de deslocá-lo do

ácido e ocupar o seu lugar, formando um sal, o sulfato de zinco (ZnSO_4), no qual o metal é o catião. Assim, o Zinco é oxidado, sendo o agente redutor, enquanto o hidrogénio é reduzido, sendo o agente oxidante. A reação pode ser representada pela equação:



Observa-se que o Zinco metálico reage quimicamente com o ácido clorídrico, produzindo cloreto de zinco e libertando gás Hidrogénio.

Como o hidrogénio é muito pouco solúvel em água, ele pode ser recolhido num copo com água e detergente.

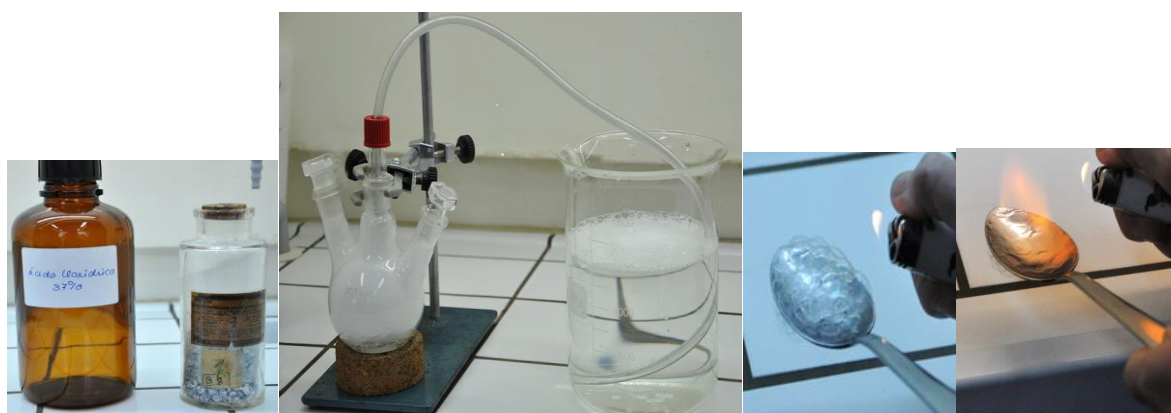


Figura 3 – Reacção produção de Hidrogénio e sua combustão

O Hidrogénio identifica-se devido ao pequeno estalido que ocorre quando uma pequena chama se aproxima da espuma retirada do copo de recolha. A libertação do **Hidrogénio** é comprovada através da sua combustão.

Permuta iónica

A permuta iónica é um processo de separação através do qual iões de determinada carga existentes numa solução, são substituídos por uma quantidade equivalente de iões da mesma carga presentes num material sólido, resina de permuta iónica.

As resinas de permuta iónica são formadas por uma matriz à qual estão ligados grupos iónicos fixos, além dos iões que se podem movimentar na estrutura (os contra iões). As resinas catiónicas carregadas com catiões (iões móveis positivos) são capazes de remover os catiões Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , assim como outros metais presentes em água ou numa determinada solução, enquanto nas resinas aniónicas carregadas com aniões (iões móveis negativos) removem os sulfatos, cloretos e nitratos.

Estas substancias têm a forma de pequenos grãos cujas dimensões variam entre 0,2 a 1 mm [5] como se pode ver na Figura 4.



Figura 4 - Aspecto de resina catiónica

Quando se pretende utilizar água em aplicações mais exigentes no respeitante à quantidade de sais e metais, como é o caso da água para alimentação de caldeiras, que precisa que se retirem os sais como cálcio e magnésio para não entupir as tubagens e reduzir a capacidade de funcionamento da caldeira, para baterias de automóvel, na indústria farmacêutica que necessita água de alta pureza, o processo normalmente utilizado é o da permuta iónica.

Através desta técnica consegue-se remover os sais minerais dissolvidos na água que ainda permanecem após os tratamentos preliminares, qualquer que seja o fim a que se destina.

Considere-se uma água a tratar que é submetida a reacção de permuta catiónica seguida de aniónica. Na resina catiónica verifica-se a permuta dos seus iões móveis H^+ por número equivalente de iões metálicos (por exemplo Ca^{2+} , Cu^{2+}) ou sais (por exemplo Na^+ , K^+) presentes na água. Os ácidos formados são retirados de seguida pela resina aniónica que permuta os seus iões móveis OH^- com os aniões SO_4^{2-} , Cl^- . O ião H^+ e o ião OH^- provenientes da resina catiónica e aniónica respectivamente, reagem dando origem a uma molécula de água.

Se tivermos o caso duma água contendo cloreto de sódio tem-se as seguintes reacções:

Resina catiónica: $Resina-H + Na^+ (água) \rightarrow Resina-Na + H^+ (água)$

Resina aniónica: $Resina-OH + Cl^- (água) \rightarrow Resina-Cl + OH^- (água)$

O H^+ e o OH^- formados reagem entre si obtendo-se água isenta de sais: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$

Após várias fases de carga da resina e quando estas estiverem exaustas, há que regenerar as resinas fazendo-as passar por soluções de ácido como o HCl, ou base, por exemplo hidróxido de sódio NaOH, para lhes devolver os iões permutáveis o H^+ no caso das catiónicas e OH^- para as aniónicas

Com a passagem de HCl ou NaOH retiram-se os iões dos minerais retidos deixando os iões H^+ ou OH^- no seu lugar

Resina catiónica: $Resina-Na + HCl (solução regenerante) \rightarrow Resina-H + NaCl$

Resina aniónica: $\text{Resina-Cl} + \text{NaOH (solução regenerante)} \rightarrow \text{Resina-OH} + \text{NaCl}$

Na Figura 5 mostra-se uma coluna de permuta iónica contendo resina catiónica que se utilizou para retirar os iões cobre Cu^{2+} de uma solução de sulfato de cobre. Na fotografia do meio já se nota a diferença de coloração da resina com e sem solução sulfato cobre e a coluna da direita já esta na fase exausta (resina toda azul) e que necessita de regeneração.



Figura 5 – Coluna da esquerda sem solução de sulfato de cobre, coluna do meio com solução de cobre e a coluna da direita exausta em sulfato de cobre

Uma unidade utilizada à escala industrial de permuta iónica - Figura 6,- consiste de colunas cilíndricas com enchimento de partículas esféricas de resina, através das quais passa a solução a tratar. Uma resina de troca iónica pode ter um longo tempo de vida – cerca de 10 anos - desde que o projecto e a operação dos sistemas sejam adequados.



Figura 6- Unidade industrial de permuta iónica [6]

Referências

- [1] John H. Perry, in "Chemical Engineers' Handbook" McGraw-Hill , New York (NY) 1963
- [2] -J.C. Godfrey, M.J.Slater "Liquid-Liquid Extraction Equipment " John Wiley & Sons 1994
- [3] Healy, MR, Roebuck, JW, Doidge, ED, Emeleus, LC, Bailey, PJ, Campbell, J, Fischmann, AJ, Love, JB, Morrison, CA, Sassi, T, White, DJ & Tasker, PA, 'Contributions of inner and outer coordination sphere bonding in determining the strength of substituted phenolic pyrazoles as copper extractants' Dalton Transactions, vol. 45, no. 7, pp. 3055-62, 2016 DOI: 10.1039/c5dt04055h
- [4] Henry Cavendish, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 74, pp. 119–153, 1784
- [5] <https://pt.slideshare.net/fersay/5-permuta-ionicatecnologiaquimica> (acedido em 16 de Janeiro 2019)
- [6] <https://ambietel.com/pt/tratamento-de-aguas/permuta-ionica/> (acedido em 16 de Janeiro 2019)

Agradecimento

Agradecemos à técnica do Laboratório de Tecnologia, Eng^a Isabel Leiria, a preciosa colaboração e empenho na preparação e montagem dos trabalhos.

Pequenos Cientistas, Grandes Engenheiros

José A. D. Condeço^a, M. Margarida P. S. Mateus^b, António G. S. de Almeida Costa^c

^a CERENA, Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

^b CDAC, Centro Desenvolvimento de Aplicações de Cimento, Secil, Apartado 71, 2901-864 Setúbal

^c Núcleo de Alunos de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa

O módulo “Pequenos Cientistas, Grandes Engenheiros” tem como principal objectivo demonstrar um processo de scale-up desde a bancada de laboratório até uma instalação piloto, utilizando para o efeito a liquefacção da biomassa. Este processo permite, por exemplo, a produção de combustível a partir da fonte de energia renovável que a biomassa representa. Adicionalmente, o bio-óleo obtido pode sofrer algumas etapas dum processo de biorefinação, originando a separação de compostos de alto valor acrescentado, como sejam os açúcares.

Liquefacção da Biomassa: da bancada laboratorial para uma instalação piloto

Este texto engloba a descrição da biomassa lenhocelulósica, do processo de liquefacção (um dos muitos processos de conversão da biomassa) e duma possível sequência de etapas numa biorefinaria até obtenção de produtos de alto valor acrescentado. Na apresentação do processo de liquefacção será descrita a montagem laboratorial, e paralelamente, o resultado dum processo de scale-up presentemente existente na indústria portuguesa, mais concretamente no GRUPO SECIL.

Biomassa Lenhocelulósica

A biomassa lenhocelulósica tem como principais constituintes a celulose (40-60%), a hemicelulose (20-40%) e a lenhina (10-25%) (Figura 1). A celulose caracteriza-se como sendo um polímero linear, de estrutura cristalina ou amorfa, constituído por unidade de glucose ($C_6H_{12}O_6$) interligadas através de ligações glicosídicas, o que confere à celulose a fórmula molecular $(C_6H_{10}O_5)_n$ [1, 2]. A celulose cristalina e a amorfa distinguem-se pelas ligações que ocorrem entre os monómeros de glucose, sendo que na celulose cristalina, as moléculas de glucose ligam-se entre si por pontes de hidrogénio, e na celulose amorfa, existem ligações do tipo covalente. No primeiro caso, as pontes de hidrogénio que ocorrem entre o átomo de hidrogénio e o átomo electronegativo de oxigénio conferem uma estrutura ordenada ao polímero, tornando esta estrutura de celulose mais resistente à reacção de despolimerização [3].

No caso das ligações covalentes, a estrutura resultante por partilha de electrões entre os átomos é mais desordenada.

A hemicelulose é classificada como um heteropolímero de estrutura aleatória constituída por unidades de monosacarrídeos, nomeadamente hexoses (como glucose, manose e galactose), e pentoses (como xilose e arabinose), e diversos grupos substitutos. Devido a esta estrutura ramificada e ao seu baixo peso molecular, a hemicelulose é facilmente hidrolisada [1].

A lenhina é um polímero tridimensional amorfo altamente ramificado e de elevado peso molecular, de função estrutural e suporte, constituído por arranjos irregulares de unidades de fenilpropano que podem ser de três tipos: álcool cumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico [4].

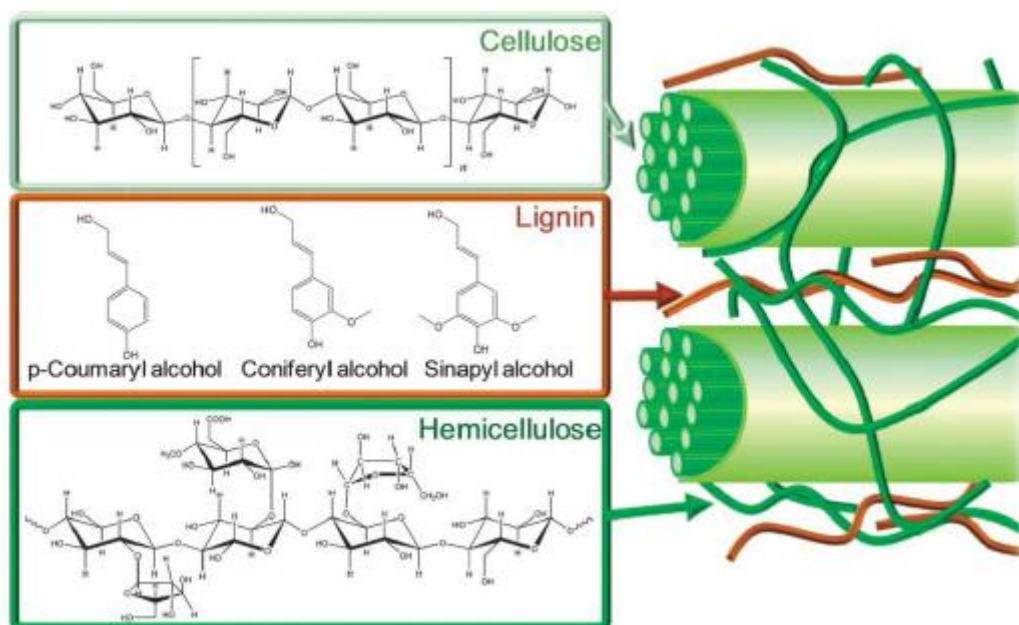


Figura 1 – Estrutura da biomassa lenhocelulósica com representação da celulose, hemicelulose e lenhina [5].

Estes componentes, celulose, hemicelulose e lenhina decompõem-se em moléculas mais pequenas durante o processo de liquefacção, ocorrendo diversas reacções como solvólise, que ocorre entre a biomassa e o solvente; a despolimerização dos três principais componentes da biomassa; a decomposição química e térmica de monómeros e moléculas de menores dimensões propiciando rearranjos moleculares através da quebra de ligações e de reacções de descarboxilação; e a reacção de degradação de compostos oxigenados na presença de hidrogénio [6, 7].

Processo de Liquefacção Laboratorial

Inicialmente é necessário proceder à definição das condições de reacção, como sejam tempo de reacção, temperatura da reacção, razão biomassa/solvente e percentagem de catalisador a utilizar (vs.

quantidade de biomassa utilizada), assim como qual o pré-tratamento a efectuar à biomassa. Neste caso, a biomassa é sujeita a uma operação de *swelling* com o solvente da reacção, isto é, a biomassa é humedecida com o solvente. De seguida, utilizando papel de alumínio, é colocada na estufa a 80°C durante 12 horas. O solvente utilizado é o 2-Etil Hexanol. Este pré-tratamento permite a penetração do solvente no interior da biomassa, ocorrendo depois, na reacção, um melhor contacto do catalisador com a celulose, a hemicelulose e a lenhina.

No reactor é alimentado o solvente, o catalisador e quando a temperatura do sistema está a 80°C, é adicionada a biomassa pré-tratada, que também se encontra a 80°C. A reacção decorre a 160°C, pelo que, após a adição da biomassa, o *set-point* do controlador de temperatura é regulado para este valor. O tempo de reacção começa a ser cronometrado. De referir que desde o inicio do processo reaccional, existe agitação mecânica constante.



Figura 2 – Fotografia da montagem laboratorial utilizada na reacção de liquefacção de biomassa e esquema ilustrativo com indicação do material de laboratório utilizado.

Durante a reacção é observada a presença de condensado no DeanStark, constituído por água de condensados proveniente da reacção e pelo solvente que é arrastado dado o azeótropo formado com a água. Após o tempo de reacção ter terminado, é permitida à mistura reaccional arrefecer até à temperatura ambiente. O próximo passo consiste na separação do bio-óleo produzido da biomassa

que não reagiu na sua totalidade. O bio-óleo está pronto a ser queimado, mas caso se pretenda recuperar produtos de valor acrescentado é necessário separar o pó fino presente no bio-óleo. Adicionalmente, é possível também recuperar mais bio-óleo que se encontra impregnado na biomassa não reagida. Este processo pode, por exemplo, utilizar acetona.

Por último, referir que a quantidade máxima de biomassa e de solvente, passíveis de serem utilizados no reactor de bancada da figura 2, são de 400g de biomassa com 400g de solvente, produzindo-se cerca de 600g de bio-óleo.

Proceso de Scale-Up

Numa instalação piloto estaremos a falar de produzir cerca de 8 toneladas de bio-óleo por 8 horas de trabalho, ou seja 4 ordens de grandeza de diferença relativamente ao reactor de bancada laboratorial. Como se processa então o scale-up e qual o resultado final?

Um engenheiro químico tem como tarefa fundamental resolver todas as questões relacionadas com esta diferença de escala, nomeadamente e somente referindo alguns tópicos: Scale-Up não linear; Cinética das reacções; Garantias de estabelecimento de equilíbrio químico; Dinâmica dos fluídos; Termodinâmica e Escolha adequada dos equipamentos.

Scale-Up não linear basicamente significa que o trabalho do engenheiro químico não consiste em transformar uma montagem laboratorial numa instalação piloto aumentando de maneira proporcional as dimensões de todos os equipamentos envolvidos, assim como todas as quantidades de reagentes necessários e produtos químicos produzidos. Por exemplo, quando um sistema aumenta em tamanho, a relação área superficial: massa varia, afectando diversas propriedades físicas do sistema reaccional. Por exemplo, uma reacção química num reactor de vidro, com dimensões e volume específico, requer uma certa quantidade de substância química A e uma certa quantidade de substância química B. A reacção entre esses dois compostos químicos resulta em uma certa quantidade de substância química C e na libertação duma quantidade específica de calor. Aumentando linearmente este sistema, ou seja, aumentando 500 vezes o tamanho do reactor de vidro para um reactor (provavelmente de aço inox) e aumentando 500 vezes as quantidades de químicos A e B, resultará em obter 500 vezes a quantidade de produto químico C e na transferência de 500 vezes mais calor. Contudo, o que acontece não é isto. A reacção na instalação piloto foi afectada diferentemente por diversos fenómenos que não ocorrem de igual modo no reactor de vidro. Em primeiro lugar, um reactor de aço inox que é 500 vezes maior do que um reactor de vidro tem uma relação completamente diferente com a massa de compostos químicos presentes no interior. Os compostos químicos terão muito mais contacto com as paredes do reactor de vidro do que com as paredes do reactor de aço inox (a não ser que se compense com o dimensionamento dum sistema de agitação de alta eficiência), o que influencia a transferência de

calor. O regime de fluxo, ou seja, o modo como os químicos estão a contactar e a reagir uns com os outros vai ser também diferente, dado que a dinâmica dos fluídos varia não linearmente com o aumento de tamanho do sistema. Os sistemas são comparáveis, isto é, transferência térmica e eficiência de mistura idênticas, somente se condições específicas correctas forem mantidas nos diferentes sistemas. O tempo necessário para se atingir um estado de equilíbrio aumenta com o aumento de quantidades de químicos envolvidos. A escolha do equipamento não é linear dado que no laboratório, grande parte das reacções são efectuadas em descontínuo, enquanto na instalação piloto, a alimentação dos processos é em contínuo, o que envolve toda uma parafernália de equipamentos para manuseamento de químicos. Adicionalmente, os materiais de construção dos diversos equipamentos facilmente disponíveis em bancadas de laboratório podem não estar disponíveis nas quantidades necessárias ou podem ser muito dispendiosos quando utilizados em sistemas de escala piloto. Todos estes factores precisam de ser considerados como um todo.

Resultado do Scale-Up para uma Instalação Piloto em Funcionamento

Antes de mais, apresentar o contexto em que a instalação piloto foi desenvolvida: o objetivo central para a instalação piloto era a obtenção de um combustível líquido para substituição dos combustíveis fósseis atualmente utilizados na produção de clínquer branco, matéria-prima central da produção de cimento branco. Hoje em dia, o objectivo vai mais além, envolvendo o conceito de biorefinaria, a qual será apresentada no sub-tópico seguinte.

O esquema global de liquefação ácida, semelhante ao que se efectua em laboratório, pode ser descrito segundo as seguintes etapas gerais:

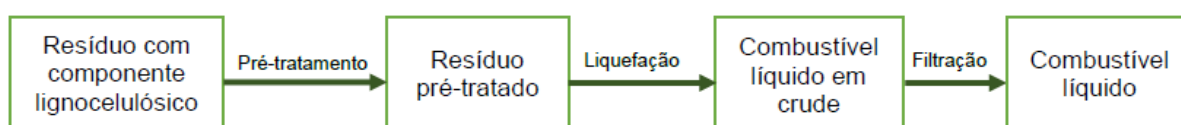
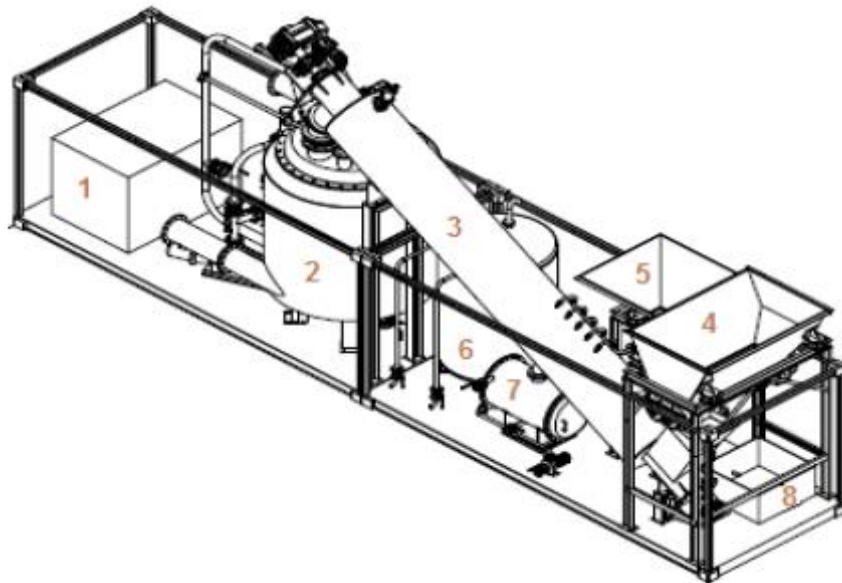


Figura 3 – Etapas gerais do processo de liquefação ácida.

O resíduo lenhocelulósico, previamente descarregado e armazenado em fábrica, com granulometria controlada, será alimentado à tremonha 1 (equipamento 4 na figura 4), localizada acima dum desagregador em parafuso (não assinalado na figura). Em simultâneo, é acrescentado o catalisador ácido na tremonha 2 (equipamento 5 na figura 4), sendo este doseado com a ajuda dum válvula rotativa, e acrescentado ao resíduo na proporção pretendida.

De seguida, a mistura resíduo lenhocelulósico/catalisador é alimentada ao parafuso sem fim principal (equipamento 3 na figura 4). No parafuso sem fim ocorre o transporte da mistura reaccional até ao reactor, um pré-aquecimento da mesma (através da passagem em contracorrente dos vapores

formados na reacção) e, após a injeção de solventes no parafuso sem fim é efectuado o pré-tratamento da mistura reaccional designado por *swelling* (aumento de volume das células, quebrando assim a estrutura para facilitar o acesso do catalisador a todos os componentes do resíduo). Para ocorrer a injeção de solventes no parafuso sem fim principal, é necessário ter um tanque de solventes (equipamento 6 na figura 4) e uma série de injetores para que a pulverização seja feita de forma automática.



Legenda: 1 – Caldeira ; 2 – Reactor ; 3 – Parafuso sem fim ; 4 – Tremonha 1 (de Biomassa) ; 5 – Tremonha 2 (de Catalisador) ; 6 – Reservatório de Solventes ; 7 – Condensador ; 8 – Tanque de Condensados.

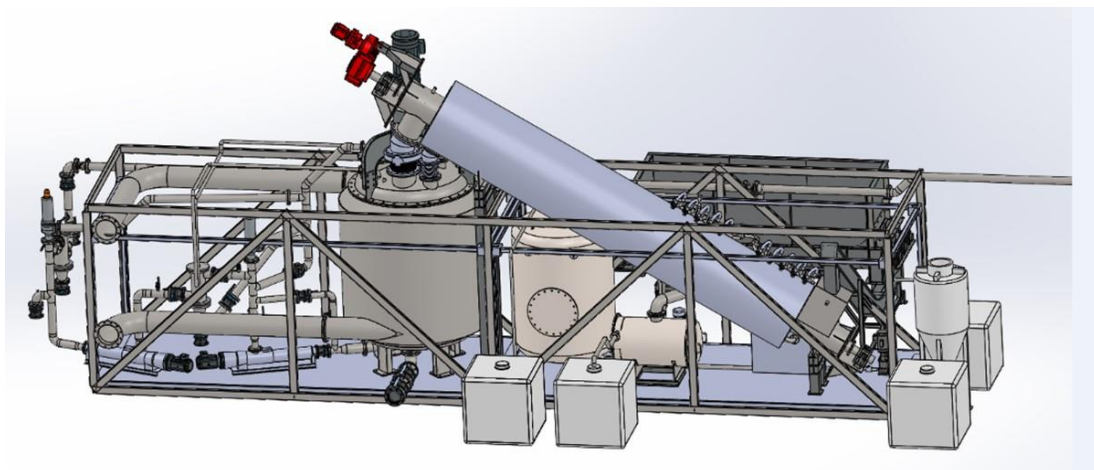


Figura 4 – Esquema da Instalação Piloto duma Unidade de Liquefacção de Biomassa Lenhocelulósica.

A mistura reaccional existente no parafuso é encaminhada para um reactor de aço inox 316L para resistir à corrosão provocada pela presença do catalisador ácido (equipamento 2 na figura 4).

O agitador usado é mecânico do tipo turbina de 6 pás em aço inox, permitindo uma boa homogeneização da mistura reacional.

A reacção é endotérmica, pelo que existe a necessidade de fornecer calor para que ela ocorra. No interior do reactor existe um sistema de serpentinas onde passa óleo térmico, proveniente de uma unidade de fornecimento de calor, caldeira (equipamento 1 na figura 4).

As instalações pilotos ou industriais são projectadas de modo a serem energeticamente eficientes, pelo que há alguns “truques” que se podem utilizar, como sendo:

Para um maior aproveitamento do calor proveniente da caldeira, o reactor tem uma camisa externa onde circulam os gases de combustão da mesma, antes de serem enviados para a atmosfera; e, dependendo do teor em humidade dos resíduos, vai ocorrer a libertação de vapor, sendo este utilizado para pré-aquecer a alimentação no parafuso antes de ser adicionada ao reactor.

Consoante a quantidade de humidade presente, algum vapor poderá ter que ser condensado sendo descarregado no tanque de condensados (equipamento 8 na figura 4), pelo que existe um condensador que utiliza água industrial (equipamento 7 na figura 4).

Etapas de Biorefinaria

Numa refinaria petrolífera são produzidos diversos combustíveis e diversos produtos químicos derivados do petróleo. Ora, o conceito de biorefinaria é análogo, englobando um conjunto de etapas cujo objectivo é a transformação da biomassa lenhocelulósica em produtos finais sem que exista desperdício, isto é, em que todos os componentes químicos envolvidos no processo sejam convertidos, de imediato, em produtos de alto valor acrescentado, ou utilizados posteriormente para a produção de outros compostos de modo a garantir a sustentabilidade da biorefinaria.

Um exemplo concreto da aplicabilidade da biorefinaria (à escala laboratorial) é apresentado na figura 5, onde são identificadas todas as etapas dum processo que origina diversos produtos de alto valor acrescentado. O processo começa com a separação em duas fases, uma orgânica e outra aquosa, após contacto do bio-óleo com água. A fase orgânica pode ser usada como biocombustível, solventes ou produtos químicos para a formulação de espumas de poliuretano [8]. A fase aquosa, que se encontra enriquecida, principalmente, por compostos altamente funcionalizados, como os derivados de açúcares, pode ser valorizada em processos de fermentação, como componentes na formulação de adesivos, ou simplesmente como *blocos de construção* na química de carboidratos [8].

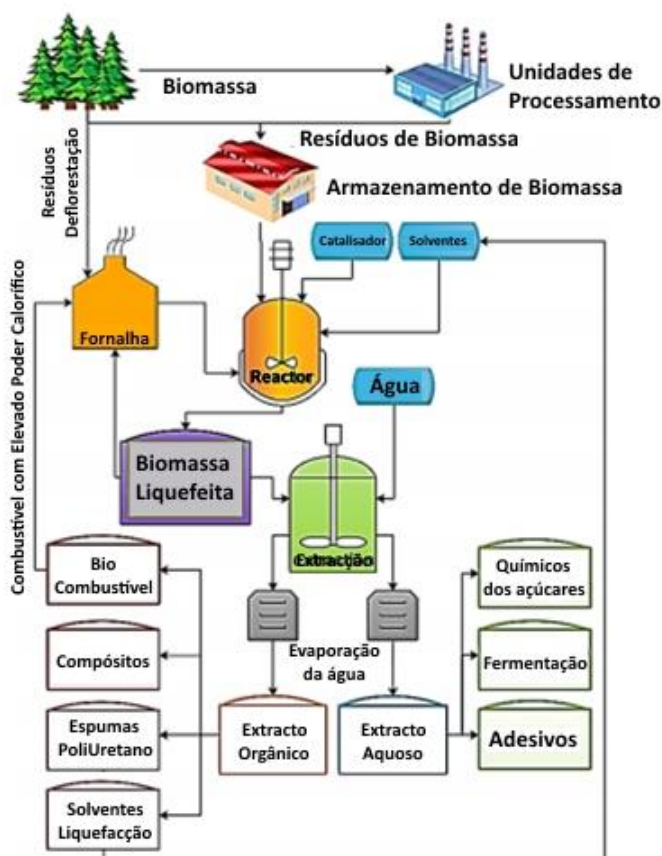


Figura 5 – Esquema dum exemplo de Biorefinaria associada a uma Unidade de Liquefação de Biomassa [8].

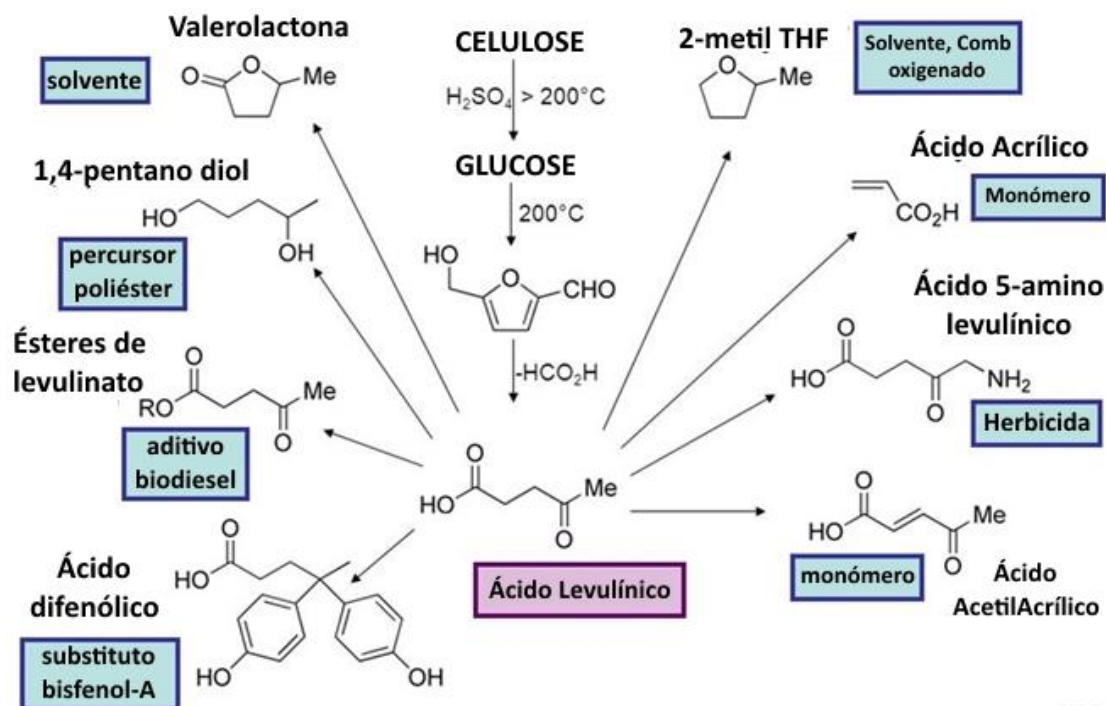


Figura 6 – Produtos químicos de alto valor acrescentado derivados da celulose, hemicelulose e lenhina.

Para terminar, é apresentado na Figura 6, um conjunto de produtos químicos de alto valor acrescentado derivados da celulose, hemicelulose e lenhina. Químicos, estes, que se encontram presentes na tua vida diária, e que hoje em dia são provenientes, maioritariamente, do petróleo. Contudo, os engenheiros químicos e colegas de diferentes áreas estão a mudar a tendência e a tornar o mundo mais sustentável. E tu, pequeno cientista, preparado para te tornares um grande engenheiro?

Referências

- [1] - Linghong Zhang, Chunbao (Charles) Xu, Pascale Champagne, Overview of recent advances in thermochemical conversion of biomass, *Energy Conversion and Management* 51 (2010) 969–982, doi:10.1016/j.enconman.2009.11.038
- [2] - Feng Xu, Jianming Yu, Tesfaye Tesso, Floyd Dowell, Donghai Wang, Qualitative and quantitative analysis of lignocellulosic biomass using infrared techniques: A mini-review, *Applied Energy* 104 (2013) 801–809, doi:10.1016/j.apenergy.2012.12.019
- [3] - Diana Ciolacu, Florin Ciolacu, Valentin I. Popa, Amorphous Celulose – Structure and Characterization, *Cellulose Chemistry and Technology* 45 (2011) 13–21
- [4] - Seyed Hamidreza Ghaffar, Mizi Fan, Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw, *Biomass and Bioenergy* 57 (2013) 264–279, doi:10.1016/j.biombioe.2013.07.015
- [5] - Alen Horvat, A study of the uncertainty associated with tar measurement and an investigation of tar evolution and composition during the air-blown fluidised bed gasification of torrefied and non-torrefied grassy biomass (2016) PhD Thesis, Chemical and Environmental Sciences Department, University of Limerick
- [6] - M Hakkı, Tufan Salan, Ertuğrul Altuntaş, Eyyüp Karaoğul, Liquefaction Processes of Biomass for the Production of Valuable Chemicals and Biofuels: A Review (2013) Conference: Joint International Convention Forest Products Society and, Society of Wood Science and Technology
- [7] - Frank Behrendt, York Neubauer, Michael Oevermann, Birgit Wilmes, Nico Zobel, Direct Liquefaction of Biomass, *Chemical Engineering Technology* 31 (2008) 667–677, doi:10.1002/ceat.200800077
- [8] - Rui Galhano dos Santos, Noemi F. Acero, Sandro Matos, Ricardo Carvalho, Mário Vale, Ana C. Marques, João C. Bordado, Maria M. Mateus, One-Component Spray Polyurethane Foam from Liquefied Pinewood Polyols: Pursuing Eco-Friendly Materials, *Journal of Polymers and the Environment* 26 (2018) 91–100, doi:10.1007/s10924-016-0931-z

Tabela Periódica: um espetáculo

António Costa^a Dulce Simão^b

^a Aluno de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A química é a ciência que estuda a matéria e suas transformações. A matéria é tudo o que tem massa e ocupa espaço e pode ser líquida, sólida ou gasosa.

Tudo à nossa volta que podemos ver e pegar é matéria, como um ser vivo, um objecto, ou um alimento. Toda a matéria é formada por substâncias que por sua vez são compostas por elementos químicos. Um átomo é a partícula mais pequena que é possível obter, de um determinado elemento químico, e que ainda caracteriza esse elemento químico. A Tabela



Periódica organiza todos os elementos químicos de acordo com as suas propriedades e mostra várias informações sobre eles.

O que faz um químico? Retira os materiais que existem na natureza para serem utilizados pelo homem em medicamentos, produtos de limpeza, perfumes, por exemplo. O químico também pode transformar estes produtos da natureza noutros diferentes que não existem na natureza e isso é muito importante pois podemos ter por exemplo novos medicamentos. Como é que isso se faz? Através de uma transformação química ou reacção. Os materiais iniciais, chamados de reagentes são transformados noutros materiais diferentes, os produtos, todos eles, sempre com elementos da tabela periódica. O que vão ver hoje é um a demonstração de algumas destas reacções em que se formam materiais coloridos, com aroma, luminosos e com outras propriedades interessantes e divertidas.

A cor azul do índigo

Porque é que as calças de ganga são azuis? As calças de ganga são de algodão, ou seja, brancas. Na indústria textil elas são tingidas com um material ou substância que lhe dá a cor azul e que se chama índigo. O índigo ou anil (nome tradicional português) é o corante mais antigo conhecido que foi usado pelos antigos egípcios que conheciam o processo de isolamento a partir de plantas das espécies *Indigofera* (*Indigofera tinctoria*) e teve grande importância na economia da época antiga e medieval. Mais recentemente, foi usado para tingir os casacos azuis fornecidos pelos Franceses aos Americanos

durante a Revolução Americana e para tingir a roupa de ganga, na altura usada só como fato de trabalho.



Figura 1 – Planta *Indigofera*, calças de gangas tingidas com índigo e o pigmento comercializado

A descoberta da via sintética deste corante, desenvolveu muito a investigação em química orgânica. O índigo é constituído por átomos de carbono, hidrogénio, nitrogénio e oxigénio. Neste trabalho, mostra-se como se sintetiza um composto orgânico.

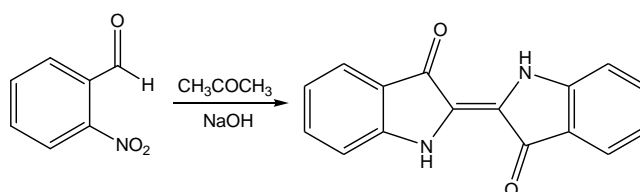


Figura 2 – Esquema reacional para a preparação do índigo

Os reagentes desta reacção são o 2-nitrobenzaléido, acetona e hidróxido de sódio (Figura 2). Depois de se adicionarem os reagentes, passados alguns segundos, observa-se a precipitação do índigo. Este corante é isolado por filtração em vácuo (Figura 3)³. O corante obtido é exactamente igual ao que é extraído da planta e pode ser utilizado para tingir um tecido.



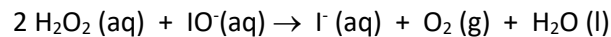
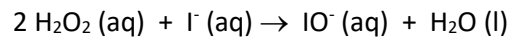
Figura 3 – Precipitação do indigo e filtração em vácuo

Referências

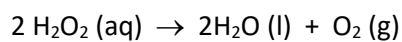
[1] - D. Simão *et al.*, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, exp 50.

Pasta de dentes de elefante

Esta experiência é conhecida por “pasta de dentes de elefante” porque é uma reação que produz uma grande quantidade de espuma em forma de pasta de dentes gigante. Na realidade a reação que acontece é a decomposição da água oxigenada em água e oxigénio e catalisada por iodeto de potássio. A reação dá-se em 2 passos:



Como se pode verificar, o catalisador, o ião I^- não é consumido na reação. A reação geral é então:



A espuma produzida tem origem no oxigénio gasoso formado (Figura 4). Adicionando detergente aos restantes reagentes, a quantidade de espuma produzida é muito maior e a diversão também!



Figura 4 – Decomposição da água oxigenada com iodeto de potássio

Procedimento:

- 1 – Medir 50 mL de água oxigenada.
- 2 - Deitar num erlenmeyer de 1L (boca estreita)
- 3 – Deitar 3 gotas de corante alimentar e purpurinas.
- 4 – Deitar 40 mL de detergente líquido e agitar para misturar.
- 5 – Deitar uma solução saturada de iodeto de potássio.

Referências

- [1] - [https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/march-2015/activities/sharing-chemistry-community-
elephants-toothpaste](https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/march-2015/activities/sharing-chemistry-community-elephants-toothpaste), acessado em 19 Jan 2019.
- [2] - <https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante>, acessado em 19 Jan 2019.

Até ao infinito e mais além

O nylon é uma fibra sintética com grande interesse industrial por ser muito resistente e flexível. Surgiu nos anos 30 para substituir a seda que tinha um preço muito elevado. A primeira aplicação do nylon foi no fabrico de escovas de dentes, suturas cirúrgicas e linhas de pesca, mas foi na indústria têxtil que este material teve mais sucesso junto do público, principalmente quando surgiram no mercado as meias “de vidro” nos anos 40. Hoje em dia continua a ser muito utilizado devido às suas propriedades.



Figura 5 - Aplicações do nylon

O nylon é um polímero, ou seja, é constituído por grandes moléculas (macromoléculas) formadas através de uma reacção denominada polimerização onde se dá a reacção entre moléculas menores (monómeros) para formar o polímero (figura 6).

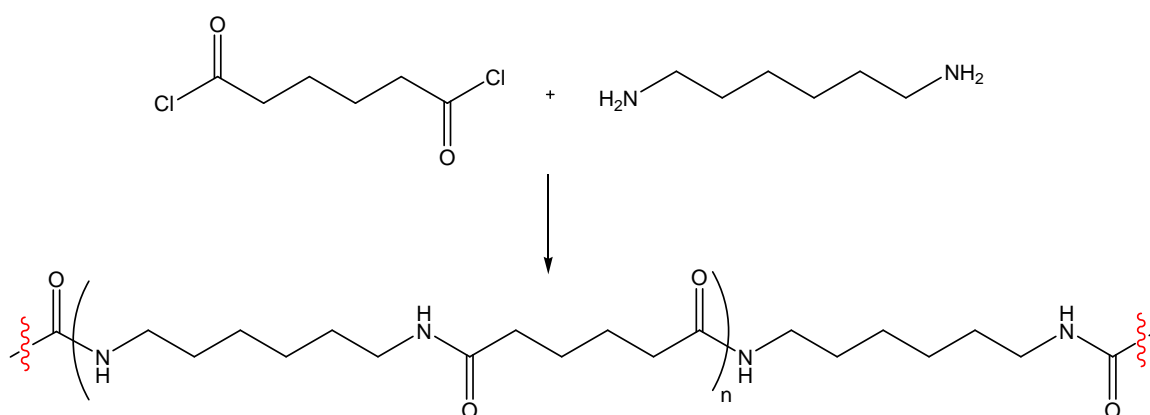


Figura 6 – Esquema reacional de formação do nylon.

Este polímero é uma poliamida, porque contém grupos -CO-NH- na sua cadeia principal de carbono. Nesta experiência este polímero vai ser sintetizado utilizando como reagentes o cloreto do ácido adípico e o 1,6 diamino-hexano.

O fio de nylon é puxado com uma pinça à medida que se vai formando e pode ser enrolado numa proveta de plástico grande ou num sistema apropriado de roldana⁴ (Figura 7).



Figura 7 – Formação do fio de nylon

O fio que se forma pode chegar aos vários metros, aliás, uma das várias versões para a origem do nome é que se conseguia fazer um fio tão grande que ia de Nova Iorque (**New York**) a Londres (**London**), ficando o nome com as iniciais da primeira e a primeira sílaba da segunda formando a palavra nylon.

Procedimento:

- 1 – Deitar num copo de 50 mL da solução do cloreto do ácido adípico (25 mL).
- 2 - Deitar muito lentamente a 2ª solução do diamino-hexano (12,5 mL).
- 3 - Apanhar com uma pinça o filme que se começa logo a formar na interface e puxar continuamente à medida que o fio se vai formando.
- 4 – Enrolar o fio numa proveta de plástico grande à medida que se vai formando.
- 5 - Lavar com água corrente da torneira,
- 6 - Desenrolar e deixar secar ao ar.

Referências

- [1] - D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, 291.

Carbono: o elemento mais versátil da Tabela Periódica

Dulce Simão^a, Hermínio Diogo^a, Rita Pires e Vasco Bonifácio^b

^aCQE, DEQ, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQFM/IN e IBB, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O carbono é um dos 118 elementos químicos que fazem parte da Tabela Periódica. A Química Orgânica é a química dos compostos de carbono e é a base de toda a vida na terra. O átomo de carbono tem uma extraordinária capacidade de constituir cadeias mais ou menos longas e de simultaneamente estabelecer ligações com outros elementos químicos, como o oxigénio, o enxofre, o azoto, o fósforo¹ e os halogénios, entre outros dando origem a milhões de compostos, tornando-o no elemento químico mais versátil da Tabela

boron 5 10,811	carbon 6 12,011	nitrogen 7 14,007	oxygen 8 16,000	fluorine 9 18,998	helium 2 4,0026
B	C	N	O	F	Ne
aluminum 13 26,982	silicon 14 28,086	phosphorus 15 30,974	sulfur 16 32,065	chlorine 17 35,453	argon 18 39,948
Al	Si	P	S	Cl	Ar
gallium 31 69,723	germanium 32 72,61	arsenic 33 74,922	selenium 34 78,96	bromine 35 79,904	krypton 36 83,80
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr

Periódica. Os compostos orgânicos podem ser obtidos a partir de produtos naturais por extração, ou a partir de outros produtos químicos por reação, conhecida como síntese orgânica. Deste modo podem obter-se novas moléculas, úteis no desenvolvimento de novos materiais, fármacos e outras biologicamente activas. Muitos destes compostos podem apresentar aroma agradável, cores intensas ou emitirem luz e devido a essas propriedades têm aplicações específicas no nosso dia-a-dia. Nas seguintes experiências mostra-se como se pode obter um polímero através de reação química (polimerização) e suas aplicações e ainda como funcionam alguns fenómenos que relacionam a química com a luz como o fotocromismo, fluorescência e quimiluminescência com demonstração de várias aplicações no nosso quotidiano.

Poliestireno

Para obter um composto orgânico através de uma transformação química é necessário pôr em contacto 2 ou mais reagentes em certas condições, chamadas condições reacionais. Um polímero é um composto orgânico de origem sintética ou natural, constituído por muitas moléculas pequenas (monómeros) ligadas entre si formando longas moléculas designadas macromoléculas.

O poliestireno é um polímero muito utilizado no nosso dia-a-dia devido ao seu baixo custo, fácil processamento, fácil coloração, elevada transparência, no entanto apresenta baixa resistência ao impacto e às intempéries. Por estas razões é muito usado como produto descartável, com todos os problemas ambientais associados, em utensílios domésticos rígidos, transparentes ou não como por

exemplo: brinquedos, escovas, embalagens, esferográficas, réguas, podendo apresentar-se numa grande variedade de formas sendo a esferovite uma das mais conhecidas (Figura1). A esferovite é obtida ao aquecer o poliestireno com substâncias que produzem gases provocando a sua expansão, tornando-o extremamente leve².



Figura 1 – Produtos da indústria de poliestireno

Este polímero é preparado através de uma reação de polimerização radicalar (em cadeia) que é muito utilizada industrialmente. O reagente principal é o estireno, um alceno (o monómero) que necessita de um iniciador, o peróxido de benzoílo (com aquecimento) para gerar os radicais livres (espécies com eletrões desemparelhados) que por sua vez reagem com o alceno formando outra espécie radicalar que reage de novo com outra molécula de alceno. Este processo repete-se várias vezes, aumentando o comprimento da cadeia com formação do polímero constituído por muitas moléculas iguais unidas entre si. Durante a reação a ligação π é quebrada e formam-se duas ligações simples (Figura 2).

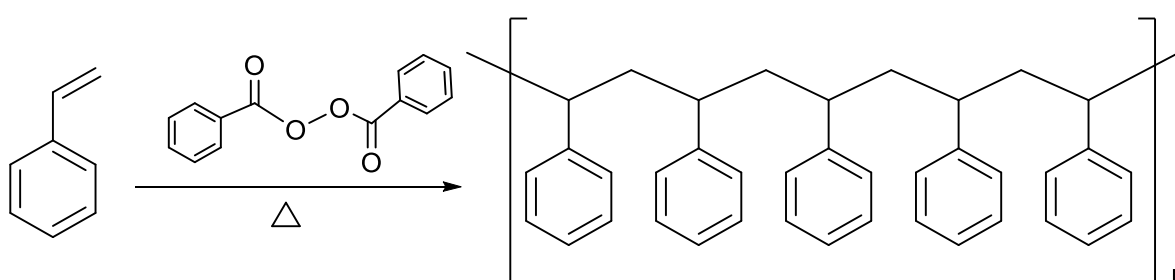


Figura 2 – Esquema reacional da formação do poliestireno

Na figura 3 pode observar-se a montagem para realizar a síntese deste composto consistindo num balão de fundo redondo e um condensador de refluxo. Após 1 hora de aquecimento a refluxo, a mistura reacional arrefecida, é deitada lentamente com agitação para um copo contendo metanol formando-se o precipitado branco de poliestireno. O produto é isolado por filtração a vácuo (Figura 3).



Foto de Bárbara Jesus

Figura 3 – Montagem para a reacção de formação e isolamento do poliestireno

Aquecendo lentamente poliestireno numa espátula metálica, ele funde (cerca de 220 °C). Tocando o polímero fundido com a ponta de um capilar podemos formar uma fibra deste polímero³ (Figura4).



Figura 4 – Formação de fibra de poliestireno

Ácido polilático

PLA ou ácido polilático é um poliéster (Figura 5) termoplástico (é um polímero que a uma certa temperatura apresenta uma viscosidade adequada para ser moldado num vasto número de geometrias, mantendo a mesma depois de arrefecido).

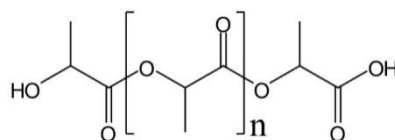


Figura 5 – Estrutura química do PLA

É comumente derivado de recursos renováveis, como o amido de milho, raízes de mandioca ou de cana, evitando os derivados do petróleo (Figura 6).



Figura 6 – Batata, milho, mandioca e cana; matérias primas do PLA

O PLA é também produzido pelos mamíferos (incluindo os humanos), podendo também ser produzido por via bacteriana. Uma das características mais importantes sobre o PLA é que ele se degrada, quando exposto ao meio ambiente (figura 7). Por exemplo, um objecto construído em PLA, apresenta um de vida médio de 1 ano em ambiente oceânico. Isto contrasta com os plásticos convencionais onde esse valor se situa no intervalo 500 a 1.000 anos.



Figura 7 – Biodegradabilidade do PLA⁴

A (importância da) impressão 3D

A gama de utilização do PLA é diversificada. É usado em embalagens alimentícias, embalagens cosméticas, sacos de plásticos, garrafas, canetas, vidros, tampas, talheres, frascos, copos, bandejas, pratos, implantes médicos biodegradáveis, tais como suturas e parafusos ortopédicos (Figura 8).



Figura 8 – Artigos feitos de PLA

Este polímero é também muito utilizado no fabrico de filamentos de impressão 3D. A temperatura de transição vítrea, Tg (ou temperatura de amolecimento) do PLA é cerca de 65°C, mas, normalmente, é misturado com outros aditivos para torná-lo colorido e mais apropriado para a impressão 3D (Figura 9). Outros materiais utilizados em impressoras de FDM são o acrilonitrilobutadieno estireno (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) e para algumas aplicações mais específicas o policarbonato (Polycarbonate, PC) e poliestireno (Polystyrene, PS).

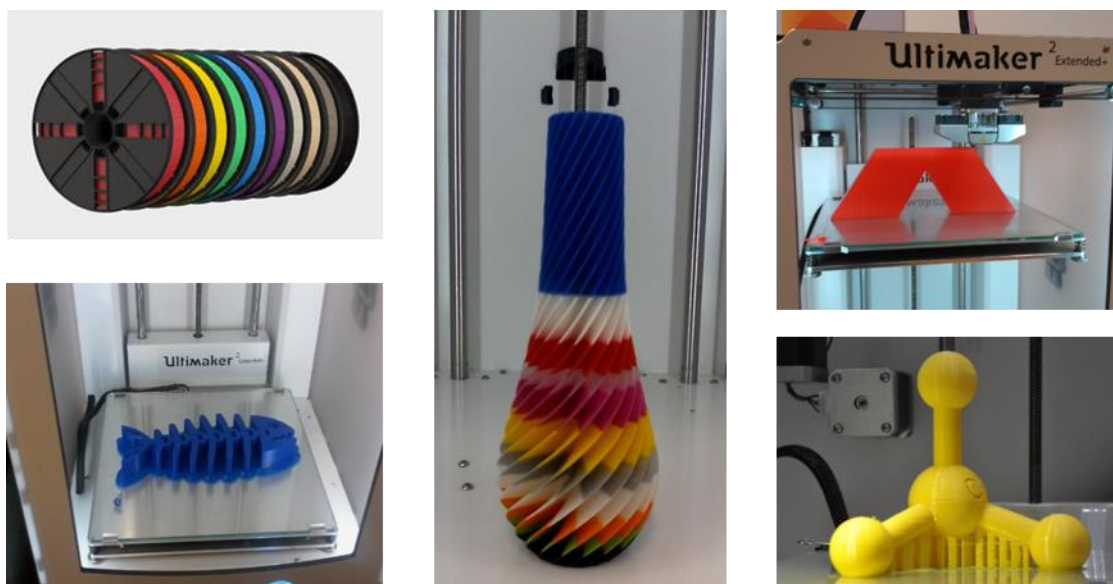


Figura 9 – Filamento e peças produzidas em impressoras 3D

A tabela 1 mostra as áreas didáticas de aplicação da impressão 3D.

Tabela 1 – Áreas didáticas de aplicação de impressão 3D

Engenharia	Criação de protótipos antecipadamente idealizados em computador.
Química	Impressão de moléculas evidenciando a estereoquímica das mesmas. Reactores laboratoriais e agitadores.
Indústria aeroespacial e automóvel	Fabrico de moldes e de protótipos de componentes.
Biologia	Impressão de órgãos do corpo humano ou réplicas de animais
Geografia	Mapas evidenciando o relevo ou a topografia de uma dada região
Artes & Arquitectura	Creatividade de objectos e maquetas a 3 dimensões
Medicina	Fabrico de próteses
Indústria aeroespacial e automóvel	Fabrico de moldes e de protótipos de componentes.
História	Impressão de artefacto arcaico ou medieval
Entretenimento e moda	Produção de adereços e joalharia

O primeiro protótipo do que hoje se designa por impressão 3D foi patenteado (US4575330A) em 1984 pelo norte-americano Charles Hull com o título *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography*. Esta técnica consistiu na deposição de um material foto-polimérico, seguido da cura do mesmo, com o auxílio de radiação ultravioleta. Para fazer uma impressão 3D o utilizador necessita, previamente, de desenhar o objecto utilizando um dos softwares disponíveis para projecção em 3 dimensões. Alternativamente poderá efectuar um varrimento 3D da peça que pretende produzir. Finalmente, será iniciar a impressão e aguardar para que o objecto ganhe forma, dimensão e profundidade (Figura 10). As impressoras 3D que trabalham em modo aditivo, concretamente em *Fused Deposition Molding* (FDM) um objeto tridimensional é construído através da sobreposição de várias camadas de um dado material. De um modo genérico a tecnologia associada é caracterizada pela fusão do material, seguida da extrusão do mesmo através de um *nozzle*. Permitem utilizar materiais ecológicos e dessa forma minimizam não só os desperdícios, mas contribuem para um favorável desempenho em termos de impacto ambiental.

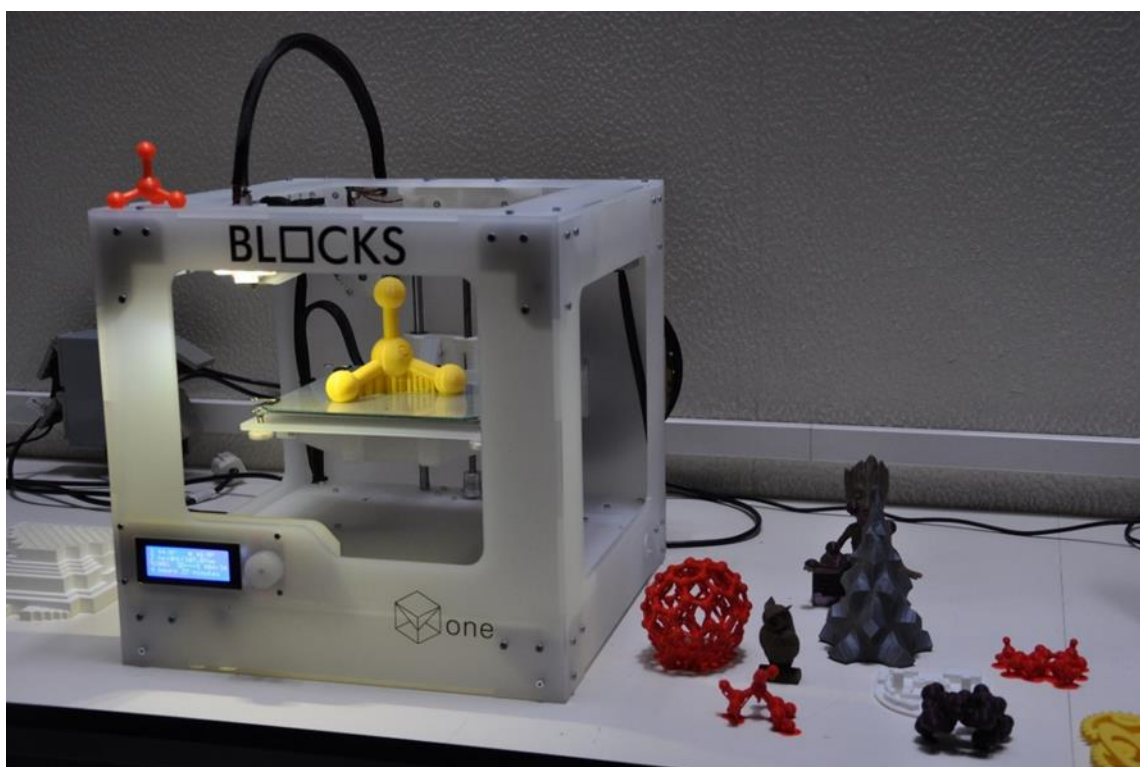


Figura 10 – Impressora e objetos 3D

Referências

- [1] – <https://escolakids.uol.com.br/ciencias/carbono.htm>, acedido em 19 Jan 2019.
- [2] – <http://www.explicatorium.com/quimica/poliestireno-esferovite.html>, acedido em 19 Jan 2019.
- [3] – D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, Exp.24 pág. 99 e Exp.26 pág. 107.
- [4] – <http://www.ecotunes.hk/pla.htm>, acedido em 19 Jan 2019.

Os elementos químicos e a luz

Fluorescência

Existem compostos orgânicos que são fluorescentes quando observados sob uma lâmpada de ultravioleta como por exemplo, o quinino existente na água tônica, a fluoresceína (Figura 11) muito utilizada para detecção de águas subterrâneas, exames oftalmológicos (angiogramas) e como marcador biológico, como por exemplo em química forense.



Figura 11 – Água tônica, solução de eosina e de fluoresceína sob luz ultravioleta

Existem também compostos fluorescentes em notas, cartas de condução e outro tipo de documentos (Figura 12). Este tipo de análise é de igual modo usado em investigação criminal para verificação da validade de papel-moeda e de diversos documentos.

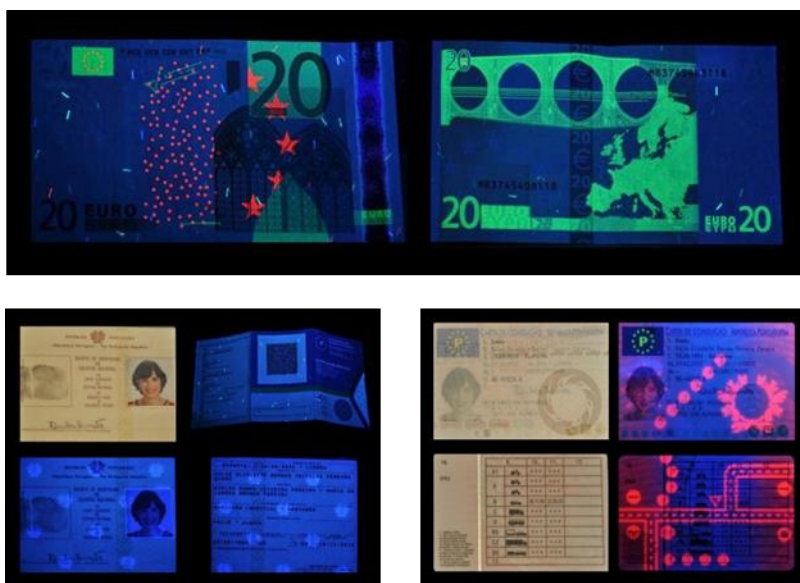


Figura 12 – Vários documentos e notas sob luz natural e sob luz ultravioleta

Fosforescência e o quadro mágico

A fosforescência é um tipo de luminescência que ocorre em certos materiais. Neste processo o material absorve energia de radiação na zona do visível, a qual é depois emitida sob a forma de luz de forma lenta. O termo fosforescência tem origem na Antiguidade Clássica, uma vez que os materiais com estas propriedades eram designados por fósforo (do Grego *phosphoros*, portador de luz).¹ Um exemplo de materiais fosforescentes são as placas de sinalização de emergência, em cuja composição está presente o sulfureto de zinco dopado com cobre, que é composto químico responsável pelo brilho que observamos no escuro (Figura 13).



Figura 13 – Exemplo de objectos fabricados com materiais fosforescentes.

Material:

- placa fosforescente (por exemplo uma placa de sinalização de saída de emergência)
- ponteiro laser de cor azul (ou telemóvel)

Esta actividade deverá ser realizada numa sala escura. Usando o ponteiro laser vamos tentar escrever uma mensagem ou fazer um desenho na placa. Será possível? O que acontece quando o raio laser toca na placa?

Quimiluminescência

Já todos ouviram falar de “glow party”. É uma festa cheia de luz e cor, onde se utilizam muitos produtos fluorescentes e luminosos. Muitos dos artigos usados nestas festas, consistem em pequenos tubos de plástico que se podem apresentar como pulseiras, colares, que se dobram até partir e ficam luminosos durante bastantes horas² (Figura 14).



Figura 14 – “Glow Party”

Quando surgiram os primeiros produtos deste género, nos anos 70, os chamados “glow sticks” ou “cyalume” tinham como principal função servir de luz de emergência. Hoje em dia são utilizados nas mais variadas situações uma vez que são à prova de água, toleram altas pressões, não necessitam de baterias ou pilhas, não geram calor e são muito baratos. São por isso muito utilizados pelas forças militares, campismo, mergulho, pesca, etc (Figura15).



Figura 15 – Aplicações práticas dos “Glow sticks”

A luz emitida por estes produtos está relacionada com o fenómeno da quimiluminescência, ou seja, com a emissão de luz devido a uma reação química³.

Quando se juntam determinados reagentes, uma das moléculas, (ativador - ACT), é eletronicamente excitada devido à reação, regressando depois ao seu estado fundamental emitindo nessa altura luz fluorescente. Nos “glow sticks”, os reagentes estão em 2 compartimentos separados. No momento em que se dobra, quebra-se um dos compartimentos, originando a reação com a consequente emissão de luz que dura várias horas (Figura 16).

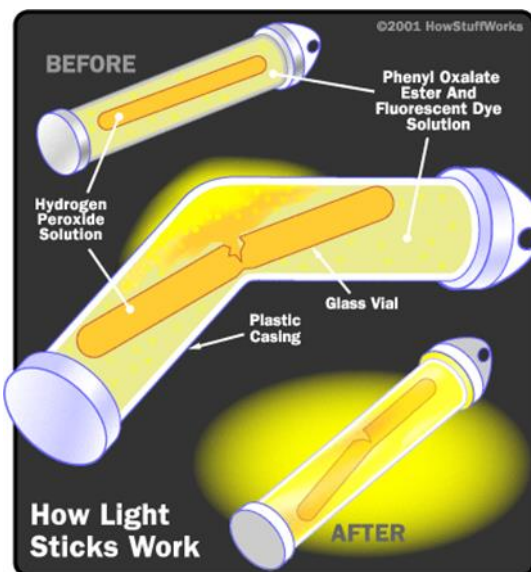


Figura 16 – Como funciona um “Glow stick”

<http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick2.htm>

Nesta experiência vamos mostrar este fenômeno da quimiluminescência, fazendo reagir o oxalato de 2,4,6-triclorofenilo (um éster) e a água oxigenada (peróxido de hidrogênio), formando um peróxido cíclico que interage com o ativador (ACT) ficando no seu estado eletronicamente excitado, o qual emite luz fluorescente ao voltar ao estado fundamental (Figura 17). Verifica-se também a liberação de dióxido de carbono⁴.

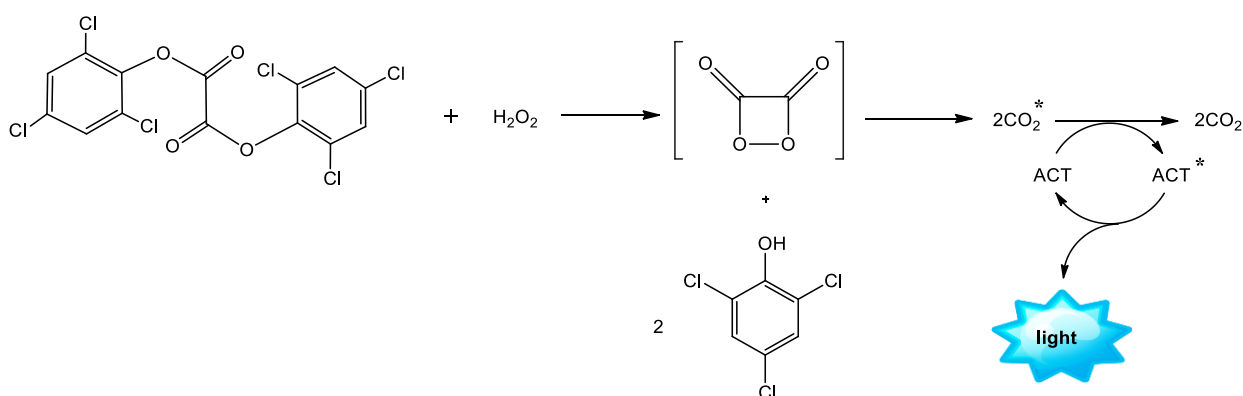


Figura 17 – Reação de quimiluminescência com um ativador (ACT)

A cor emitida dependerá do ativador utilizado⁵. Por exemplo com a rodamina a luz emitida é vermelha, com o trans-9-(2-feniletetil)antraceno⁶ é azul, com a eosina é laranja e com o rubreno é amarela (Figura 18).

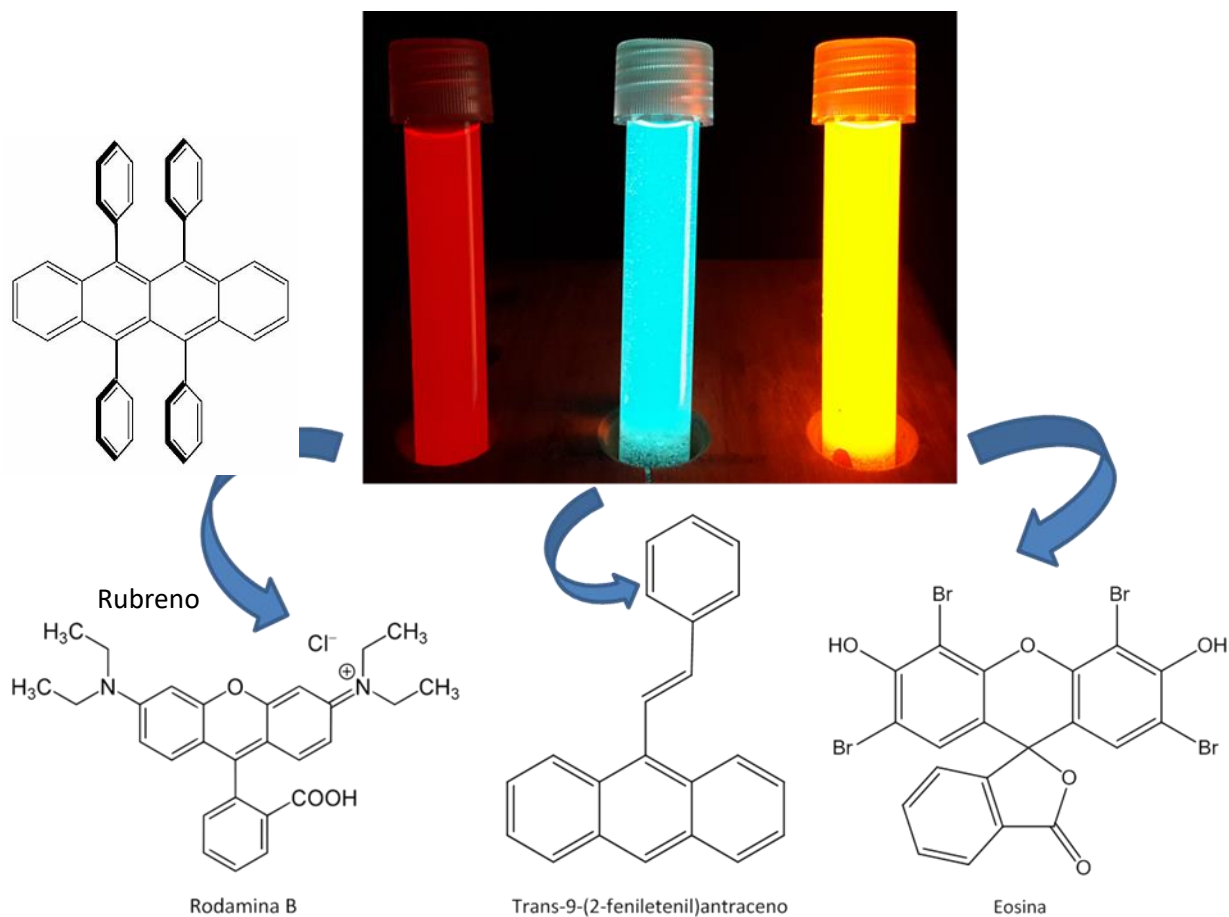


Figura 18 – Reações de quimiluminescência com vários ativadores.

Como aplicação prática deste fenómeno, vamos mostrar como se ativam os “glow sticks” (Figura 19).



Figura 19 – Ativação de um “Glow stick”

Referências

- [1] – Mário N. Berberan e Santos, Raios Químicos e Química Radiosa, *Química* **2015**, *139*, 53-60.
- [2] – <http://www.glow.pt/>, acessido em 19 de Jan 2019.
- [3] – R. Albertin et al, *Química Nova*, **21**, **1998**, 772.
- [4] – F. McCapra, *Methods Enzymol.*, **2000**, *305*, 633 – 659.
- [5] – <http://www.youtube.com/watch?v=titOOpYJP5k>, acessido em 19 de Jan 2019.
- [6] – D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, Exp.48, pág. 199.

Agradecimentos

Agradeço à Técnica de laboratório, Carla Salvador a preciosa colaboração e empenho, na preparação e montagem das experiências.

Alerta Tabela Periódica: Aqui há Química

Ana Knittel^a, Cristina Gomes de Azevedo^b, Marta Coelho^c

^a Aluna do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^b Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^d Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Introdução

A vida na terra baseia-se em compostos nos quais intervêm essencialmente quatro elementos químicos: o carbono, o nitrogénio, o hidrogénio e o azoto. Juntamente com pouco mais de uma centena de outros elementos químicos naturais, que podem juntar-se em infinitas combinações, permitem justificar a imensa diversidade de materiais que nos rodeiam.

Embora os químicos do séc. XIX não conhecessem ainda a estrutura dos átomos, reconheceram tendências periódicas nas propriedades físicas e químicas dos elementos conhecidos, que procuraram sistematizar. As tentativas de organizar os elementos químicos resultaram da necessidade de reunir o máximo de informação, da forma mais simples para ser consultada. Ou seja, reunir toda a informação disponível acerca das características das substâncias elementares, e do reconhecimento de uma regularidade periódica nas propriedades físicas e químicas dessas substâncias.

A sistematização é uma forma de organização imprescindível nas mais variadas áreas do conhecimento. E a Química oferece-nos hoje umas das mais belas e úteis classificações conseguidas na história da ciência, **a Tabela Periódica dos Elementos**.

Embora tivessem surgido várias tabelas de elementos químicos desde o final do séc. XVIII, a primeira tabela periódica que deu origem à tabela atual foi pensada por Mendeleiev. Este químico russo elaborou aquela tabela para evidenciar a variação periódica das propriedades dos 66 elementos químicos, conhecidos até à altura.

Atualmente a tabela periódica (figura 1) é constituída por mais de uma centena de elementos químicos (uns naturais, outros sintetizados) agrupados de acordo com as suas propriedades físicas e químicas, em 18 grupos ou famílias (linhas verticais) e 7 períodos (linhas horizontais).

Os elementos do grupo 1 são chamados *metais alcalinos*, os do grupo 2 são os *metais alcalino-terrosos*, os do grupo 17 são os *halogéneos* e os do grupo 18 são conhecidos por *gases nobres, raros* ou *inertes*.

Os elementos dos grupos 1 e 2 constituem o *bloco s* e os do 13 ao 17 formam o *bloco p*. Juntos constituem os *elementos representativos*. Nos grupos 3 ao 12 encontram-se os *metais de transição*. Existem ainda os *lantanídeos* e *actinídeos*.

Os elementos da tabela periódica agregam-se formando entidades mais complexas, as moléculas. A **localização** de um determinado elemento na tabela periódica, e consequentemente as suas propriedades, vai refletir-se nas moléculas que forma, condicionar a sua **ação** e induzir as **reações** em que participa.

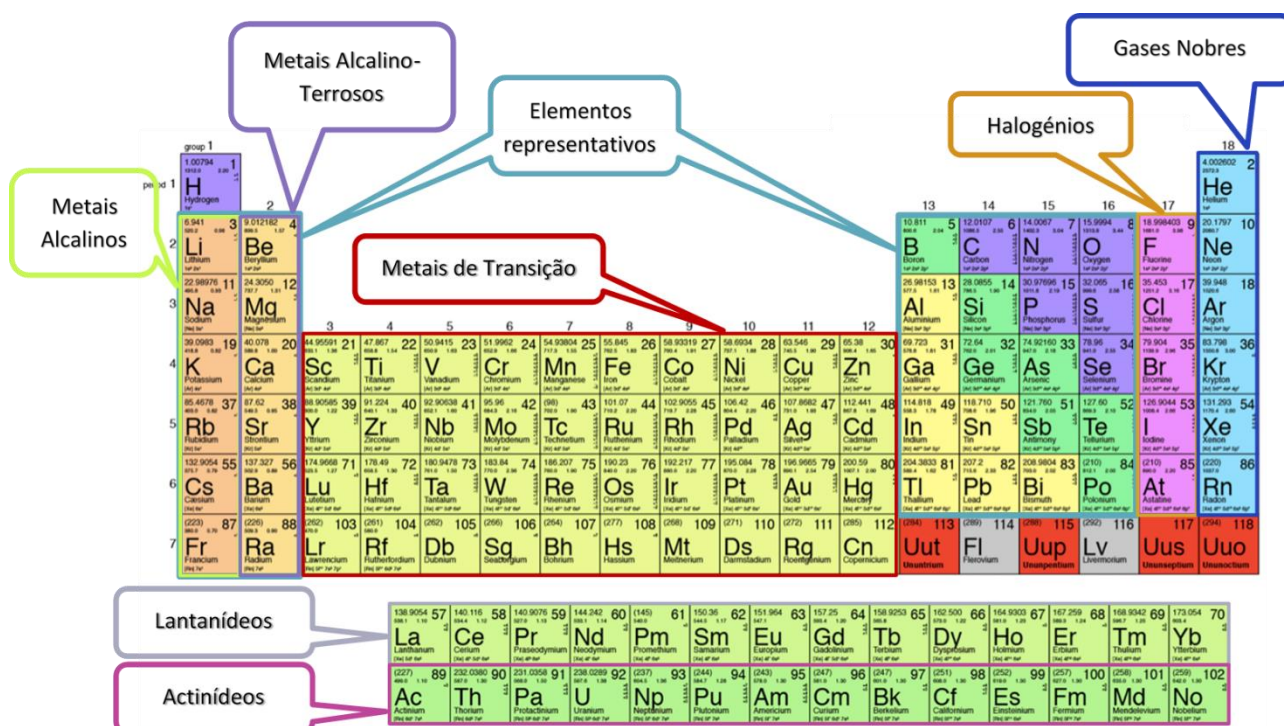


Figura 1 – A Tabela Periódica

A tabela periódica, com a sua sistematização intrínseca, é de grande utilidade para nos dar informações sobre as propriedades de elementos consoante a sua localização na tabela e em consequência, a sua reatividade.

Para que se possa fazer a afirmação **“Aqui há química”**, é preciso em primeiro lugar saber e perceber o que é a química.

Em química estudam-se as substâncias e as suas transformações. Transformar umas substâncias noutras, de modo a obter materiais úteis que contribuam para a melhoria da nossa qualidade de vida, é um dos objetivos desta ciência. Essas transformações de matéria designam-se por *transformações químicas ou reações químicas*.

Os avanços da química têm permitido atuar em diferentes áreas proporcionando-nos o acesso a materiais muito distintos.

É inquestionável a contribuição da Química para a nossa vida atual, no que se refere ao conforto, bem-estar, qualidade, enfim, às características da nossa vida diária.

Algumas transformações químicas são tão vulgares que, por vezes, não lhes damos muita atenção apesar de terem bastante importância no nosso dia-a-dia. Podem ser quase instantâneas (Figura 2) ou muito lentas (Figura 3). Um fósforo a arder é uma reação muito rápida. A deterioração de estátuas e edifícios pelas chuvas ácidas deve-se a reações químicas lentas.



Figura 2 – A transformação da cabeça do fósforo devido à fricção é uma reação muito rápida



Figura 3 – Desgaste ocasionado pela chuva ácida num período de 60 anos – estátua de mármore localizada no Castelo de Herten, na Alemanha.

Por exemplo, quando o pão ganha bolor, quando cozinhamos alimentos, quando queimamos gás para cozinhar, quando as folhas das árvores amarelecem, há transformações de substâncias em novas substâncias. Ocorrem reações químicas – **Aqui há química.**

Outras transformações químicas são realizadas a nível industrial e, devido a elas, obtemos muitos materiais, não naturais, que utilizamos. É o caso dos cosméticos, de produtos de limpeza e higiene, entre outros. Os medicamentos, os adubos, a borracha, os inseticidas e herbicidas são, também exemplos de produtos que resultaram de transformações químicas realizadas a nível industrial – **Aqui há química.**

A maioria dos materiais usados na alimentação, no vestuário, nas construções, nos meios de transporte e nas mais diversas áreas resultaram de transformações de substâncias – **Aqui há química.**

Estes exemplos de reações químicas mostram que nem todas acontecem naturalmente. Na realidade, muitas são da responsabilidade do homem. Uma são saudáveis, outras prejudiciais. Por isso, o conhecimento e o controlo de uma reação química são vitais. Nesse sentido a investigação para descobrir novas reações químicas que conduzam a produtos benéficos e simultaneamente a procura de um controlo cada vez mais profundo e fino das reações conhecidas, é uma área chave no progresso da química.

As reações químicas ocorrem também em processos tecnológicos de grande interesse social: nos processos de reciclagem, no tratamento da água que bebemos, no tratamento de resíduos industriais e hospitalares tóxicos, nas incineradoras e aterros sanitários, etc.

O estudo das reações químicas assenta na sua divisão em 3 tipos:

◆ Reações ácido-base

◆ Reações de precipitação

◆ Reações de oxidação redução

A ocorrência de uma reação química pode-se detetar de várias formas:

- Mudança de cor
- Libertação gasosa (efervescência)
- Formação de um sólido (precipitado)
- Variação de temperatura
- Cheiro característico
- Aparecimento de uma chama
- Desaparecimentos das substâncias iniciais (reagentes)

São esses os indícios que os químicos usam como ferramentas para avaliar o evoluir de uma reação.

As experiências que se descrevem na parte experimental vão ser efetuadas no laboratório e pretendem ilustrar os factos atrás explicados. Vamos fazer reações ácido-base, redox e de precipitação, fazendo uso dos “sinais” mencionados.

Reações ácido-base

Começamos, por reconhecer a existência vulgar de substâncias, mesmo fora do laboratório, que, pelas características ácidas ou básicas das suas soluções, são, respetivamente, designadas por ácidos ou bases.

São, por exemplo soluções ácidas comuns no nosso dia-a-dia, o vinagre (constituído por ácido acético), limões e laranjas (têm ácido cítrico), coca-cola (ácido fosfórico), uvas e vinho (ácido tartárico), aspirina (ácido acetilsalicílico), ferrão das formigas e abelhas (ácido fórmico), azeite (ácido oleico), suco gástrico do estômago (ácido clorídrico), adubos, baterias, tintas (ácido sulfúrico). São exemplos soluções básicas a soda cáustica (hidróxido de sódio), detergentes limpa vidros (amónia), lixívia, shampoo, águas com sabão, fermento (bicarbonato de sódio), fertilizantes (amoníaco). Há soluções que não têm carácter ácido nem básico: as soluções neutras (ou aproximadamente neutras) são exemplos a água com sal e água açucarada, leite e água destilada.

Na Figura 4 apresentam-se exemplos de soluções muito comuns e o respetivo *pH* (grandeza usada para definir soluções ácidas, básicas ou neutras, a definir posteriormente).

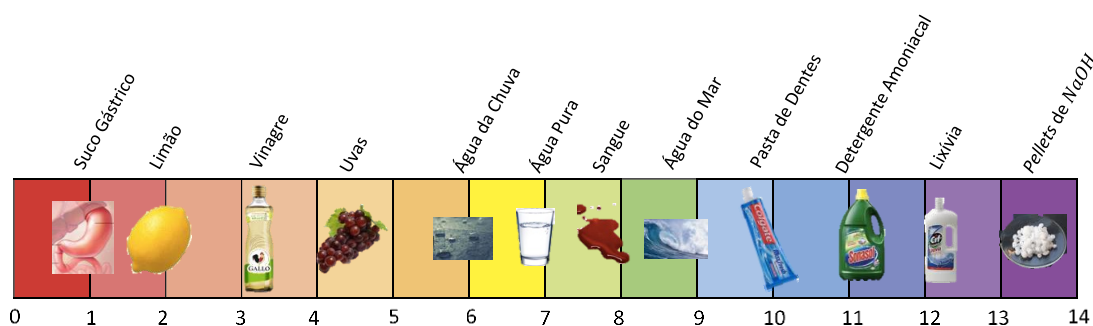


Figura 4 – Exemplos de soluções e o seu *pH*

São exemplo de ácidos usados no laboratório, o ácido clorídrico (de fórmula HCl), o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3), ácido fosfórico (H_3PO_4). Estes são ácidos fortes. O ácido acético (CH_3COOH) é um exemplo de um ácido fraco. São exemplos de bases soluções aquosas de hidróxido de sódio, o hidróxido de cálcio e o hidróxido de magnésio, bicarbonato de sódio ou a amónia.

Podemos identificar o carácter ácido base de uma solução recorrendo a **indicadores** ou pela medição de uma grandeza designada *pH*.

Indicadores ácido-base são substâncias (ou soluções de substâncias) cuja cor se altera na presença de soluções ácidas ou básicas. São exemplos de indicadores ácido-base caseiros o chá preto (solução ácida – o indicador passa de incolor para amarelo claro; solução básica – indicador fica castanho escuro), o vinho tinto (solução ácida – indicador fica rosé; solução básica – indicador verde), o extrato de couve roxa (solução ácida – indicador passa a vermelho; solução básica – a cor obtida é amarelo). Outros indicadores ácido base, usados em laboratório, são por exemplo a **fenolftaleína** (soluções ácidas ou neutras – incolor; soluções básicas – carmim), **tintura azul de tornesol** (soluções ácidas – avermelhado, neutras – lilás; soluções básicas – roxo); **azul de bromotimol** (soluções ácidas – amarelo, neutras –

esverdeado; soluções básicas – azul) ou **alaranjado de metilo** (soluções ácidas – avermelhado, neutras ou básicas – amarelo).

O pH é uma grandeza que está tabelada numa escala que vai de 1 a 14:

- soluções ácidas – $pH < 7$
- soluções neutras – $pH = 7$
- soluções básicas – $pH > 7$

O pH pode ser medido: i) usando um indicador universal, em que a solução adquire a cor respectiva por adição de algumas gotas de indicador (Figura 5, e Figura 6b)), ii) papel indicador, que varia a sua cor consoante o pH , (Figura 6a)), iii) para medidas mais rigorosas e quantitativas, um aparelho medidor de pH (Figura 6).

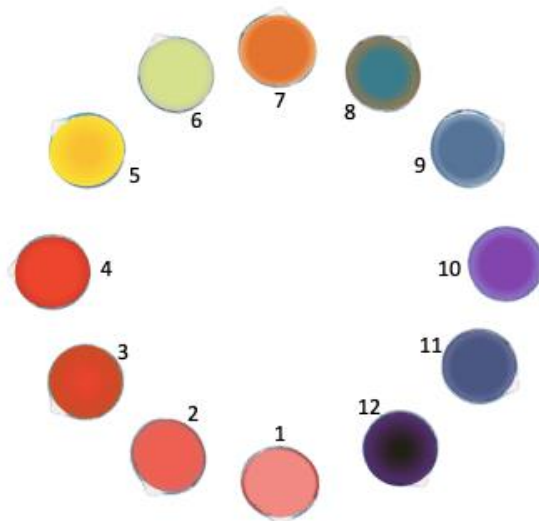


Figura 5 – Escala de cores de pH usando indicador universal.



Figura 6 – (a) papel indicador de pH ; (b) indicador universal; (c) aparelho medidor de pH .

Algumas situações do dia-a-dia correspondem a reações de ácidos com bases. Por exemplo, podemos usar bicarbonato de sódio (vulgar “alka-seltzer”) para combater a acidez excessiva no estômago. O suco gástrico contém ácido clorídrico, necessário à digestão dos alimentos, mas um excesso de ácido provoca azia e dor. A base neutralizou o ácido. Aliás, as várias partes do aparelho digestivo têm gamas de valores de *pH* muito próprias (Figura 7).

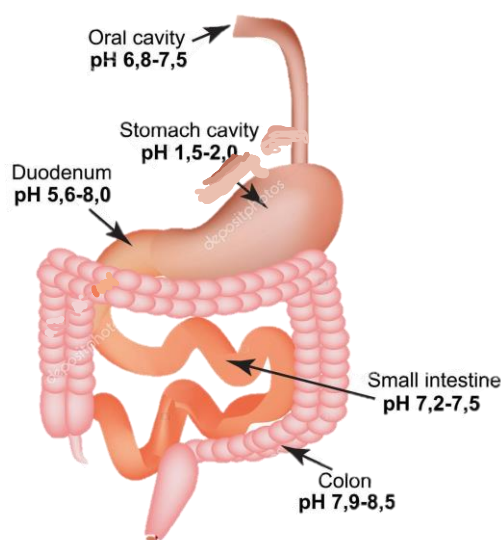


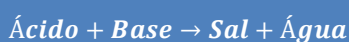
Figura 7 – Valores de pH em várias partes do nosso aparelho digestivo.

Outro exemplo é o facto de a maioria das plantas se desenvolver melhor em solos cuja suspensão em água tem um *pH* próximo de sete. Se um solo for excessivamente ácido ou básico há que utilizar substâncias que neutralizem esse valor desregulado de *pH* (se for excessivamente ácido – utilização de calcário em pó ou mesmo hidróxido de cálcio; se for excessivamente básico – utilização de fertilizantes de comportamento ácido como seja o nitrato de amónio e o sulfato de amónio).

Nestes exemplos combate-se um excesso de ácido com base ou um excesso de base com ácido. Ocorrem pois reações entre substâncias ácidas e substâncias básicas: reações ácido-base.

Certas reações ácido-base, em casos particulares, designam-se reações de neutralização. Nem sempre assim é, mas esse assunto transcende o âmbito do que queremos aqui explicar e depois experimentar no laboratório.

Generalizando, podemos escrever que para uma reação de neutralização:



As experiências que se descrevem na parte experimental vão ser efetuadas no laboratório e pretendem ilustrar os factos atrás explicados. **Vamos fazer reações ácido-base.**

Reações de precipitação

A especial relevância da precipitação de sais deve-se ao facto de, na natureza, as rochas, que são maioritariamente misturas de sais, se irem formando por precipitação de compostos de diferentes solubilidades.

O sal-gema é uma rocha formada por um processo de evaporação, sendo constituídas por cristais de cloreto de sódio (Figura 8(a))

Outra rocha formada por precipitação e também muito conhecida é o calcário, rocha sedimentar que se forma pela precipitação do carbonato de cálcio ($CaCO_3$), a partir dos iões cálcio (Ca^{2+}) e carbonato (CO_3^{2-}) dissolvido nas águas marinhas ou continentais. São de todos conhecidas as estalactites e estalagmites das grutas calcárias, (Figura 8(b)).



Figura 8 – (a) cristais de sal-gema, $NaCl$, (b) grutas calcárias

Até aqui falámos apenas de formações rochosas obtidas por precipitação de sais pouco solúveis. Mas existem formações rochosas de origem biológica, como os recifes de coral. Formam-se e águas quentes, pouco batidas, e os seus construtores são seres vivos – os corais, Figura (9). Estes são seres vivos fixos que segregam constantemente calcário com o qual edificam o seu esqueleto. Quando morrem, esse esqueleto vai sedimentando, edificando os recifes



Figura 9 – Corais

As reações de precipitação reúnem todas aquelas reações em que, quer por junção de determinados reagentes, quer por alteração das condições de pressão ou temperatura, quer ainda por variação e concentração, resulta a formação de um produto sólido sob a forma de precipitado. Estas reações ocorrem então sempre que, numa mesma solução aquosa, coexistem iões componentes de sais pouco solúveis (Figura 10).

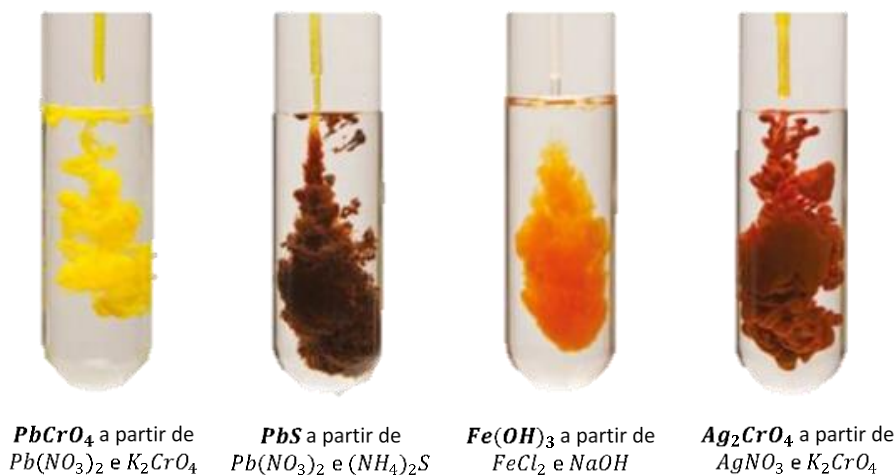


Figura 10 – Exemplos de reações de precipitação

A classificação de um sal como muito ou pouco solúvel tem a ver com o valor da sua **solubilidade**, que se define como a quantidade máxima que se consegue dissolver num determinado volume de solvente. A solubilidade de um sal depende do mesmo, do solvente e das condições experimentais em que se dá a dissolução. Quando, a uma determinada temperatura, já não se dissolve mais soluto, a solução diz-se **saturada**. Numa solução saturada, na presença de soluto não dissolvido, existe um equilíbrio dinâmico entre o soluto não dissolvido e o soluto em solução. **Soluções sobressaturadas** são

as que contêm uma quantidade de soluto maior do que a que corresponde à solução saturada. **Soluções não saturadas** são as que contêm uma quantidade de soluto inferior à que indica a sua solubilidade.

Generalizando, podemos escrever para uma reação de precipitação:

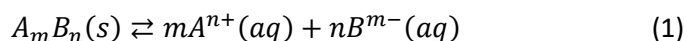


As experiências que se descrevem na parte experimental vão ser efetuadas no laboratório e pretendem ilustrar os factos atrás explicados. **Vamos fazer reacções de precipitação.**

Para Saber Mais...

A explicação que a seguir se descreve provavelmente transcenderá os conhecimentos de alguns alunos, mas aqui fica, para maior coerência do assunto e ... para uma eventual consulta futura!

Para um sal genérico representado por A_mB_n o equilíbrio que se estabelece numa solução saturada é:



A constante de equilíbrio desta reação denomina-se constante de produto de solubilidade, K_{ps} , e é definida por:

$$K_{ps} = [A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n \text{ ou } K_{ps} = (mS)^m \cdot (nS)^n$$

em que S representa a solubilidade do sal.

Enquanto em solução, o produto iónico $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n$ for inferior a K_{ps} , o sólido mantém-se dissolvido; quando igualar K_{ps} , a solução diz-se saturada e formam-se os embriões dos núcleos de cristalização; finalmente quando $[A^{n+}]^m \cdot [B^{m-}]^n$ for superior a K_{ps} a solução está sobressaturada e ocorre precipitação.

Reações de oxidação redução

Comparando com as reações anteriores, as ácido-base e as de precipitação, as reações de oxidação–redução, também designadas reações redox, serão provavelmente as conceptualmente mais complicadas e, por isso, não vão ser tratadas com a mesma profundidade de conceitos. São, no

entanto, reações que ocorrem no nosso dia-a-dia, na Natureza, no nosso corpo. Por essa razão não as poderíamos “deixar de lado”.

As reações redox são lentas e muito importantes - são responsáveis pela globalização em que vivemos com a utilização de carros usando combustíveis e mais ainda, são responsáveis por diversas reações na água prevalecendo a vida, e também a purificação da água.

Combustão, corrosão e respiração são exemplos de reações redox. O fenômeno da corrosão, que do ponto de vista da qualidade de vida é um incômodo e que o homem procura evitar ou minimizar. A construção civil e naval são áreas onde este fenômeno é um problema permanente.

A corrosão do ferro corresponde à formação de óxido de ferro (Fe_2O_3) a partir de ferro metálico. Isto é uma reação redox (Figura 11).



Figura 11 – Barco Enferrujado

Todos vocês já viram um prego ferrugento! Também já foram confrontados com objetos de metal, que perderam o brilho – dizem-se oxidados.

Sofreram reação redox. A revelação fotográfica é uma reação redox! O fogo de artifício é uma reação redox (Figura 12).



Figura 12 – fogo de artifício

A fotossíntese é um processo físico-químico que envolve uma reação redox (Figura 13).



Figura 13– Fotossíntese

Podemos contextualizar estas reações em processos que envolvem **troca de elétrons** entre duas substâncias. Esta reação envolve um conjunto de substâncias químicas, um oxidante e um redutor. Para que exista uma reação redox é necessário que no sistema exista uma substância que ceda elétrons (que se está a reduzir e a funcionar perante a outra substância como oxidante e, exista simultaneamente uma substância que receba os elétrons (que se está a oxidar e a funcionar perante a outra substância como redutora) como se ilustra na Figura 14.

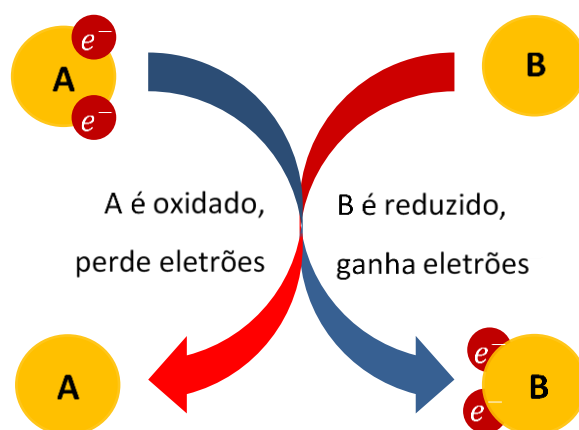


Figura 14 – Esquema de uma reação de oxidação redução.

Generalizando, podemos escrever para uma reação de redox:



As experiências que se descrevem na parte experimental vão ser efetuadas no laboratório e pretendem ilustrar os factos atrás explicados. **Vamos fazer reações de oxidação-redução.**

Experiências Laboratoriais

Reações ácido-base

Vamos fazer duas experiências que envolvem: i) os conceitos de ácido e base e identificação de soluções e ii) uma reação ácido-base.

i) Identificação de ácidos e bases em solução aquosa

Em primeiro lugar vamos identificar como ácidos ou bases produtos do nosso dia-a-dia. Utilizamos para isso papel indicador. Terão ao vosso dispor: uma solução de lixívia, vinagre, coca-cola e sumo de limão. Tocam com uma vareta, em cada uma das soluções, e depois tocam na tira de papel indicador. A gota que vem na vareta, vai colorir o papel indicador e, com o auxílio de um código de cores fornecido, vão identificar o carácter ácido ou básico de cada produto (Figura 15). Nota: Não mergulhar o papel indicador na solução.



Figura 15 - a) lixívia – básico; b) vinagre – ácido; c) coca-cola – ácido; d) sumo de limão – ácido.

Também se pode fazer uma experiência com o mesmo fim, identificação de ácidos e bases, usando um indicador. Vamos utilizar a fenolftaleína. Colocam num tudo de ensaio 1ml de solução de lixívia. Adicionam 3 gotas de fenolftaleína. Anotam a cor da solução e comparam com o observado na escala de papel de pH . Fazem o mesmo procedimento com a solução de vinagre, e comparam com resultado obtido fazendo uso do papel de pH . Fazem procedimento análogo com água.

Como já referido na introdução, a fenolftaleína é incolor em soluções ácidas ou neutras e carmim em soluções básicas. O papel indicador ficará vermelho com soluções ácidas, verde em neutras e azul em básicas.

ii) Reação ácido-base

Vamos agora fazer uma reação ácido base, usando reagentes comuns de laboratório: i) uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), ii) uma solução aquosa de ácido clorídrico (HCl), e iii) água. Coloca-se num copo, 5ml da solução de NaOH medidos com uma proveta, noutra copo 5mL de água e ainda noutra copo 5ml da solução de HCl , igualmente medidos com uma proveta. Para alguns de vocês (consoante o grau de conhecimentos e o ano em que estão) será importante referir que as soluções aquosas de NaOH , e HCl têm a mesma concentração.

Adicionam-se 3 gotas de indicador universal a cada um dos copos. Verifica-se que a solução de HCl fica vermelha (ácida), a solução de NaOH fica azul (básica) e a água fica verde, como se ilustra da Figura 16.



Figura 16 - a) $NaOH$ – básico; b) água – neutra; c) HCl – ácido.

Vamos adicionar lentamente, com pipeta de plástico, a solução de $NaOH$ à solução de HCl . Verifica-se uma mudança gradual de cor, até a solução ficar verde, (Figura 17). Isto é indicativo que a solução final é neutra.

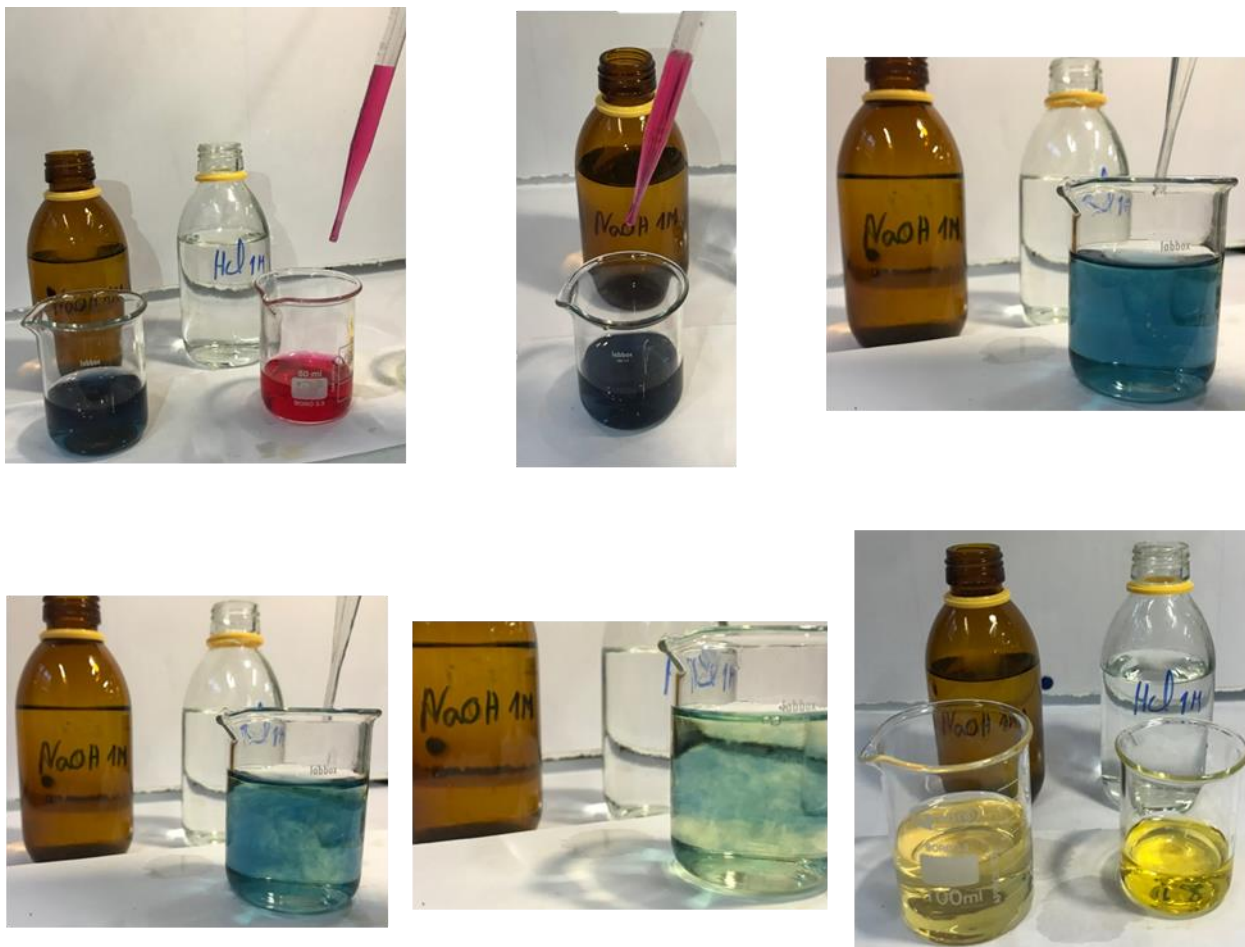
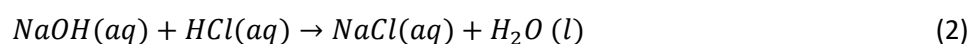


Figura 17 – Adição lenta da solução aquosa de $NaOH$ sobre a solução aquosa de HCl

Acabámos de demonstrar experimentalmente a reação apresentada na introdução. Desde que as quantidades químicas de ácido e base sejam iguais (e que o ácido e a base sejam fortes – exemplo escolhido de acordo com o vosso grau de conhecimentos), a reação de um ácido com uma base corresponde a uma neutralização, de dá origem à formação de um sal e água. Para esta reação em particular:



De acordo com a equação química (2) formou-se água salgada!

Reações de precipitação

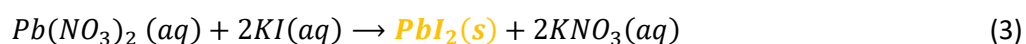
Para a discussão simultânea sobre solubilidade de uma espécie química a precipitação, e sobre a formação de cristais, dificilmente haverá reação mais rápida e simples que a que envolve a formação de iodeto de chumbo, PbI_2 – Figura 18. Esta espécie é facilmente identificável pela sua cor amarela, muito característica.



Figura 18 – Precipitação de PbI_2

Partimos de 3mL de uma solução de nitrato de chumbo, $Pb(NO_3)_2$ colocada num tubo de ensaio e adicionamo-la a 3mL de uma solução de iodeto de potássio – KI -, também colocada num tubo de ensaio (é de notar que ambas as soluções são incolores). Observa-se imediatamente a formação do precipitado amarelo de iodeto de chumbo - PbI_2 . Este sal pela sua baixa solubilidade em água precipita rapidamente, atinge-se K_{ps} e a precipitação de PbI_2 é instantânea. Os respetivos valores de solubilidade (0.0756 g/100 mL, 20 °C) e K_{ps} (4.41×10^{-9} , 20 °C) corroboram este comportamento.

A reação de precipitação traduz-se pela seguinte equação química:



Desta experiência resulta um precipitado amarelo, denso e homogéneo. Como transformá-lo então em cristais?

Muito facilmente! Basta dissolver o iodeto de chumbo em água, com aquecimento, e deixar novamente a solução arrefecer lentamente. Este processo simples é suficiente para, apenas se retira a solução do aquecimento, se comece a notar a formação de pequenos cristais – Figura 19.



Figura 19 – Cristais de PbI_2

Estes cristais são constituídos por um arranjo dos átomos numa estrutura cúbica de faces centradas de iões iodeto com iões de chumbo nos interstícios octaédricos (tal como ocorre com o *NaCl*, por exemplo) – Figura 20.

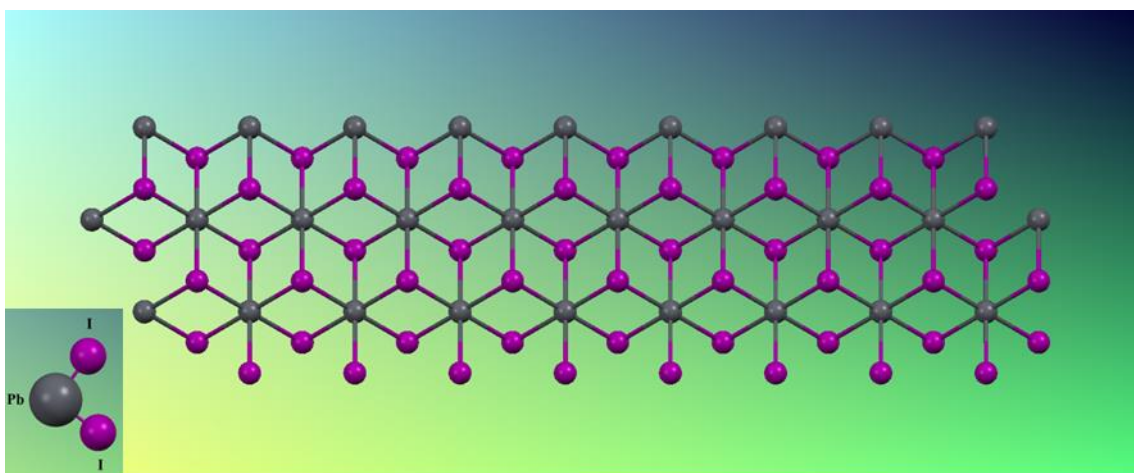


Figura 20 - Estrutura cristalina do iodeto de chumbo

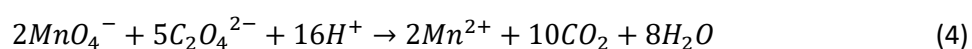
Nem todos os compostos químicos cristalizam com esta facilidade. Obter cristais de um composto químico é, muitas vezes uma tarefa árdua que requer muita persistência e paciência!

Reações de oxidação redução

Quando se faz reagir permanganato de potássio - $KMnO_4$ - com uma solução aquosa de oxalato de sódio - $Na_2C_2O_4$ - em meio ácido, dá-se uma reação química de oxidação redução.

Foi escolhida uma reação em que reagentes e produtos têm cores diferentes. É pois fácil seguir visualmente a evolução da reação.

Em solução aquosa, o permanganato de potássio está “separado” nos respetivos iões: anião permanganato - MnO_4^- - e catião potássio - K^+ -. De igual modo a solução aquosa de oxalato de sódio - $Na_2C_2O_4$ -, está “dividida” nos respetivos iões: anião oxalato - $C_2O_4^{2-}$ - e catião sódio - Na^+ -. As espécies químicas que vão reagir são MnO_4^- (solução roxa) e $C_2O_4^{2-}$ (solução incolor) para dar o ião manganês, Mn^{2+} , (solução aquosa incolor) e dióxido de carbono gasoso de acordo com a equação 4. As restantes espécies presentes não interferem na reação, sendo por isso denominadas iões espectadores e não estão indicadas na equação 4.



Coloca-se numa bureta a solução roxa de permanganato. Num tubo de ensaio colocam-se 2mL de solução de oxalato e 2mL de H_2SO_4 (ácido sulfúrico 2,5M). Aquece-se esta solução em banho maria, numa placa de aquecimento, a cerca de $50^\circ C$. Tira-se o tubo de ensaio da placa e adiciona-se, gota a

gota, a solução que se encontra na bureta. Se houver reação química cada gota de solução de $MnO_4^- (aq)$ perde a cor roxa quando entra em contacto com a solução que está no tubo de ensaio. O $MnO_4^- (aq)$, roxo, deu origem a $Mn^{2+} (aq)$, incolor. A libertação de CO_2 não é visível. O procedimento está ilustrado na Figura 21.

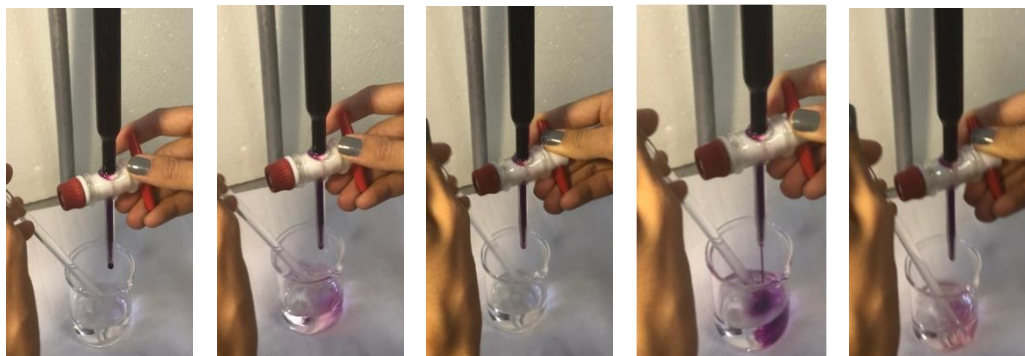


Figura 21 – Reação de MnO_4^- e $C_2O_4^{2-}$ a $50^\circ C$, em meio ácido

Se eventualmente se adicionar excesso de $MnO_4^- (aq)$, a solução no tubo de ensaio fica roxa pois todo o oxalato foi consumido, a reação parou e não há mais formação de $Mn^{2+} (aq)$.

Experiências para os Kids[†]

Para os visitantes mais jovens, do 1º ciclo do ensino básico, foram desenhadas experiências usando uma linguagem mais acessível, que se encontram reunidas nesta secção.

Os jovens cientistas puderam fazer experiências que mais parecem magia, perceberam como funcionam as pilhas ou como as fraldas mantêm os bebés limpinhos. Também puderam explorar os mistérios do frio e pregar pregos com martelos feitos de papel, comer um gelado delicioso feito com azoto líquido e brincar aos chefes de cozinha.

[†] O módulo de experiências dedicado aos mais pequenos foi publicado no Livro dos Laboratórios Abertos 2018

Engenheiro químico por um dia

Fátima Rosa, Licínio Ferreira

CERENA, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

As pilhas que conhecemos e que se utilizam nos brinquedos, nas lanternas, nos relógios e noutros aparelhos têm este aspecto.

Parece magia, mas podemos construir pilhas com um aspecto muito diferente: com limão, batata ou até água com sal!

Pilha de Limão

Corta-se um limão em 4 partes, espeta-se uma barra de zinco e outra de cobre no limão e ligam-se com fios eléctricos como se vê na figura.

Com esta pilha conseguimos fazer tocar uma campainha, acender um led (lâmpada pequena), fazer andar um barquinho de brincar, etc



Pilha de batata

Neste caso fizemos dois cortes na batata com uma faca e num deles introduzimos uma barra de cobre e no outro uma de magnésio em vez de zinco. Ligamos com fio eléctrico e conseguimos assim energia suficiente para fazer trabalhar o relógio.



Pilha de água e sal

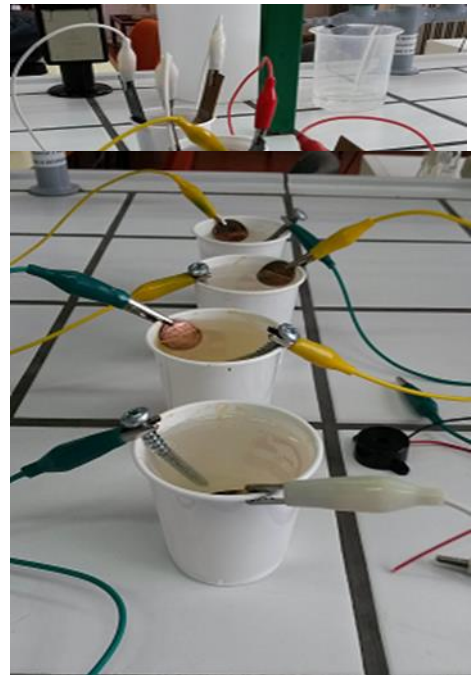
Neste caso misturamos água com sal das cozinhas num pequeno copo e podemos utilizar barras de zinco e cobre. Caso não tenhamos estes materiais podemos usar parafusos ou pregos de zinco e moedas de cobre como se pode ver nos esquemas ao lado.

Polímeros superabsorventes

O produto com este aspecto de um pó branco



é utilizado por exemplo nas fraldas para bebé.



Chama-se polímero superabsorvente e como o próprio nome indica, é muito forte (é super...) a absorver os líquidos como é o caso do xixi dos bebés, que assim passam para o interior da fralda e já não incomodam a pele.

Parece magia, mas é ciência

Dulce Simão^a, Rita Pires e Vasco Bonifácio^b

^aCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQFM/IN e IBB, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

A **química** é uma ciência que estuda a matéria e suas transformações. A **matéria** é tudo o que tem massa e ocupa espaço e pode ser líquida, sólida ou gasosa.

Tudo à nossa volta que podemos ver e pegar é matéria, como um ser vivo, um objecto, ou um alimento. Toda a matéria é **formada por partículas muito pequenas que se chamam átomos**.

O que faz um químico? Retira os materiais que existem na natureza para serem utilizados pelo homem em medicamentos, produtos de limpeza, perfumes, por exemplo. O químico também pode transformar estes produtos da natureza noutros diferentes que não existem na natureza e isso é muito importante pois podemos ter por exemplo novos medicamentos. Como é que isso se faz? Através de uma transformação química ou reacção. Os materiais iniciais, chamados de reagentes são transformados noutros materiais diferentes, os produtos. O que vão ver hoje é um a demonstração de algumas destas reacções em que se formam materiais coloridos, luminosos que parece magia mas é ciência.

Avatar

Porque é que as vossas calças de ganga são azuis?

As calças de ganga são de algodão, ou seja, brancas. Na fábrica elas são tingidas com um material ou substância que lhe dá a cor azul e que se chama índigo.



Indigofera



calças de ganga



indigo

Esta substância pode ser retirada de uma planta ou pode ser feita num laboratório através de uma reacção que vamos fazer hoje.

Material:

- 1 proveta de 10 mL
- 1 proveta de 20 mL
- 1 erlenmeyer de 50 mL
- 1 barra de agitação magnética
- 1 placa de agitação magnética
- 1 kitasato
- 1 funil de Buchner
- 1 papel de filtro

Procedimento:

- 1 – Medir numa proveta de a acetona (10 mL).
- 2 - Deitar no erlenmeyer que contém o 2-nitrobenzaldeído (0,5 g) e a barra de agitação magnética.
- 3 – Ligar a agitação magnética.
- 4 - Medir numa proveta de a água (17 mL).
- 5 – Deitar gota a gota uma solução de hidróxido de sódio 2M (2,5 mL).
- 6 – Observar a formação de um sólido azul-escuro.
- 7 - Filtrar a vácuo.

Referências

- 1 – D. Simão *et al.*, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, exp 50.

Pasta de dentes de elefante

Nesta experiência vão assistir a uma reacção química que vai produzir muita espuma que parece pasta de dentes que dava para lavar os dentes de um elefante!

Material:

- 1 proveta de 1 L
- 2 provetas de 50 mL
- 1 pipeta de plástico de 3 mL

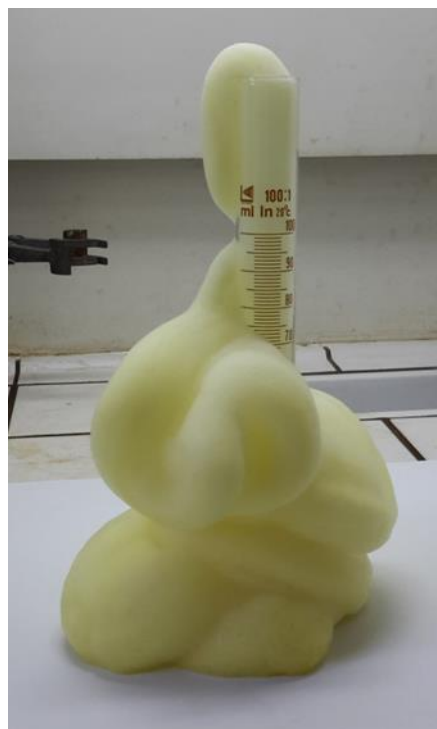


Procedimento:

- 1 – Medir 50 mL de água oxigenada.
- 2 - Deitar num erlenmeyer de 1L (boca estreita)
- 3 – Deitar 3 gotas de corante alimentar e purpurinas.
- 4 – Deitar 40 mL de detergente líquido e agitar para misturar.
- 5 – Deitar uma solução saturada de iodeto de potássio.
- 6 – Observar a formação de uma espuma que sai da proveta.

Referências

- 1 – HYPERLINK "<https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante>" <https://pt.wikihow.com/Fazer-a-Experi%C3%Aancia-da-Pasta-de-Dente-de-Elefante>



Pirilampo mágico

Já todos ouviram falar de pulseiras e colares luminosos que se usam nas festas. São uns tubos de plástico que se dobram e agitam e que ficam luminosos durante várias horas. Quando dobramos o tubo estamos a fazer uma reacção! Os materiais de partida (reagentes) estão separados dentro do tubo. Quando dobramos o tubo, a separação parte-se, os reagentes encontram-se e dá-se a reacção. Só que neste caso além dos produtos também há a produção de luz que varia consoante os reagentes que se utilizam.



Além de serem utilizados para brincar, estes pequenos tubos luminosos podem ser utilizados no campismo (para iluminar), na pesca (para atrair os peixes) e como sinal luminoso muito útil para quem se perde.

Material:

- 1 tubo de ensaio com tampa
- 1 proveta de 10 mL
- 1 pipeta de 3 mL

Procedimento:

- 1 – Adicionar ao tubo de ensaio com os reagentes, acetato de etilo (10 mL)
- 2 – Tapar o tubo e agitar.
- 3 – Adicionar água oxigenada (3 mL)
- 4 – Agitar e observar a emissão de luz.



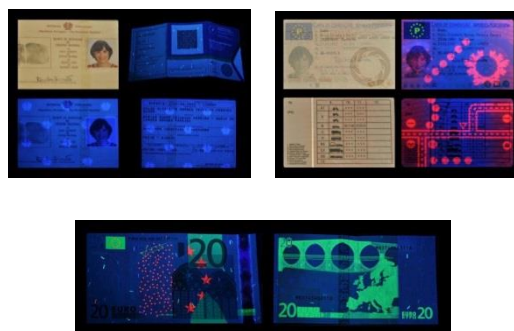
Brilha no escuro

Existem alguns materiais que brilham no escuro e dizemos que são fluorescentes.

Vamos ver alguns deles debaixo de uma lâmpada ultra violeta.

A água tônica tem uma substância fluorescente que se chama quinino.

Nas notas, cartas de condução e outros documentos importantes são colocados produtos fluorescentes para serem difíceis de falsificar.



Referências

- 1 – <http://www.glow.pt/> (consultado em 18 de Jan 2015)
- 2 - R. Albertin et al, *Química Nova*, 21, **1998**, 772.
- 3 - F. McCapra, *Methods Enzymol.*, **2000**, 305, 633 – 659.
- 4 – <http://www.youtube.com/watch?v=titOOpyJP5k> (consultado em 18 Jan 2015)
- 5 - D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, **2011**, ISTPress, Exp.48, pág. 199.

O quadro mágico

Rita Pires e Vasco Bonifácio

CQFM/IN e IBB, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Este quadro mágico é feito de um material que brilha no escuro durante muito tempo depois de ter estado à luz.



Material:

- placa fosforescente (por exemplo uma placa de sinalização de saída de emergência)
- ponteiro laser de cor azul (ou telemóvel)

Esta actividade deverá ser realizada numa sala escura. Usando o ponteiro laser vamos tentar escrever uma mensagem ou fazer um desenho na placa. Será possível? O que acontece quando o raio laser toca na placa?



Referências

1. Mário N. Berberan e Santos, Raios Químicos e Química Radiosa, *Química* **2015**, *139*, 53-60.

Brincar com o frio

As experiências que foram feitas neste capítulo encontram-se descritas no início da secção “Experiências no Laboratório” com o título:

“Nitrogénio: Como Relevante é o 7”

De comer e chorar por mais[‡]

Ana Knittel^a, Cristina Gomes de Azevedo^b

^aAluna do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

O século XXI parece estar a trazer novidades no campo da gastronomia.

De facto, o termo «gastronomia molecular» aparece já com alguma frequência no nosso quotidiano. Embora o seu nome imponha respeito, é apenas a aplicação da ciência a métodos de cozinhar praticados, alguns quase desde o domínio do fogo pelo Homem, em diversas sociedades.

A Gastronomia Molecular é um ramo da ciência dos alimentos. O seu objectivo é estudar do ponto de vista científico o que acontece quando se cozinha e se saboreiam os alimentos.

Distingue-se das ciências alimentares tradicionais pois encara a nutrição como um todo, desde os ingredientes crus, a sua preparação e, finalmente, a sua degustação e a forma como são apreciados pelos clientes. É assim uma área de estudos interdisciplinar que envolve a física, a química, a biologia e a bioquímica, mas também a fisiologia, a psicologia e a sociologia.

Ultimamente a atitude perante a cozinha e a comida foi completamente alterada. Além dos aspectos nutricionais, muito importantes, são cada vez mais associados à alimentação aspectos artísticos. A alimentação deve ser saudável mas também dar prazer. Comer pode ser uma aventura para os sentidos: o cheiro, o aspecto, a textura, o sabor! Deste ponto de vista a contribuição da ciência é fundamental, já que perceber o que está a ocorrer durante a confecção permite otimizar e desenvolver estes aspectos.

A introdução de novas técnicas e novos ingredientes, permite obter pratos “mais bonitos” e saborosos, impossíveis de obter por outros métodos, levando à letra o ditado “comer com os olhos”.

O uso de azoto líquido na culinária é um exemplo “da parceria” entre a ciência e a cozinha da qual resulta arte!

O azoto líquido não pode ser considerado um ingrediente uma vez que não se come – quando o prato é comido todo o azoto já se evaporou (já se transformou em vapor). Deve-se considerar mais um meio,

[‡] Texto original publicado no Livro dos Laboratórios Abertos 2015 com o título “Química: de comer e chorar por mais”

uma técnica que permite a obtenção de melhores resultados, processos mais eficientes e mesmo produtos mais saborosos.

O azoto ou nitrogénio N_2 é um gás incolor e inodoro que faz parte da composição do ar que respiramos (cerca de 78% em volume), juntamente com o oxigénio O_2 (cerca de 20%) e outras substâncias gasosas como o dióxido de carbono, vapor de água, poluentes, etc.

O azoto líquido tem de ser transportado em recipientes de parede dupla onde se faz vácuo para melhor isolamento (Dewars, tamanhos vários). Estes recipientes podem ser metálicos ou em vidro de muito boa qualidade e resistente a grandes amplitudes térmicas.



Fig. 1 - Gelados

Os Dewars não podem ser herméticos nem abertos. Se são abertos perde-se azoto por evaporação. Se são fechados pode haver um grande aumento de pressão no interior (o azoto vai-se evaporando lentamente).

Todas as experiências devem ser feitas com cuidado, para evitar excessos, ou manipulação incorrecta, sendo de evitar o contacto com a pele, o qual pode provocar queimaduras graves. Assim devem usar-se luvas protetoras e óculos. A manipulação deve ser feita em local bem arejado, pois a saturação do ar com o azoto gasoso evaporado pode provocar a diminuição de oxigénio disponível.



Fig. 2 - Dewar para transporte e armazenamento de azoto líquido

A técnica de fabrico de gelados utilizando azoto líquido assenta em duas características do produto que funcionam em parceria. São elas:

- A baixa temperatura do azoto líquido.
- Libertação espontânea de vapores de Azoto

Devido ao azoto no estado líquido ter temperaturas muito baixas (-196°C), a sua eficiência para congelar um outro líquido é muito elevada. Desta forma gelar um preparado com azoto líquido é uma tarefa muito rápida, funciona como uma ultra-congelação (congelação rápida de alimentos). Assim, com a ajuda de uma agitação enérgica e da descida rápida da temperatura, os cristais de gelo que se formam vão ser de tamanho muito reduzido (não têm tempo de crescer), logo o gelado vai apresentar uma textura muito cremosa. Os gelados fabricados pelo processo de refrigeração convencional (porque o arrefecimento é lento) apresentam muitas vezes cristais de gelo de dimensões mais elevadas o que se torna desagradável. Como os cristais são de dimensões muito reduzidas os gelados feitos com azoto líquido são mais perfumados, pois as partículas aromáticas têm uma maior facilidade de se difundirem.

Em consequência da agitação enérgica o azoto líquido está incorporado no interior da mistura. Com a subida da temperatura formam-se espontaneamente vapores de azoto que vão contribuir para a formação da espuma e conferir-lhe uma textura mais vaporosa do que a obtida pelo método tradicional (quando só havia ar). Assim, são gelados mais fofos.



Fig. 3 - Adição do azoto líquido à mistura a solidificar



Fig. 4 - Mistura solidificada após adição de azoto líquido

Mas um gelado é um gelado o azoto não faz parte do gelado uma vez que se evapora muito rapidamente; para além de tudo é inodoro (não tem cheiro).

Desta forma podemos resumir as vantagens e desvantagens da utilização de azoto líquido na preparação de gelados da seguinte forma:

Vantagens

1. Rapidez de execução
2. A descida de temperatura é muito rápida, favorecendo a formação de “micro-cristais” de gelo, que fornecem uma textura muito cremosa ao produto final;
3. Ar incorporado por agitação, que confere ao gelado a sua consistência ligeira e suave, diminuindo a sensação de frio intenso na boca.
4. Azoto incorporado por evaporação e agitação, que confere ao gelado a sua consistência fofa e vaporosa

Os gelados são mais perfumados e os aromas são mais intensos, pois as partículas aromáticas são libertadas mais facilmente;

1. A velocidade de arrefecimento conseguido pelo azoto líquido, preserva a estrutura dos produtos que não perdem as suas características de origem
2. Os gelados são mais “frescos” no sentido de que são feitos no momento, não são conservados semanas em arcas, mantendo assim as suas qualidades e propriedades.
3. O azoto evapora-se. Não há efeitos secundários se o azoto utilizado for de origem alimentar.
4. Efeito artístico – pode ser preparado na presença do cliente, com um efeito altamente espectacular devido ao “fumo” que se liberta

Desvantagens:

1. Medidas de segurança adicionais face ao fabrico tradicional.
2. Dificil acessibilidade do azoto líquido.
3. Custo.
4. Restrição a profissionais.

Agora é só darem largas à vossa imaginação e prepararem um gelado com os vossos sabores favoritos! Ainda assim deixamo-vos uma sugestão de comer e chorar por mais: iogurte grego natural, leite condensado, smarties e pepitas de chocolate.

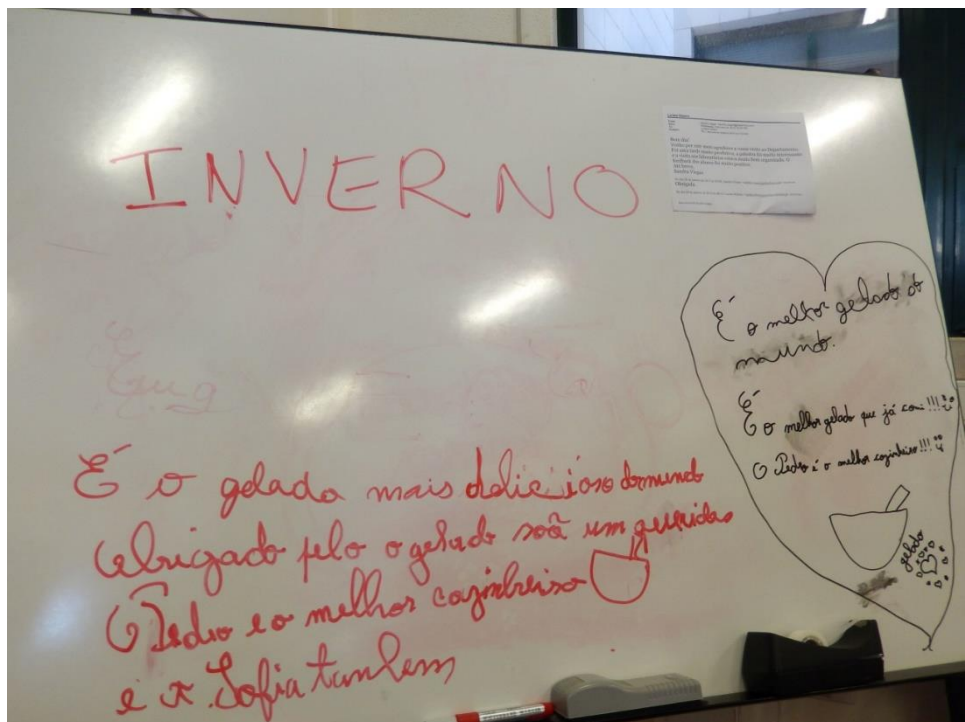


Fig. 5 - Opiniões de alunos do 1º ciclo após a visita aos Laboratórios Abertos Kids 2015

Bomba de ursinho[§]

Ana Knittel^a, Cristina Gomes de Azevedo^b; Marta Coelho^c

^aAluna do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^bCQE, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

^cDepartamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



Fig. 6 - Ursinhos de gomas

As gomas que frequentemente comemos são na verdade uma mistura de gelatina, açúcar e vários corantes. Nós como químicos gostamos de dar nomes pomposos às substâncias, e como não poderia deixar de ser, açúcar pode ser também chamado de sacarose.

Será que conseguimos transformar um pequeno ursinho numa pequena bomba e formar uma grande coluna de luz? Se conseguirmos, como o fazemos e o que acontece? Bem sabemos que parece impossível, mas basta juntar a goma – fig.1 - a clorato de potássio!

A química é um pouco como a cozinha. Há certos ingredientes que mesmo que se juntem não lhes acontece nada, como a água e o azeite. Mas se juntarmos vinagre a por exemplo bicarbonato de sódio (usado por vezes nos bolos), dá-se uma reação química onde se liberta um gás formando muitas bolhas.

[§]Texto original publicado no Livro dos laboratórios Abertos 2015, com o título “Bombas de ursinhos”

Mas as reações químicas não acontecem só no laboratório ou na cozinha. O nosso dia está rodeado

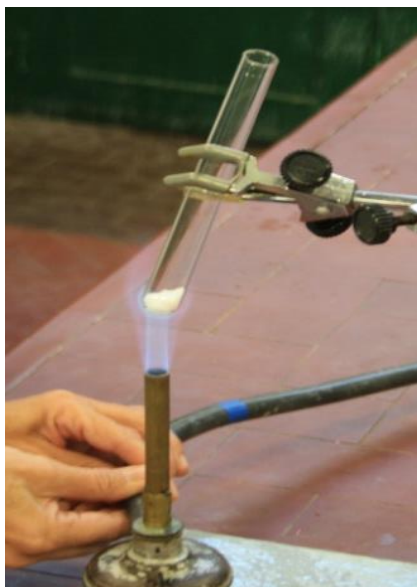


Fig. 7 - Aquecimento do clorato de potássio com um bico de Bunsen.

delas. O ferro, por exemplo, passado algum tempo começa a ficar com “ferrugem”. Nesse caso diz-se que o ferro oxidou. Do mesmo modo, a maçã quando descascada há algum tempo, fica com uma tonalidade mais acastanhada, resultado de uma reação com o oxigênio que respiramos.

Com o clorato de potássio (que se parece com sal refinado) e o açúcar que está na goma também ocorre uma reação química que liberta muito calor e origina uma espectacular chama cor de rosa. Quando queremos comer um ovo, não o comemos cru. Temos de o colocar em água a ferver e passado uns minutos veem que está cozido, ou seja, esse aquecimento provocou alterações no ovo deixando-o com uma consistência diferente. Assim já o podemos comer.

Por vezes situações idênticas acontecem num laboratório de química. Na verdade o se só juntássemos o clorato de potássio com um ursinho podíamos... bem... esperar sentados!

Para que esta experiência resulte temos de transformar um pouco o clorato de potássio. Assim, usamos uma chama forte, até que este pó branco derreta e fique parecido com água. Este aquecimento não serve só para “derreter” o clorato de potássio, serve também para o transformar outro reagente parecido – fig. 2.

Agora já está tudo pronto para juntarmos o ursinho. Quando o açúcar que está nas gomas toca no “clorato de potássio líquido”, ocorre uma reação química que liberta muita energia, ou seja, muito calor! Muitas vezes que há libertação de energia/calor, vemos o aparecimento de uma chama – fig. 3.

Há chamas de muitas cores diferentes. Esta em particular é cor de rosa, sempre cor de rosa, independentemente da cor do ursinho! Isto acontece por “culpa” do potássio. Pois é, não é por acaso que estamos sempre a falar em clorato de potássio. Esta experiência já seria engraçada mesmo que a chama fosse amarela, como o fogo dos isqueiros, mas quando temos um pouco de potássio, este torna as chamas com uma luz rosa!

Um desafio: conseguem pensar noutra aplicação divertida para o potássio? Uma pista... pensem nos dias de festa como o ano novo... Exato! Fogo de artifício! Na próxima passagem de ano, quando virem foguetes cor de rosa, não se esqueçam que é culpa do potássio!



Fig. 8 - Chama cor de rosa resultante da reação



Fig. 9 - Fogo de artifício cor-de-rosa

**Esperamos que tenham aprendido, tenham gostado e
também se tenham divertido!**

Até para o ano!

Exposição: Ciência & Arte

Química e Arte: Sugestões para o Ano Internacional da Tabela Periódica 2019.

Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

Clementina(arroba)tecnico(ponto)ulisboa(ponto)pt

Introdução: alguns projetos de Outreach adaptáveis ao Ano Internacional da Tabela Periódica

Os projetos descritos nesta Introdução são uma parte da oferta de Outreach criada no Centro de Química Estrutural (CQE) /DEQ ao longo de 25 anos de divulgação da Química Inorgânica [1]. Têm tido um papel importante na promoção das Ciências junto da sociedade e público em geral, em articulação com outras áreas que podem ser consideradas de Ciência e [Cidadania](#) (Fig.1), ligadas à Arte (Fig.2) [2-6], ao Artesanato (Figs.1,3) [7] e ao Empreendedorismo (Fig.4) [8]. Têm sido apresentados nas Escolas, Bibliotecas Escolares/[Públicas](#) e outras Instituições ([Autarquias](#), [Centros Culturais](#), [European Science Day for Youth](#), [Milset](#) [9,10]) diversos módulos expositivos criados nestes projetos. É de salientar, além das exposições que geralmente integram uma palestra, a participação em grandes Congressos e eventos destinados à mediação da Ciência, como é o caso do SciComPT (Figs. 5 e 6) [11,12], da Ciência Viva (Pavilhão do Conhecimento) (Figs.7-9) [13] e da Casa das Ciências (Fig.2): 16 comunicações (2013-2018) [14-23] e uma workshop convidada de cinco horas certificada para a Formação de Professores em 2017 [24]. Refere-se ainda a articulação tradicional com o [Departamento de Engenharia Química \(DEQ\)](#) [5, 6, 25-27], os Geomuseus do IST [13, 20, 24], e outras colaborações pontuais: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa ([palestras organizadas pelos alunos](#) e participação num concurso de fotografia no Ano Internacional da Cristalografia 2014) [17]; Sociedade Portuguesa de Química ([Shows do Azoto nas Olimpíadas da Química](#) durante vários anos, no IST); ISEL (Exposições de Cristais “on the Rocks” e Artesãos do Século XXI); Associação de Estudantes do Instituto Superior Técnico [6]. Em parte devido ao trabalho desenvolvido, no qual colaboram Professores, Investigadores do CQE/DEQ/IST, Professores das Escolas e alunos e também graças à intervenção nas [redes sociais](#)/WEB que contribuem para o aumento da visibilidade dos projetos, em 2018 o CQE foi convidado a participar no [Movimento Cientificamente Provável](#) da [Rede de Bibliotecas Escolares](#) (2018-2020) promovido pelas Secretarias de Estado da Educação, e da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. No final do ano de 2018 passou a integrar a Rede de Clubes Ciência Viva na Escola.



22
DEZEMBRO
2018

25
JANEIRO
2019

Nó. Cego

EXPOSIÇÃO
DE TRABALHOS EM TRAPILHO
de Clementina Teixeira

MALCATA
Sede da Associação Malcata com Futuro

malcatacomfuturo.pt



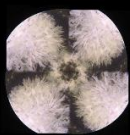
Associação
Malcata
com Futuro

Figura 1 – Levar a Ciência aos Artesãos, um projeto [de cidadania](#): reutilização de têxteis, simetrias, Matemática, Química. Em parceria com a Associação Malcata com Futuro. Workshops sem fins lucrativos.

SOPRAR- Windmills of Chemistry



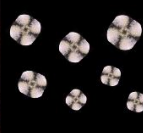
© Poen de Wijs, Air.



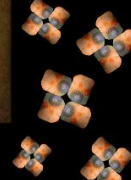
© Clementina Teixeira, CO₂ (s) Dry ice and water crystals, 10x



© Poen de Wijs, East Wind
 © Clementina Teixeira, CO₂ (s) Dry ice and water crystals, 10x



© Poen de Wijs, South Wind
 © Clementina Teixeira, CO₂ + NaOH Dry ice reacting with Sodium Hydroxide, 10x



SOPRAR:
 Windmills of Chemistry

SOPRAR: Windmills of Chemistry



© Poen de Wijs, South Wind
 © Clementina Teixeira, CO₂ + NaOH Dry ice reacting with Sodium Hydroxide, 10x



Poen de Wijs, "Kinderfeest" - acryl op paneel - 21X28 cm



© Poen de Wijs, detail



Clementina Teixeira, IST
 The Funnel

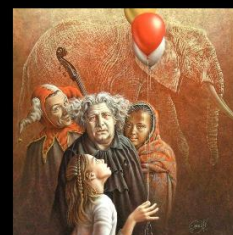
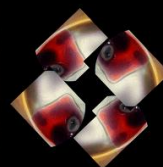


Poen de Wijs, "A Bird's eye view, "In vogelvlucht" - acryl op doek - 120X150 cm

SOPRAR: Windmills of Chemistry



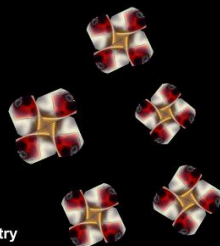
© Poen de Wijs, A Bird's Eye View, detail
 © Clementina Teixeira, IST
 HCl + NaOH, 10x



Science and Art. The Masks Project.



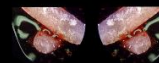
© Poen de Wijs, detail, Kinderfeest
 © Clementina Teixeira, NaOH+HCl, 10x



SOPRAR:
 Windmills of Chemistry



© Jacob Christian Poen de Wijs
 The Elephant, detail

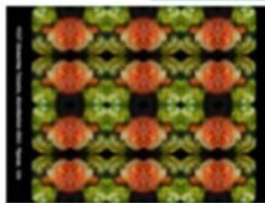


Carbon dioxide (-78°C) reacting with pH universal indicator, stereomicroscope, 10x
 Clementina Teixeira, IST

Figura 2 – Química ligada à Arte de Poen de Wijs (1948-2014). Pintor do movimento, as expressões das crianças a soprarem em moinhos de papel e em bolas de sabão ficaram famosas na sua pintura. Homenagem ao pintor (25/8/2015) após um ano da sua morte [2-4]: moinhos de vento químicos e máscaras, construídos por regras de simetria simples no plano (reflexão e rotação), a partir de fotomicrografias de reações de ácido-base à lupa estereoscópica: o gelo seco (-78°C) como ácido de Lewis recoberto de cristais dendríticos de água; gelo seco a reagir com uma pastilha de NaOH, em presença de indicador universal de pH; reação ácido-base HCl(aq)+NaOH(c) com o mesmo indicador. Salientam-se as pinturas pertencentes às coleções “Four Winds”, “Four Elements”, “Carnaval des Animaux” e “Children's Party”. Trabalhos apresentados na Casa das Ciências em 2016 e no DEQ em 2018, Laboratórios Abertos, Exposição Ciência e Arte [5,6].



Figura 3 – Artesãos do Século XXI, Microscopia Aplicada ao Desenvolvimento de Padrões Decorativos, projeto Ciência Viva “Pais com Ciência”. Estudo do Meio, observar à lupa estereoscópica as reações químicas e os cristais, fotografar com telemóveis ajustados às oculares, fazer simetrias da Matemática e imprimir em tecido e papel [7].



MICROSCOPIA ÓPTICA APLICADA PADRÕES DECORATIVOS

Instituto Superior Técnico, CQE

Responsável

Clementina Teixeira

Breve descrição

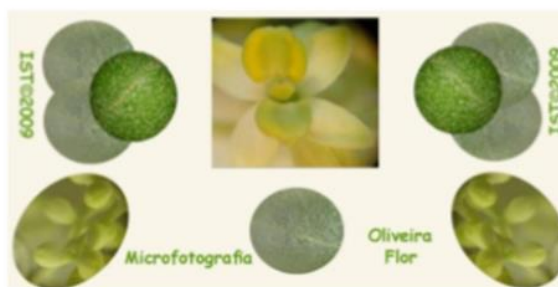
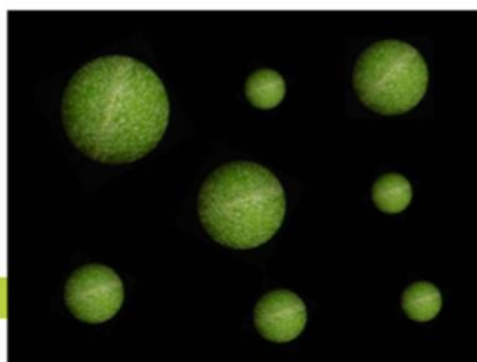
A microscopia óptica, com ampliações até 130 x, tem grande implementação nas Instituições de Ensino, Investigação e Cultura Científica, mas tem sido pouco explorada no campo da fotografia científica (fotomicrografia), destinada à construção de padrões decorativos que permitam melhorar a imagem e apresentação de produtos junto dos consumidores. Nos Centros de Química Estrutural e Química Física Molecular do IST existem equipamentos de microscopia (lupas estereoscópicas e microscópios ópticos de luz polarizada), acoplados a máquinas fotográficas digitais que podem ser rentabilizados junto das empresas para fotografar e filmar produtos de forma inovadora. Organizamos cursos de formação, exposições interactivas e divulgação multimédia.

Equipa

Teresa Duarte
Hermínio Diogo
Conceição Oliveira
J.Moura Ramos

Aplicação

Os padrões decorativos são sofisticados, destinados ao merchandizing de qualidade, com design incorporado e evidenciando a excelência da técnica de captação de imagem. Pretendemos colaboração com empresas do sector agroalimentar (frutas, cereais, produtos hortícolas, flores, olivicultura e azeites, viticultura e produtos derivados da floresta, cortiças, mel e, até, sal gourmet). Uma das nossas exposições itinerantes, intitulada "Artesãos do Século XXI", tem despertado grande interesse na promoção de complementos de moda que podem valorizar a produção nestas áreas: aventais, panos de cozinha, marcadores de mesa, papel de embrulho, ímanes, alburns e capas de livros, sacos, T-shirts, e outros produtos ligados à nossa cultura.



REDE
INOVAR

Figura 4 – Brokerage AGROFOODiTECH – SIAG 2012, Rede Inovisa, Santarém [8]. Novas tecnologias para a Indústria Hortofrutícola, Florestal, do Vinho e do Azeite. Projeto de Microscopia óptica, desenvolvimento de padrões decorativos para merchandizing. Indústria alimentar: padrão de pipocas coloridas, em cima; indústria do azeite: folhas e flores de oliveira, em baixo. Padrões de Clementina Teixeira e Maria Conceição Oliveira, CQE/ IST.



© Poen de Wijs: Four Seasons, Winter



Crystals "On the Rocks"

Ammonium Dihydrogen Phosphate,
stereomicroscope, 10x

ESDY 2014 IYCr2014
H Bridging



© Poen de Wijs, Child Play



Crystals - "On the rocks"

Child - Ammonium Sulfate 2006, Vitor Azeite, 2006

"On the Rocks", - Shells



SOPRAR- Windmills of Chemistry




Chemistry Shells, 13.10.2007




<https://www.facebook.com/boen.dewijs>

Fine Art Gallery De Twee Pauwen, The Hague

Figura 5 – Ciência e a Arte, divulgação colaborativa. Cristais "on the Rocks". Brincadeiras de crianças: reações à lupa estereoscópica— neve carbônica reagindo com NaOH (c) em presença de indicador universal de pH (coleção moinhos de vento da Química). Bolas de sabão. Arte do pintor holandês Poen de Wijs [11].




IST-FCUL-2016



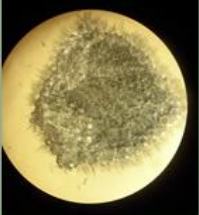
Microscopia Química e Arte
Clementina Teixeira, Gonçalo Santos
<https://www.facebook.com/profClementinaTeixeira>

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR
https://www.researchgate.net/profile/Clementina_Teixeira/publications

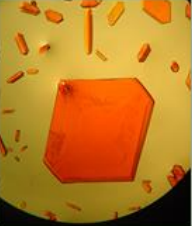


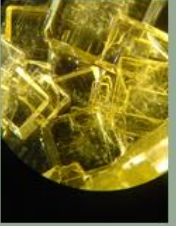
Árvores metálicas


<https://www.facebook.com/imedia/sets/a.554198304621053.1073741831.552854048088812&type=3> **Legendas**



Chemical Leaves
 Reactions under the Stereomicroscope, Lead Acetate reacting with metallic Magnesium, 125x










Album Ano Internacional da Cristalografia 2014

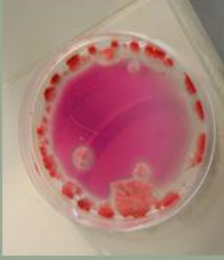
Album IST Microfashion -Chemical Patterns

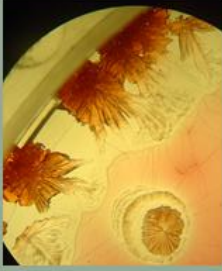








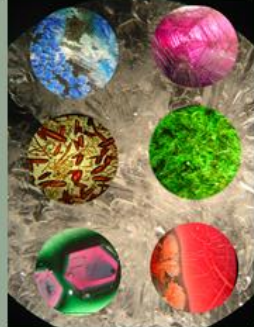
Cristalização isotérmica, reações e padrões











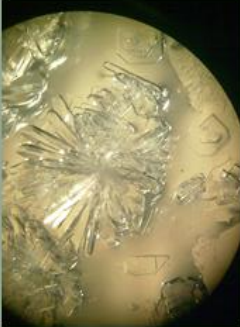


Figura 6 – Padrões decorativos (CT e Gonçalo Santos) feitos a partir de fotomicrografias de cristalizações à lupa estereoscópica [12]. À esquerda, algumas reações de deslocamento de hidrogénio e de metais (Bi, Sn, Pb) com redutores metálicos, Mg e Zn. Estas reações foram selecionadas para o IYPT2019



Figura 7 – Exposição “Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica”. Semana da Ciência e da Tecnologia 2018, Ciência Viva. Cristais “On the Rocks”; conchas usadas como substratos; redes cristalinas rigorosas de alguns cristais inorgânicos, Beavers Miniature Models (Módulo no Complexo I) [13].



Figura 8 – Exposição “Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica”. Semana da Ciência e da Tecnologia 2018, Ciência Viva [13]. Microscopia Química (observação de reações à lupa estereoscópica) imagens do banco digital. Elementos: Na, Cl, no NaCl; NaOH+HCl (nascimento do NaCl); Si, jardins de sílica; Mn (KMnO_4) e Mg, reação redox do permanganato de potássio, oxidante, com o magnésio redutor. Diversos de Microscopia química [19, 28].

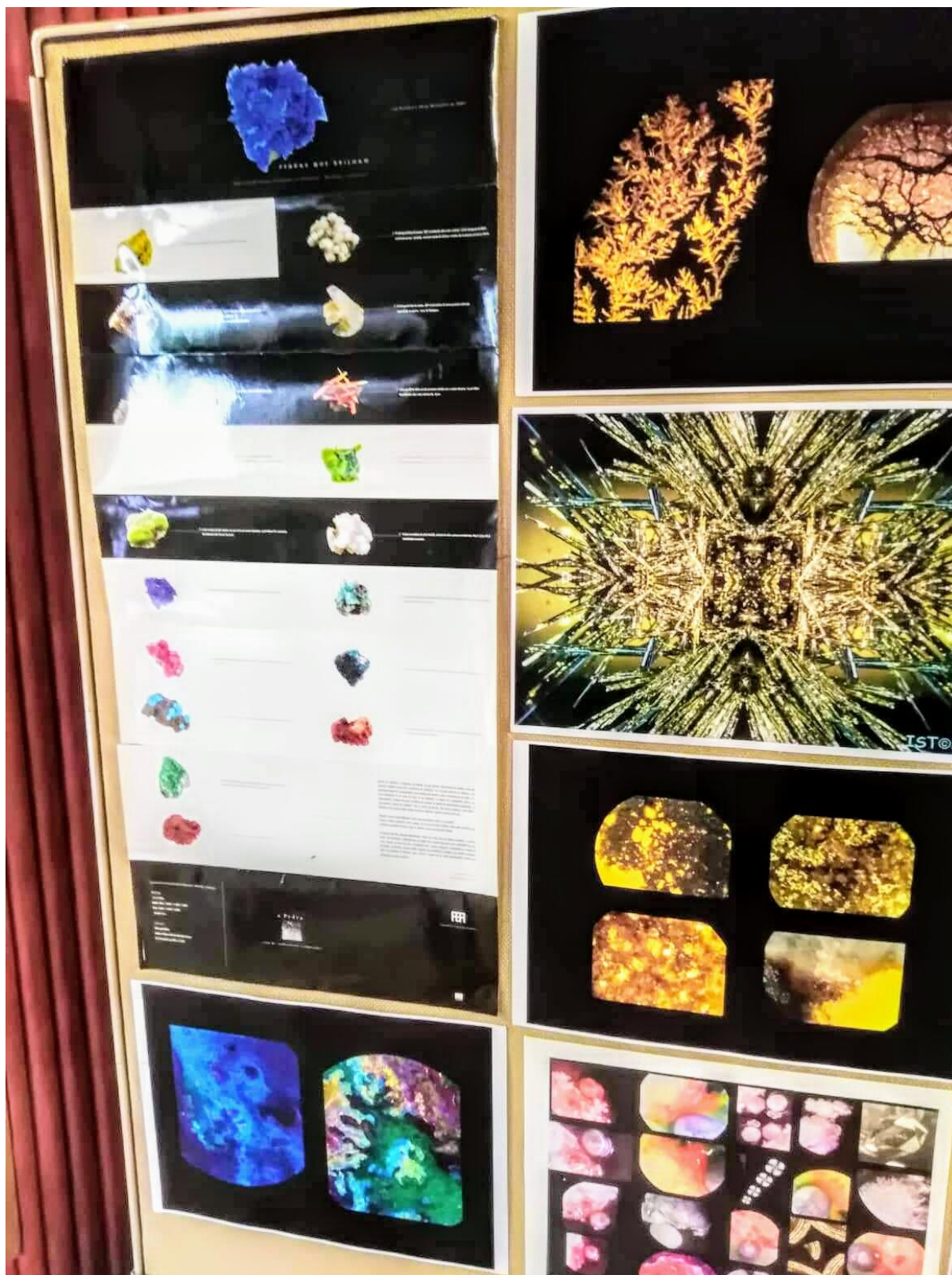


Figura 9 – Exposição “Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica” [28]. Semana da Ciência e da Tecnologia 2018, Ciência Viva [13]. “Pedras que Brilham”, catálogo de cristais “on the Rocks”, exposição “Pedras que Brilham”, Fundação Eugénio de Almeida, 2002. Microscopia Química (observação de reações à lupa estereoscópica) imagens do banco digital. Elementos mais importantes: Ag, Hg, Pb, I, Fe [19, 28]. Diversos.

Módulos Expositivos Itinerantes e disponíveis para visitas

Presentemente os módulos expositivos disponíveis, sem fins lucrativos, para a requisição das escolas encontram-se listados nas sub-secções seguintes. Em termos de financiamento, a situação tem sido muito precária, e praticamente a maioria das ações promovidas foi custeada pelas pessoas que nelas participaram (despesas correntes, serviços, inscrições em congressos e deslocações). O transporte de pessoas e equipamentos não é, em princípio, assegurado, devendo ser garantido por quem solicita a exposição/palestra. Os módulos não são estanques e para cada ação de divulgação pretendida pode ser feita uma optimização dirigida ao utente, envolvendo de um a todos os assuntos mencionados.

Neste Ano de 2019 (IYPT2019, International Year of the Periodic Table) foi feita uma seleção de resultados dos projetos em curso que podem ser úteis para complementar a divulgação que está a ser promovida pela Sociedade Portuguesa de Química (SPQ), Ciência Viva e muitas outras Instituições. Do ponto de vista de utilização técnica ou para aprendizagem na sala de aula, com os dados relativos aos elementos—configurações electrónicas, números de oxidação, electronegatividades; estados físicos, estruturas e sistemas de cristalização; propriedades físicas e termodinâmicas; experiências com elementos— a oferta de TPs (Tabelas Periódicas) começou a ser muito elevada na WEB, em 2018, e disparou no início do ano, como seria de esperar.

A SPQ tem feito um grande investimento na TP, que passa também pela sua História e pela oferta de Ações de Formação para Professores ([A Tabela Periódica como Ícone da Centralidade da Química](#)). Salienta-se ainda o livro [“The Elements” e a Tabela Periódica de Theodore Gray](#), o Portal [e-Escola](#) do IST, com algumas fichas de Química Descritiva dos Elementos, minerais que contêm essas substâncias com fotografias fabulosas, etc.

Numa primeira abordagem, durante a Semana da Ciência e da Tecnologia 2018 foi testada, com sucesso, em Novembro, a Exposição **“Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica”** (Figs. 7-9) [13], com sugestões para esta efeméride, que foram bem acolhidas pelos visitantes. Como a população que é alcançada neste tipo de divulgação é muito heterogénea e imprevisível (coleccionadores de minerais e cristais, professores, crianças e seus familiares e até jornalistas) foi feita uma triagem do que se poderia adaptar ao evento. Foram selecionados os Elementos da TP que já faziam parte dos registos de resultados em fotomicrografias e videoclips, com ênfase na sua reactividade, estudada em aulas de Laboratório, nas escolas e ainda em regime de voluntariado de colaboradores do projeto. Foi também incluída uma parte experimental com algumas experiências de formação de cristais dendríticos de metais (fractais), em colaboração com o Museu Alfredo Bensaúde e uma TP dirigida para os mais novos que a seguir se descreve sumariamente.

A Tabela Periódica de Keith Enevoldsen. Fichas de Elementos ligados aos projetos.

As temáticas aqui resumidas estão a ser divulgadas nas redes sociais [Facebook](#), [Google \(+\)](#), [Youtube](#), [Pinterest](#), [Instagram](#) e ainda, como acervo em permanente atualização, na [Researchgate](#). As redes sociais, embora muitas vezes erradamente utilizadas, são também uma fonte de criatividade e partilha, além de uma belíssima ferramenta de trabalho. Assim apareceu no ano passado uma [TP interactiva de Keith Enevoldsen](#), que estava publicada na WEB desde 2005 e que se tornou viral. Apresenta fichas de Elementos muito apelativas para crianças, indicando onde se podem encontrar essas substâncias no uso quotidiano e para os 118 elementos. Embora já tenha sido [traduzida para Português \(Brasil\)](#), utilizou-se aqui a versão original disponibilizada na Creative Commons, para evitar discrepâncias na Nomenclatura (halogenetos/haletos; sulfuretos/sulfetos, árgon/argónio, ião/ion, etc.). Figs. 10-13.

elements.wlonk.com

The Periodic Table of the Elements, in Pictures and Words

© 2005-2016 Keith Enevoldsen
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

elements.wlonk.com

elements.wlonk.com

Solid
The color of the symbol is the color of the element in its most common pure form.

Liquid

Gas
at room temperature

Examples: metallic solid, red liquid, colorless gas

Human Body
top ten elements by weight

Earth's Crust
top eight elements by weight

Magnetic
ferromagnetic at room temperature

Noble Metals
corrosion-resistant

Radioactive
all isotopes are radioactive

Only Traces Found in Nature
less than a millionth percent of earth's crust

Never Found in Nature
only made by people

Figura 10 - Algumas Fichas da Tabela Periódica interactiva de Keith Enevoldsen (KE). Conjunto completo com caixa e tudo para imprimir frente/verso. Estão contemplados os 118 Elementos da TP, alguns deles com aplicações tecnológicas que poucos conhecem.


Click it!

The Periodic Table of the Elements, in Pictures and Words

Key Info

1 H Hydrogen Sun and Stars	2 He Helium Balloons	3 Li Lithium Batteries	4 Be Beryllium Emeralds	5 B Boron Sports Equipment	6 C Carbon Basis of Life's Molecules	7 N Nitrogen Protein	8 O Oxygen Air	9 F Fluorine Toothpaste	10 Ne Neon Advertising Signs	11 Na Sodium Salt	12 Mg Magnesium Chlorophyll	13 Al Aluminum Airplanes	14 Si Silicon Stone, Sand, and Soil	15 P Phosphorus Bones	16 S Sulfur Eggs	17 Cl Chlorine Swimming Pools	18 Ar Argon Light Bulbs	19 K Potassium Fruits and Vegetables	20 Ca Calcium Shells and Bones	21 Sc Scandium Bicycles	22 Ti Titanium Aerospace	23 Cr Chromium Stainless Steel	24 Mn Manganese Earthmovers	25 Fe Iron Steel Structures	26 Co Cobalt Magnets	27 Ni Nickel Coins	28 Cu Copper Electric Wires	29 Zn Zinc Brass Instruments	30 Ga Gallium Light-Emitting Diodes (LEDs)	31 Ge Germanium Semiconductor Electronics	32 As Arsenic Poison	33 Se Selenium Copiers	34 Br Bromine Photography Film	35 Kr Krypton Flashlights	36 Rb Rubidium Global Navigation	37 Sr Strontium Fireworks	38 Y Yttrium Lasers	39 Zr Zirconium Chemical Pipelines	40 Nb Niobium Mag Lev Trains	41 Mo Molybdenum Cutting Tools	42 Tc Technetium Radioactive Diagnosis	43 Ru Ruthenium Electric Switches	44 Rh Rhodium Searchlight Reflectors	45 Pd Palladium Pollution Control	46 Ag Silver Jewelry	47 Cd Cadmium Paint	48 In Indium Liquid Crystal Displays (LCDs)	49 Sn Tin Plated Food Cans	50 Sb Antimony Car Batteries	51 Te Tellurium Thermoelectric Coolers	52 I Iodine Disinfectant	53 Xe Xenon High-Intensity Lamps	54 Ba Barium X-Ray Diagnosis	55 La Lanthanum Laser Atom Traps	56 Cs Cesium Atomic Clocks	57 - 103 Fr Francium Laser Atom Traps	58 Pr Praseodymium Lasers	59 Nd Neodymium Lasers	60 Pm Promethium None	61 Sm Samarium None	62 Eu Europium None	63 Gd Gadolinium None	64 Tb Terbium None	65 Dy Dysprosium None	66 Ho Holmium None	67 Er Erbium None	68 Tm Thulium None	69 Yb Ytterbium None	70 Lu Lutetium None	71 La Lanthanum None	72 Ce Cerium None	73 Pr Praseodymium None	74 Nd Neodymium None	75 Pm Promethium None	76 Sm Samarium None	77 Eu Europium None	78 Gd Gadolinium None	79 Tb Terbium None	80 Dy Dysprosium None	81 Ho Holmium None	82 Er Erbium None	83 Tm Thulium None	84 Yb Ytterbium None	85 Lu Lutetium None	86 Rn Radon None	87 Fr Francium None	88 Ra Radium None	89 - 103 Ac Actinides None	104 Db Dubnium None	105 Sg Seaborgium None	106 Bh Bohrium None	107 Hs Hassium None	108 Mt Meitnerium None	109 Ds Darmstadtium None	110 Nh Nihonium None	111 Cn Copernicium None	112 Fl Flerovium None	113 Nh Nihonium None	114 Mc Moscovium None	115 Lv Livermorium None	116 Ts Tennessine None	117 Og Oganesson None	118 Og Oganesson None
-------------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------------------	-------------------------------	-------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	----------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------------------	--------------------------------	---------------------------	----------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------------	------------------------------------	------------------------------	---------------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------------	-------------------------------------------------	--------------------------------------------	-----------------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	----------------------------	-------------------------------------	------------------------------	---------------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Hydrogen belongs to no definite group. It forms compounds by either donating an electron like an alkali metal or accepting an electron like a halogen.

H  **Hydrogen**
 explosive gas,
 lightest element,
 90% of atoms in
 the universe,
 sun and stars,
 water (H₂O),
 life's organic
 molecules

H  **Hydrogen**
 Sun and
 Stars

Figura 11 – A Tabela Periódica interativa de Keith Enevoldsen foi divulgada com muito sucesso na rede social Facebook.

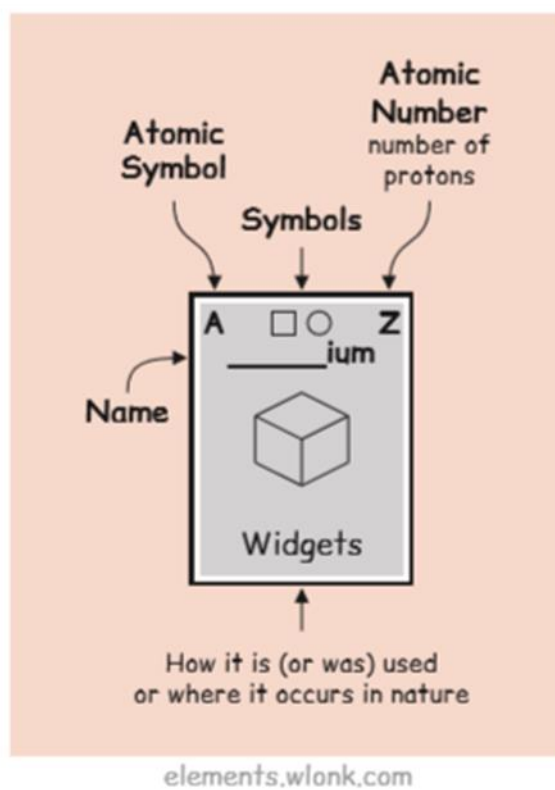
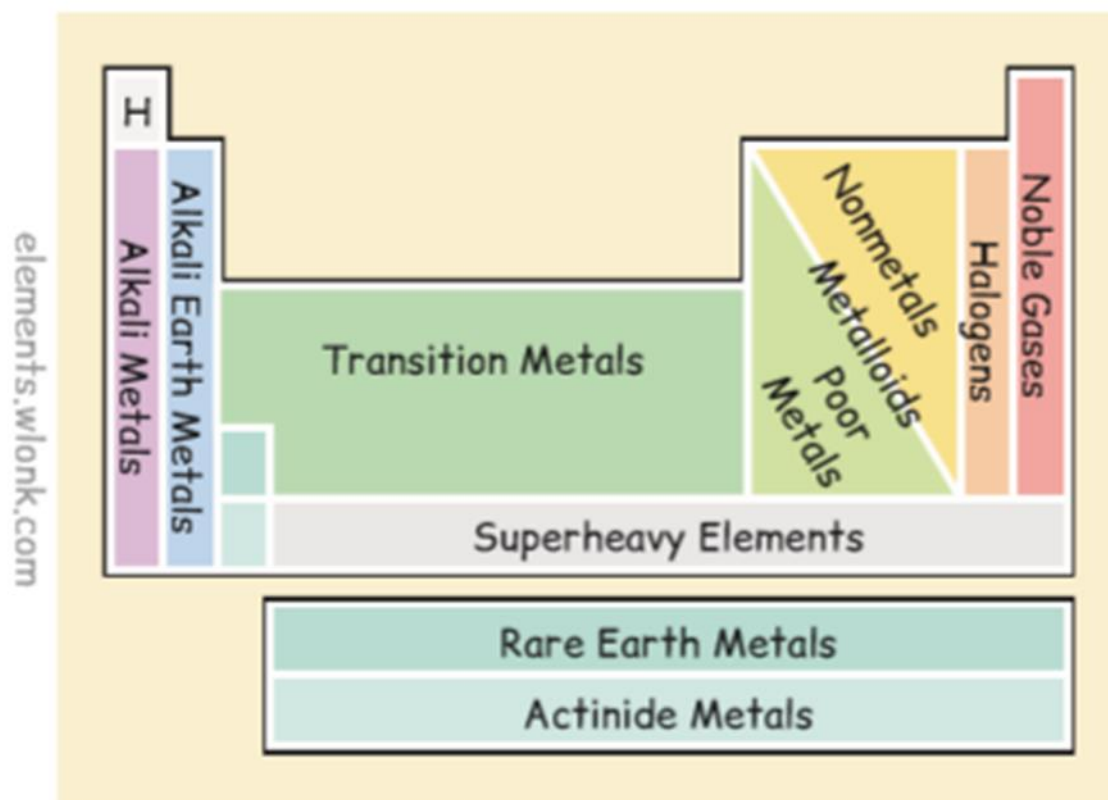


Figura 12 – TP interactiva de KE. O autor declarou que teria sido a TP que gostaria de ter tido como presente quando era miúdo! Tornou-se viral também em Português (Brasil), para a divulgação junto dos mais novos.

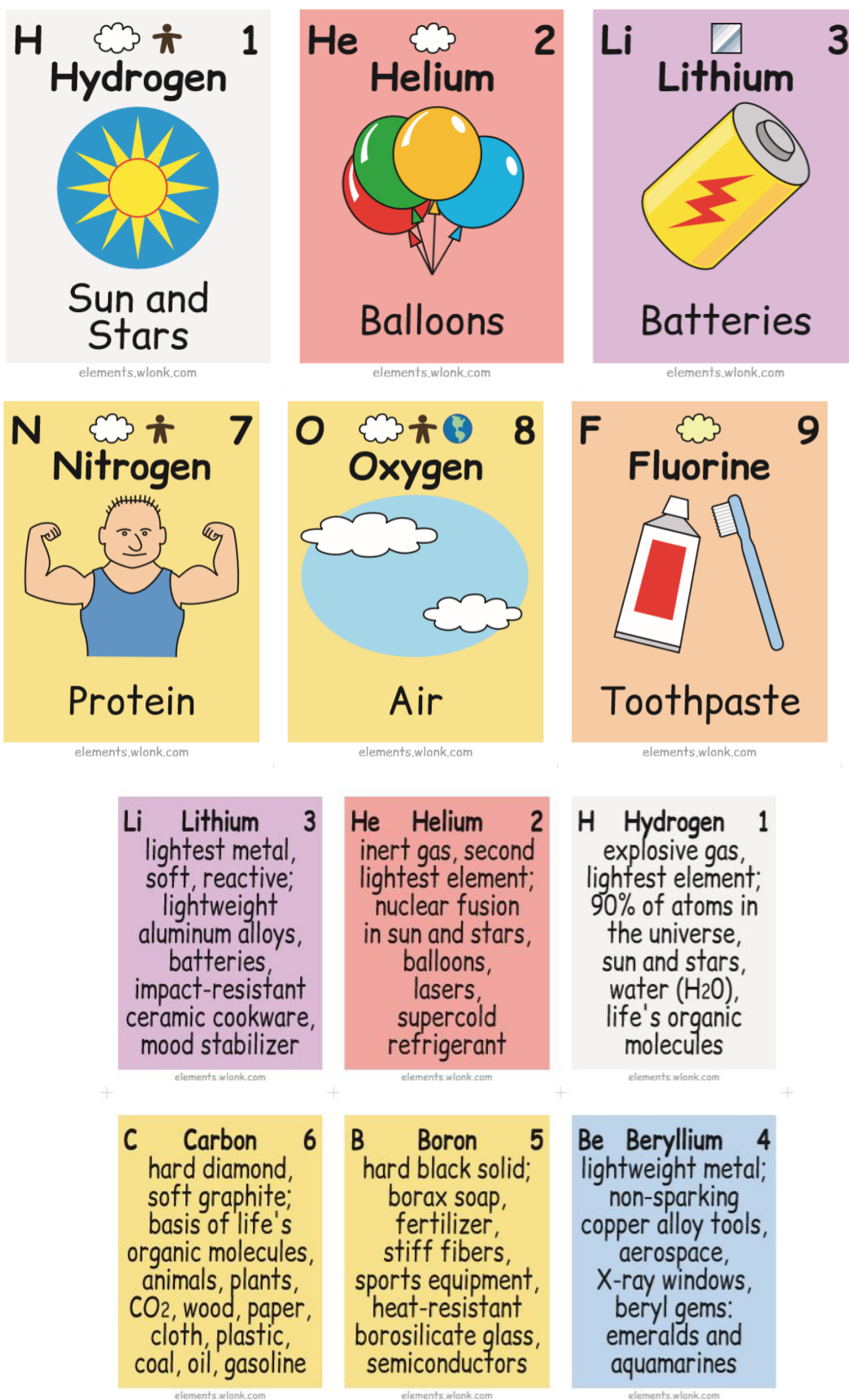


Figura 13 – Exemplos de fichas da Tabela Periódica interactiva de Keith Enevoldsen, frente e verso.

Estas fichas são úteis em montagens personalizadas, associadas a cada elemento, com resultados dos projetos, seguindo critérios variados:

- a) Sem preocupação de coerência com as demais fotos do conjunto, com apenas mais uma utilização.
 - b) Com fotos do elemento no estado de referência (por exemplo, o alótropo mais abundante, em relação ao qual são apresentados os dados termodinâmicos na TP). Aconselhável!
 - c) Com fotos dum composto familiar para o público em que esse elemento exista.
 - d) Numa reação, conjuntamente com as fichas de outros elementos que nela participam.
 - e) Numa reacção específica utilizada para a identificação do elemento.
 - f) Podem ser feitas novas fichas, com ilustrações alternativas e/ou dirigidas para áreas especializadas.
- Seguem-se alguns exemplos.

Química e Arte: Eu sou o carbono

“De vez em quando, pedia a minha Mãe que tirasse o anel de noivado e me mostrasse o diamante que o enfeitava. Nunca vira brilho assim; dir-se-ia que o diamante emitia mais luz do que absorvia. Ela mostrava-me com que facilidade riscava o vidro, e, em seguida, mandava-me encostá-lo aos lábios. Era frio, de um frio estranho e assustador; ao tocar num metal, sentimos uma impressão de frescura, mas o diamante era gélido. A razão, explicava ela, era que esta pedra preciosa conduzia o calor com tal eficiência—melhor do que qualquer um dos metais—que sugava o calor corporal dos nossos lábios ao tocar-lhes. Nunca mais me esqueci desta sensação. Doutra vez, ela mostrou-me como, se tocássemos num cubo de gelo com um diamante, este sugava o calor da nossa mão e transmitia-o ao gelo, cortando-o a direito como se fosse manteiga. A minha Mãe disse-me que o diamante era uma forma especial de carbono, como o carvão que usávamos para aquecer toda a casa no Inverno. Isto deixou-me intrigado: como é que o carvão negro, opaco e friável, podia ser idêntico à pedra preciosa dura e transparente do anel dela?”

“O Tio Tungsténio, Oliver Sacks, Memórias de uma infância Química, Relógio D’água, pg.12”.

O carbono na ficha original de KE foi ligado às moléculas orgânicas da vida. Na Fig.14 vemos essa ficha misturada com fotos de diamantes de carbono **inorgânico**. Estaremos então a seguir o critério a): o carbono está ligado à vida, mas também forma diamantes (em primeiro lugar no verso da ficha, *hard diamond*, Fig. 13). E aí estão eles, vistos à lupa estereoscópica em fotomicrografias do banco digital destes projetos (Artesãos do Século XXI, Ourives do Século XXI, Figs.15 e 16). Seguindo a alínea f), podemos construir uma nova ficha sem o passarinho e com um desenho ou foto de um brilhante ou diamante. Aplicando as alíneas b) +f), podemos fazer nova ficha usando um lápis, por exemplo, para simbolizar a grafite, o alótropo mais abundante do carbono, usado como estado de referência na TP.

Com efeito, basta consultar o sistema de cristalização (hexagonal!) para saber que a referência é a grafite, pois toda a gente sabe que o diamante cristaliza no sistema cúbico.



Figura 14 – Obras de Poen de Wijs [20] associadas ao carbono em diamantes e num polímero imitação de brilhante. Primeira obra, *The Crystal*, 2009, acrílico; diamantes à lupa estereoscópica na segunda e terceira figuras da grelha. *The Journey - View of the World*, 2009, pintura em acrílico (em baixo, à esquerda); detalhe da obra *The Eye of the Beholder*, quarta figura. Ficha do carbono de KE, em baixo, à direita.

Ourives do Século XXI Au I

A aplicação da microscopia na ourivesaria e joalheria é prática comum, permitindo observar e fotografar jóias, peças de ouro e prata, descobrir marcas de contraste e falsificações, fotografar peças para efeitos de seguro, melhorar o marketing dessas peças em termos de apresentação visual, etc. Em cima, foto Au 1, pode-se observar o contraste (em cima) e a marca do ourives da pulseira de ouro, com ampliação de 10x. À direita, fotomicrografia Au 2, ouro nativo, 10x. O fundo deste cartaz foi construído a partir de uma fotomicrografia de ouro nativo com ampliação de 10x.




Fotomicrografia Au 3, à esquerda. A fotomicrografia ficou deformada, uma vez que a amostra de ouro estava contida num frasco de vidro redondo, o que provocou a distorção.




Fotomicrografia Au 4, à direita. Detalhe de um anel de ouro com chuveiro de águas marinhas, 10x. Fotografado com máquina digital comum.

Foto Au 5. Em baixo, na foto, anel de ouro com pérolas verdadeiras. Em cima, anel de ouro com pérolas de cultura e zircões. Em baixo, fotos Au 6 e 7, slides feitos a partir de fotomicrografias destas peças, com ampliação de 10x. O microscópio consegue captar a diferença de brilho das pérolas verdadeiras e de cultura. Montagens usadas para capas de álbuns.






Fotomicrografias Au 8,9,10-Diamantes e esmeraldas em cabochon, detalhes de um alfinete em ouro branco. Fotografado com máquina digital comum, 10x,15x,20x.





Foto 11- Aplicação para capa de álbum, com repetição da fotomicrografia, 10x. Anel de ouro com topázio e zircões.



Fotomicrografia 12- Medalhão de madre-pérola, 10x.




Figura 15 – Ourives do Século XXI, Exposição Artesãos do Século XXI [7]. Com as fotomicrografias das jóias e folha de ouro podem ser construídas fichas do Au, Ca, Be, Zr e C.

A Fig. 14 é mais genérica e permite condensar numa única apresentação as experiências com diamantes à lupa estereoscópica, ligando-as ao mesmo tempo às obras do pintor Poen de Wijs [20]. Será então merecido o título: [“Ciência e Arte: eu sou o carbono”](#). As pinturas incluídas na grelha desta figura foram muito importantes porque estiveram na origem da cooperação com o pintor, e representam o fascínio da observação dos diamantes: a Mãe (terceira esposa de Poen, na pintura em acrílico, “O cristal”, de 2009) mostra o diamante à filha (enteada de Poen) e ela fixa-se nos múltiplos reflexos, com uma visão repetida dos olhos, inesquecível. Na realidade Poen usou como modelo uma imitação de um brilhante em plástico, mas cujo polímero também era constituído por carbono, por isso o enquadramento está bem feito. Lição: nós preocupamo-nos em mostrar algo às crianças, mas elas podem descobrir outras coisas que nos surpreendem! Porque elas, as crianças, não têm ainda nada escrito!

Uma outra ficha ou grelha interessante para o carbono pode ser elaborada seguindo a alínea c), a partir do composto CO₂ (g), o gás utilizado nas bebidas gaseificadas, existente no ar que respiramos e que tanto nos preocupa pelo seu papel de contributor para o aquecimento global e alterações climáticas. Além disso, no estado sólido, a neve carbónica ou gelo seco pode proporcionar imensas demonstrações laboratoriais muito interessantes do ponto de vista didáctico [25-27]. Tal é o caso das suas mudanças de estado sublimação/deposição a -78°C à pressão atmosférica de 1 bar, e a sua reactividade como ácido de Lewis ao reagir com água ou com uma base. Estes processos foram filmados e fotografados à lupa estereoscópica, divulgados na WEB e anteriormente publicados [29]. Estão também acessíveis coleções de gifs animados nas redes [Google\(+\)](#) e Researchgate [2-4]. Estão disponíveis nas figs. 17-19, mais fotomicrografias que podem ser usadas para fichas do carbono usando CO₂(c): a construção de máscaras por simetria de reflexão no plano a partir de fotomicrografias é muito divertida e a sua ligação à Arte de Poen de Wijs permite de novo fazer a ponte Química-Arte: a máscara de CO₂, “o mau da fita”, foi usada para o *Dracula no Halloween*; foi associada ao detalhe do retrato de Fred Delfgaauw, actor amigo de Poen (Fig. 2, em baixo, do lado direito; a máscara do Drácula, Fig.19); pode ser ainda impressa em T-shirts originais e divertidas [4-6, 14].

Utilizando mais fotomicrografias da coleção de jóias das Figs. 15, 16 podem-se construir fichas ou quadros para o [ouro \(Au\)](#), para o [berílio \(Be\)](#) com [esmeraldas](#) e [águas marinhas](#); para o [zircónio \(Zr\)](#) com pedras de ourivesaria que imitam o diamante ([zircão](#)); para o [cálcio \(Ca\)](#), usando as [pérolas](#), em vez das conchas propostas por KE; para o Hélio (He), com os balões da menina da Fig. 19, etc.

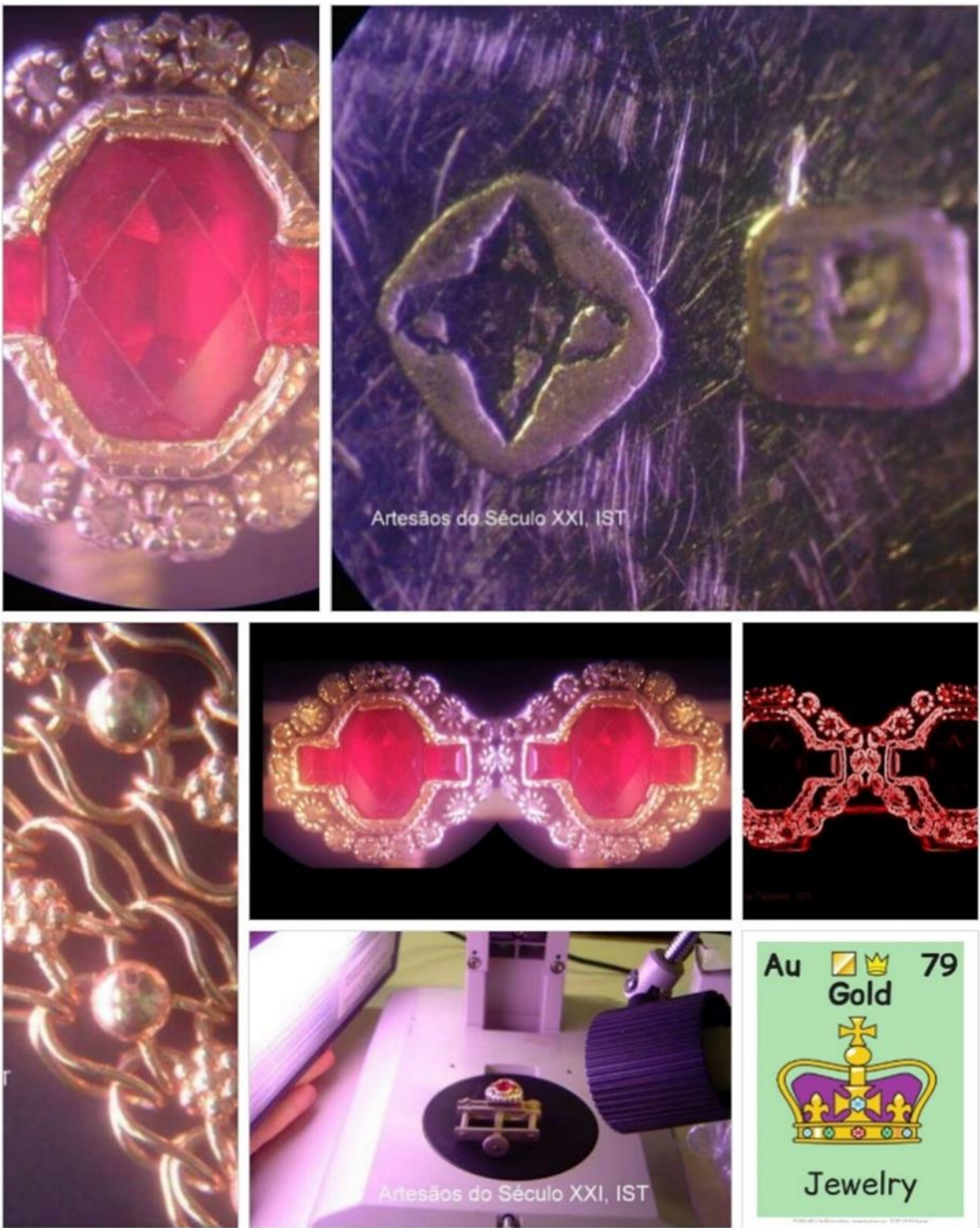
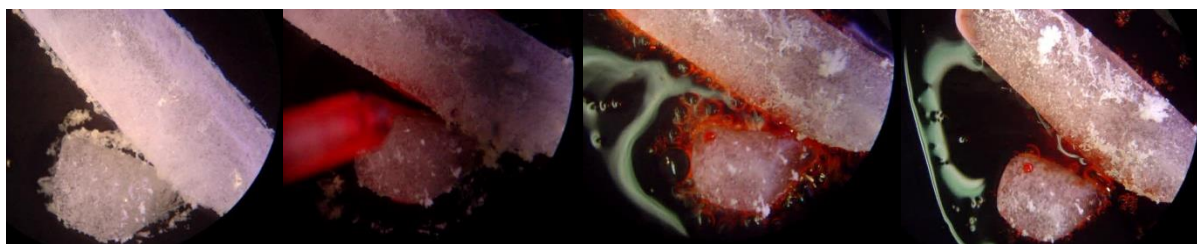
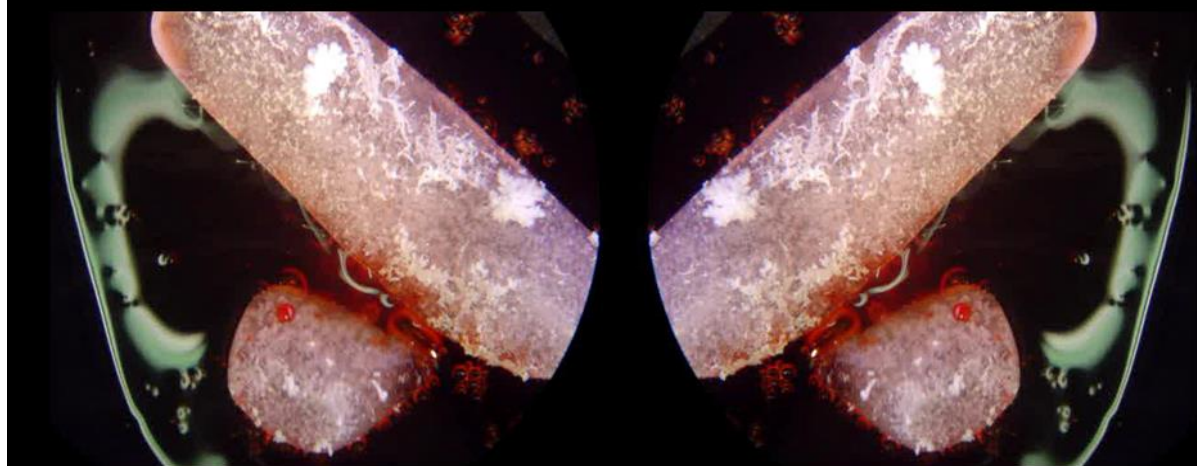


Figura 16 – Eu sou o Ouro. Observação de jóias de ouro, pedras preciosas ou de ourivesaria e aparas de diamante à lupa estereoscópica; identificação de punções de contrastes; construção de padrões decorativos, simetrias no plano, construção de máscaras, etc.; ficha do elemento de Keith Enevoldsen [7, 15].

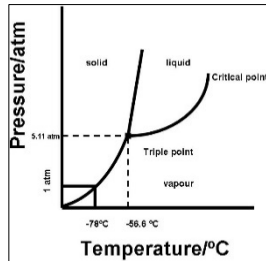
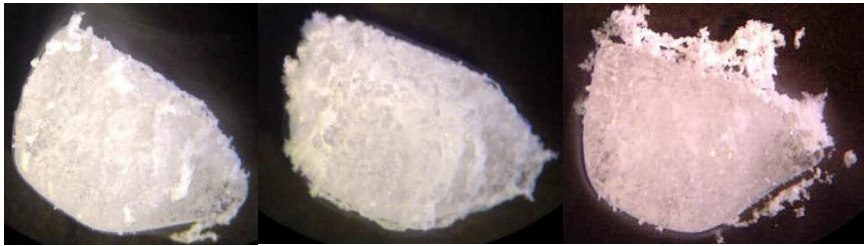




IT LOOKS - DRACULA!!!



Clementina Teixeira, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico,
<http://web.ist.utl.pt/clementina/microscopiaquimica5>
 Reaction of dry ice (-78°C) in water, with a drop of pH universal indicator, under a stereomicroscope, 10x
 Reacção de gelo seco (CO₂) com água, em presença de indicador de pH universal, à temperatura de -78°C. Imagem
 construída por reflexão a partir da fotomicrografia original. A figura final apresenta um eixo de simetria de reflexão!

Figura 17 – Microscopia Química: sublimação e reactividade de CO₂ (c) à lupa estereoscópica, 10x. Em cima, da esquerda para a direita: gelo seco a sublimar, vapor de água a condensar e a solidificar (cristalizar) em dendrites; restantes fotomicrografias, adição de 3 ou 4 gotas de indicador universal de pH concentrado (gama de 1-13) com uma pipeta de Pasteur, vermelho em meio ácido, *ie*, CO₂ como ácido de Lewis. Observa-se um pulsar constante devido à formação de bolhas resultantes da sublimação do composto. A fase líquida brilha com a incidência da luz da lupa estereoscópica. Observam-se alguns cristais dendríticos de água (condensação/solidificação) do vapor de água atmosférico. Por simetria de reflexão no plano fizeram-se as máscaras de “CO₂, O Mau da Fita”. Fotomicrografias e videoclips que estiveram durante vários anos *on line* em páginas WEB do IST, Fig.2, [5, 6, 14, 25-27, 29].



1,2- Cristais de gelo, dendríticos, crescendo sobre o gelo seco (l) a -78°C: observação à lupa estereoscópica (10x)

$P=10^5 \text{ Pa}$

Reações Químicas Ácido - Base

$$\text{CO}_2(\text{c}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$$

Ácido de Lewis
Base de Lewis
 $K=1.70 \times 10^{-3}$ (25°C)
 K_{a1}

$$\text{CO}_2(\text{c/aq}) + 2\text{NaOH}(\text{c/aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{c/aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{c/l})$$

$$\text{CO}_2(\text{c/aq}) + \text{NaOH}(\text{c/aq}) \rightarrow \text{NaHCO}_3(\text{c/aq})$$

$$2\text{NaHCO}_3(\text{c/aq}) \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3(\text{c/aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{c/l}) + \text{CO}_2(\text{g})$$

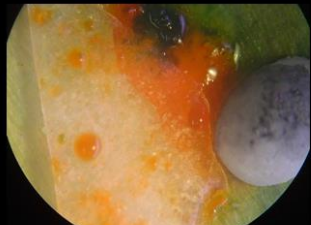
Processos Físicos

$$\text{CO}_2(\text{c}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$$

-78 °C (195 K)
Sublimação do dióxido de carbono

$$\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{c})$$

100 °C 0 °C
Condensação → Solidificação →



CO₂(c)+NaOH+ind pH
Lupa estereoscópica, 10x

[Mandeí vir os ácidos bases e os sais, SPQ](#)

Figura 18 – Em cima: T-shirts com “máscaras” feitas por simetria de reflexão a partir das fotomicrografias do CO₂ (c); sublimação do CO₂ (c), três instantâneos; quadro de processos químicos/físicos que ocorrem num palito de CO₂ (c) em contacto com a atmosfera: sublimação do CO₂ (c), condensação do vapor de água atmosférico e solidificação formando cristais dendríticos de água. Diagrama termodinâmico de ponto triplo do dióxido de carbono; reação do CO₂ (c) com soda cáustica, à direita, em presença de indicador universal de pH concentrado [5, 6, 14, 29].

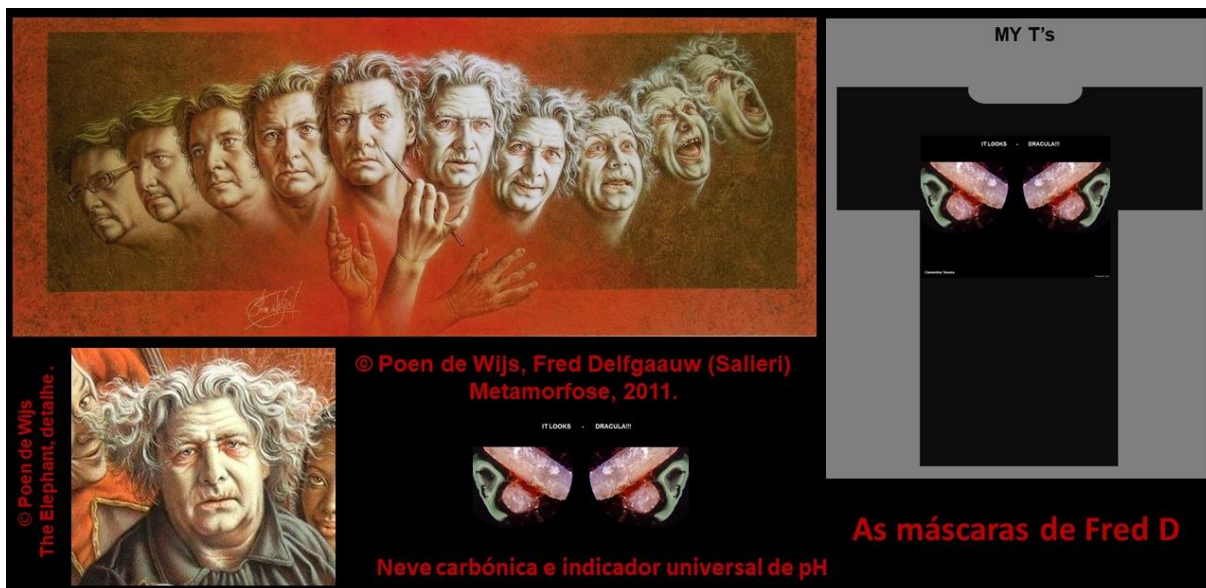


Figura 19 – Reactividade do dióxido de carbono no estado sólido à lupa estereoscópica [14, 29]. Ligação à Arte de Poen de Wijs (Fig.2). Em cima, Metamorfose, pintura em acrílico, 2011: retrato do actor Fred Delfgaauw transformando-se progressivamente no músico Salieri enlouquecido. Em baixo, detalhe da pintura em acrílico do mesmo actor em “O Elefante”, 2012, coleção Carnaval dos Animais (Fig. 2, projeto das máscaras, do lado direito, em baixo). Imagens do [show de azoto](#) (nitrogénio, recomendação IUPAC) e neve carbónica, encher balões com a vaporização de $N_2(l)$ e sublimação de $CO_2(c)$. As nuvens na foto da direita representam a condensação do vapor de água atmosférico em contacto com estas substâncias criogénicas, as nuvens geladas. O detalhe da menina com os balões pode ser associado à ficha do Hélio, gás de enchimento mais leve do que o ar [5, 6, 14, 25-27, 29].

Conclusão: poderemos fazer uma coleção de fichas que se prestam a divertidos jogos com os Elementos da TP misturadas com Arte, microscopia, desenho e experiências com reações. Muitas imagens, filmes e gifs foram disponibilizadas nos álbuns do [Facebook](#), [Google\(+\)](#) e [Researchgate](#).

Crescimento de cristais inorgânicos “on the Rocks”. Módulo expositivo.

O projeto mais antigo que conta já com 25 anos de existência é o crescimento de **cristais químicos inorgânicos** por nucleação heterogénea, “On the Rocks”: utilizam-se suportes rugosos tais como rochas, minerais e conchas como substratos [1, 30-35]. Em muitos dos casos verifica-se um aumento da velocidade de nucleação e crescimento, em especial para os sais hidratados, ou seja, o crescimento é acelerado em presença da rocha ou concha [32]. Para alguns dos cristais existem redes cristalinas rigorosas, Beevers-Miniature Models [1], que permitem chegar à estequiometria dos compostos, racionalizar algumas das suas propriedades e prever possíveis mecanismos de crescimento. Também é muito interessante determinar a densidade teórica ou massa volúmica de um composto a partir destas redes, o que costumava ser feito nas aulas práticas de Química Geral da licenciatura de Engenharia Física Tecnológica para o alúmen de potássio (2006/7).

A exposição de Arte “On the Rocks” de Cristina Fontoura Carvalhão [33], Professora de Educação Visual, faz parte deste módulo e está exposta desde 2000 no Átrio da Torre Sul do IST.

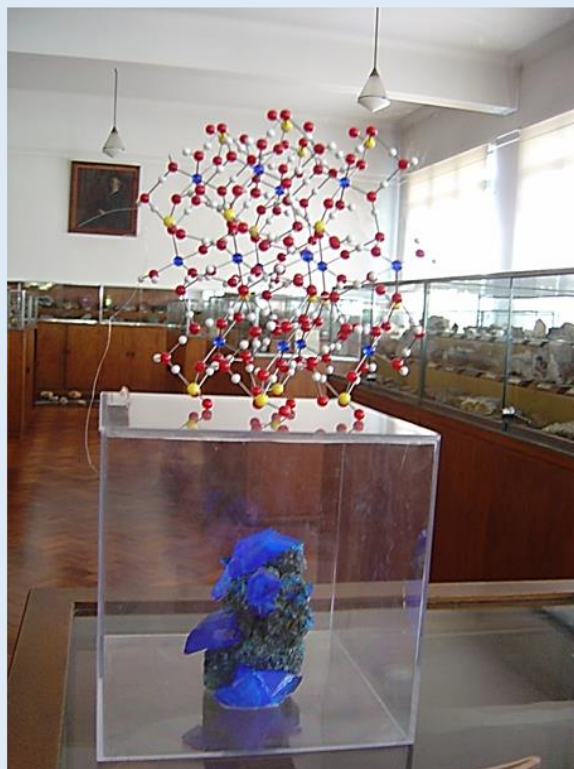
Disponível apenas para visita no IST (CQE/DEQ e Museu Alfredo Bensaúde), Figs.20-23.



Figura 20 – Exposições realizadas em 2018, Ciência e Arte nos Laboratórios Abertos do DEQ em 2018, Ciência e Arte com a AEIST [5, 6]. Cristais “On the Rocks”, redes cristalinas rigorosas, Arte de Poen de Wijs e Jantina Peperkamp. Em destaque o mais famoso composto de cobre, o sulfato de cobre (II) pentahidratado, cujos cristais poderão ser usados para fazer fichas para o Cobre, seguindo as propostas descritas na secção anterior [31, 34]. De facto, é o mais conhecido composto do cobre!



Figura 21 – Exposição Ciência e Arte com a AEIST [5, 6]. Cristais “On the Rocks”, [redes cristalinas Beavers](#) rigorosas [1, 32], Arte de Poen de Wijs e Jantina Peperkamp. Torre Sul do IST. Painéis ligados às experiências com nitrogénio líquido e neve carbónica ([Show do Azoto](#)) atrás, à direita e ao Centro. À esquerda, cristais “On the Rocks” e a Arte dos mesmos pintores e de Cristina Fontoura Carvalhão [33]. Crédito fotográfico de Manuel Francisco Costa Pereira. Quatro pósters disponíveis na Researchgate [5, 6] em versão pdf para impressão [5].



Beevers Miniature Models, $\times 10^8$ Redes Cristalinas Rigorosas: 1 Angström=1 cm Pontes de Hidrogênio substrato-soluto na origem do crescimento acelerado??



Figura 22 – Cristais de Sulfato de Cobre (II) pentahidratado e respectiva rede cristalina rigorosa. Módulo expositivo no Museu Alfredo Bensaúde. **Fichas do Elemento Cobre (Cu) podem ser construídas a partir dos cristais e modelos, para uma área mais especializada de Química Inorgânica ou de Geologia. Em baixo, pinturas de Cristina Fontoura Carvalhão, “Arte On the Rocks” [33], também com o mesmo composto de cobre e **dihidrogenofosfato de amónio (ADP) interessante para construir uma ficha para o azoto**, na área especializada de laser, composto padrão para óptica não linear (duplicador de frequência) [30, 35].**



[Crescimento de cristais por nucleação heterogénea](#)

[Microscopia Química, Química da Água, Simetria, Padrões decorativos](#)

[Show de azoto e Neve carbónica- Ciclo da água, Bolas de sabão.](#)

[Projeto Soprar.](#)



Figura 23 – Ciência e Arte nos Laboratórios Abertos do Departamento de Engenharia Química em 2018 [5, 6]. Em cima: cartazes de Ciência e Arte com cristais “On the Rocks”, obras de Poen de Wijs, Jantina Peperkamp e Cristina Fontoura Carvalhão, assinalados com S, estado sólido; Ciência e Arte com os dois pintores holandeses, dois cartazes de experiências de microscopia química em solução, assinalados com L (estado líquido); para o estado gasoso, letra G, experiências com azoto líquido, neve carbónica e bolas de sabão, alguns exemplos aqui apresentados na secção da Tabela Periódica; na parede, parte da Exposição Arte “On the Rocks” de Cristina Fontoura Carvalhão [33]. Em baixo, mais detalhes de Ciência e Arte com os dois pintores para o estado gasoso; [moinhos de vento químicos](#) feitos por simetrias de rotação a partir das fotomicrografias de experiências de microscopia química com manganésio (Mn) /Magnésio (Mg) [13, 37] e gelo seco, a reagir com soda cáustica em presença de indicador universal de pH, discutidos na secção anterior. Mais informações, Fig. 21.

Exposição itinerante “Artesãos do Século XXI “ – Microscopia Aplicada ao Desenvolvimento de Padrões Decorativos

Esta exposição insere-se no âmbito do Estudo do Meio, Educação Visual e Desenvolvimento Tecnológico, abrangendo todos os graus de ensino, tendo sido apresentada pela primeira vez em Dezembro de 2009 na Biblioteca Municipal de Penamacor, Projeto Ciência Viva CV100-2009/432 [7]. Logo a seguir, em 2010, foi apresentada durante os Laboratórios Abertos do então Departamento de Engenharia Química e Biológica e assim continuou todos os anos até 2014 no DEQ. O projeto, sem fins lucrativos, inclui ainda muitas áreas de Química Inorgânica, nomeadamente a visualização de reações e cristalizações à lupa estereoscópica e ainda a moda virtual IST Microfashion (padrões decorativos impressos em têxteis e papel) [21]. A exposição pode ser requisitada e já foi apresentada em muitas escolas e Instituições (Figs. 3, 4, 15, 24-28). Neste ano IYPT 2019 vários cartazes servirão de base à construção de figuras/grelhas de imagens com as fichas de KE (Figs.15, 24-28). Estas figuras incluem trabalhos de ourivesaria em prata, desde jóias (Fig.24) a baixelas, mostrando-se também vários aspetos importantes da limpeza deste metal: por imersão em soluções comerciais com tioureia; a partir de reações redox, usando detergente da roupa (meio básico) e papel de alumínio (reductor). O cartaz mais importante, Fig.28, envolve a formação de cristais dendríticos de prata (árvores) a partir de reações com cobre metálico. No entanto, como estas reações se podem complicar, com reações secundárias e formação de árvores de cobre, ser-lhes-á dedicado um capítulo à parte (alguns detalhes nas Figs. 29,30 e ref. 13). A construção de fichas para a prata é muito aliciante e nelas pode figurar apenas a prata, ou ainda a prata e o cobre, o metal reductor (Figs.29,30). A prata formada a partir de reações com outros metais redutores (Hg, Pb, Sn, Zn, Mg) será também incluída nesta exposição como proposta para construir mais fichas [21, 28, 36, 37]. Os ensaios à lupa estereoscópica são muito didáticos e como envolvem apenas 3 ou 4 gotas de nitrato de prata em solução (0.1 M) são muito mais económicos e seguros do que as litradas que se usam deste reagente para fazer árvores razoavelmente apelativas e grandes, muitas vezes presentes nas semanas de Ciência das escolas.

Da exposição primitiva ainda vão ser incluídos neste trabalho [“O Microscópio vai ao Baú”](#) com antiguidades, com exemplos de ligas metálicas dos metais cunháveis (Cu, Sn, Zn) além do Au, Ag e Pt e, ainda, um cartaz relativo ao cloreto de sódio, [“O microscópio descobre o sal”](#), cujas fotomicrografias podem ser ligadas às fichas do sódio (Na) e do cloro (Cl) ou usadas para novas fichas, seguindo a estratégia da alínea f)[13].

Na Fig. 31, durante a Semana da Ciência e da Tecnologia 2018 [13] foram expostas algumas peças da “IST Microfashion” [21, 28], que também se podem relacionar com elementos da TP.

Ourives do Século XXI Au II



Foto Au 13, à esquerda. Observação de uma medalha antiga em ouro e prata, com rubis e pérolas. À direita, fotomicrografias Au 14, 15, com ampliação de 10x.



Fotomicrografia Au 16, em cima, à esquerda. Elo de uma pulseira de prata com marcassites e pedras sintéticas vermelhas, 20x. Fotos Au 17, 18, 19, aplicações feitas a partir de fotomicrografias com ampliações de 10x, 20 e 30x. Aplicações para individuais, bases de copos, sacos. Na última montagem mostram-se instantâneos da limpeza da jóia ao microscópio. Cada elo desta pulseira mede 1,5 x 2 cm.



Fotomicrografias Au 20, 21, 22. Observação de um pedantif em prata com marcassites e ônix. 10x, 15 x, 20 x. Dimensão real de 2x3 cm.



Fotomicrografias Au 23, 24. Observação de um colar de prata, de ourivesaria grega, 10x.



Fotomicrografia Au 25. Observação de um brinco em ouro e prata, com uma safira azul e aparas de diamantes. 10x.



Fotomicrografia Au 26. Observação de prata nativa, 10x. Usada no fundo deste cartaz, após tratamento digital.

Foto Au 27. Observação da pulseira de um relógio, 10x. Para marcadores de livros.



Artesãos do Século XXI
Alice's Artguides

Figura 24 – Ourives do Século XXI-II. Exposição Artesãos do Século XXI. Fotomicrografias de jóias em ouro e prata. Folha de prata.



Ag I

O Microscópio descobre a Prata

A indústria do fabrico de baixelas e objectos em prata é de longa tradição entre os Portugueses, representando o ganha-pão de muitas famílias radicadas, sobretudo, no Norte do País. Muito cobiçadas entre nós, as pratas dão um toque de requinte na decoração de uma casa, sendo também um símbolo de opulência e uma alternativa viável para o fabrico de jóias, em termos de preço e em épocas de crise económica. As pratas antigas continuam a ser disputadas por ourives, antiquários e colecionadores. Desde que muito trabalhadas e de pequeno pormenor, são uma alegria para o microscópio, nada amigo de decorações minimalistas.

Alguns antiquários e industriais de ourivesaria queixam-se de que a prata portuguesa deixa de ter valor depois de atravessar a fronteira. Será que é assim? E se o for, como podemos contribuir para mudar este estado de coisas e torná-la mais conhecida? A microscopia pode contribuir e muito para rejuvenescer este ramo da nossa indústria. Vejamos algumas propostas.



Fotomicrografias Ag 1, 2, 10x. Detalhes da tampa de prata javali da caneca da Foto à direita, com a marca comercial do ourives.



Foto Ag 3- Caneca e copos de cristal antigos, muito trabalhados, estilo Dona Maria e de marca javali.



Fotomicrografia Ag 4, 10x. Marcas de punção e de ourives.

As fotomicrografias valorizam pequenas peças comuns e mais baratas, como é o caso deste dedal, foto Ag 5, ao centro, desta argola de guardanapo (em baixo) ou de talheres, caixas de comprimidos, etc.



Fotomicrografias Ag 6, 7, 10x; 8, 20x, argola de guardanapo.



Construir complementos decorativos a partir delas pode valorizar a venda destes artigos ou a sua oferta. Envelopes, papel de embrulho e etiquetas podem utilizar os padrões de microscopia. Que tal incluir numa prenda, não só o dedal mas também uma caixa de costura decorada com a sua fotomicrografia?

Devido à ampliação, as fotomicrografias só conseguem abranger pequenas áreas da amostra, devendo ser posteriormente tratadas digitalmente para refazer o desenho completo, como se ilustra à esquerda, na argola de guardanapo de marca Porto Coroa, do porquinho a puxar o carro. As condições de iluminação também têm que ser cuidadosamente escolhidas. Se não é uma pessoa paciente, para otimizar todas estas condições, esqueça! O microscópio, embora muito ternurento, detesta pessoas apressadas.



Fotos Ag 9, 10, 11- Salva cornucópia de marca javali e aplicações de fotos macro para individuais de servir à mesa.



Fotos Ag 12, 13- Aplicações de fotos macro de uma salva bilheteira para individuais de mesa.



© Clementina Teixeira 2009, IST
Artesãos do Século XXI
Alice's Antiquidades

Figura 25 – Exposição Artesãos do Século XXI. [O Microscópio descobre a prata.](#)

O Microscópio, apaixonado pela prata, tenta descobrir a sua Química

Ag II

A paixão foi despoletada por uma vetusta terrina Porto Coroa de linhas curvilíneas, quicá demasiado sóbrias para se sujeitar ao seu escrutínio... (Foto Ag 14). Mesmo observando outras lindas peças, não encontrou substituta à altura para consumir a sua paixão! Vejamos o que ele vai fazer.



Fotos Ag 15,16-Aplicações de fotomicrografias, 10x. Prata Sterling aplicada em vidro, num conjunto de peças Arte Nova.

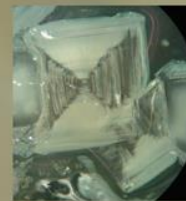
Fotomicrografias Ag 17,18, à direita- Detalhes do fundo e de uma asa de uma taça de prata dourada, 10x.

Inspirado em tanta beleza que se desenrola sob os seus olhos, mesmo que, por vezes, fora do seu alcance, o microscópio decide especializar-se na limpeza da prata. E aí sim, descobre que a Química deste elemento é fascinante. Satisfeito, consegue sublimar essa paixão não correspondida.

A limpeza das pratas pode ser feita com pastas ou algodões abrasivos embebidos num solvente que lhes retira a patine negra, o sulfureto de prata. Esse método não é interessante nem para o microscópio, nem para a prata, dado que com as limpezas sucessivas também se vai perdendo alguma prata. Há casos, porém, em que é a única alternativa viável. Outro método muito utilizado para talheres é a sua imersão em soluções líquidas contendo tioureia. Ao deitar fora essas soluções o microscópio descobriu que o seu resíduo seco é formado por miríades de pequenos cristais. Ao evaporar lentamente este líquido contido num cristizador e em repouso, obteve cristais aciculares bem como outros, tabulares prismáticos, com zonas opacas de desenhos geométricos, formados pela retenção (oclusão) da água. A composição destas soluções e dos cristais não é revelada a quem as compra, pois está sob sigilo industrial.



Fotomicrografia Ag 19, 10x Detalhes de uma moldura com flores. A flor da esquerda foi limpa com uma solução de tioureia e a da direita não, conservando a sua patine.



Fotomicrografias Ag 20,20x; Ag 21,10x; Ag 22,20x; Ag 23, em baixo, 20x- Três tipos de cristais observados por evaporação de solução limpa-pratas: cristais tabulares hexagonais, com oclusão de água no seu centro, tornado opaco; cristais tabulares com oclusões "ampulheta"; cristais aciculares. Foto 24, em baixo, centro -Placa de Petri com os cristais, após lenta evaporação em repouso.



O microscópio descobre então o Mundo maravilhoso da Microscopia Química: a fotografia e filmagem de reacções ao microscópio.



Figura 26 – Artesãos do Século XXI. O Microscópio, apaixonado pela prata, tenta descobrir a sua Química.

Microscopia Química da Prata

Ag III

O microscópio descobre a beleza escondida numa lamela de vidro, em apenas algumas gotas de solução de limpa pratas...

Só a experiência, o hábito de observar, permitem fazer um diagnóstico precoce: onde se escondem as lindas micropaisagens, cheias de cristais? O estudo do limpa pratas é um exercício excelente para aprender a observar. Em baixo, ampliação progressiva do resíduo formado numa lamela de vidro.

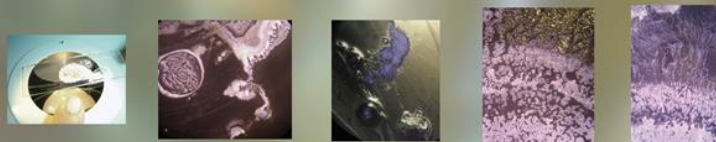
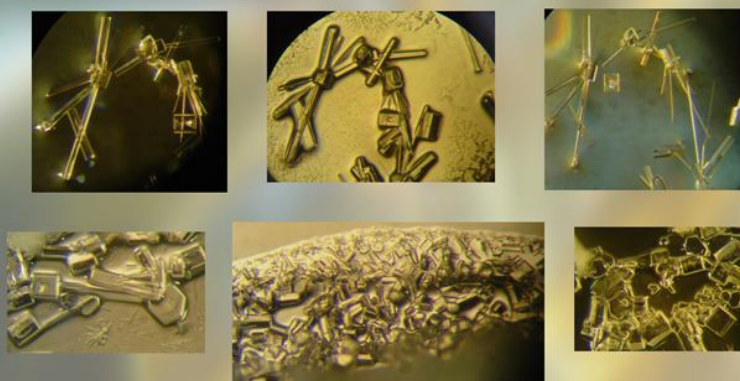


Foto 25- Lamela de vidro com resíduo de solução de limpa - pratas comercial. Fotomicrografias Ag 26, 27, 10x; Ag 28, 29, 20x. Em baixo, fotomicrografias com ampliação de 126x, Ag 30-35. As três primeiras apenas diferem da qualidade da luz usada na iluminação do microscópio óptico.



A limpeza da prata pode também fazer-se de forma expedita com soluções de soda cáustica, bicarbonato de sódio e, até, Skip® de lavar a roupa. Os objectos são envolvidos em papel de alumínio e depois imersos na solução (150 g de Skip® num litro de água quente). Cria-se um par de oxidação-redução: o alumínio oxida-se a Al^{3+} , ficando na solução sob a forma de aluminato e a prata reduz-se, convertendo-se o sulfureto de prata, negro, a prata metálica brilhante. O enxofre liberta-se na forma de sulfureto de hidrogénio, gás tóxico com cheiro a ovos podres. Este método não é destrutivo, mas não deve ser aplicado a peças lisas, sob pena de as manchar. Deve fazer-se a limpeza ao ar livre ou com ventilação.



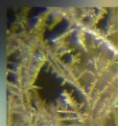
Foto Ag 36- Castiçal sujo (foto Ag 37) embrulhado em papel de alumínio e mergulhado em solução de Skip. O papel fica roto e manchado, no final, foto Ag 38, em baixo.

Na foto Ag 39, em cima, castiçais já limpos. Fotos Ag 40, 41 e 42, contraste entre a prata limpa e com patine.



Fotomicrografia Ag 43- Papel de alumínio, 10x. Após tratamento digital, esta fotomicrografia serviu para formatar o fundo destes cartazes.





Ag IV

Microscopia Química da Prata

O microscópio descobre como crescem os cristais de prata.

Fazer crescer cristais de prata a partir de uma reacção de oxidação-redução é uma experiência clássica de química. Mas fazê-lo com observação à lupa estereoscópica é fascinante, além de ser uma mais valia enorme. Vejamos porquê e como:

-Coloca-se numa lamela de vidro (ou numa placa de Petri, Foto Ag 44) ou ainda em qualquer recipiente de vidro baixinho, como um pires, algumas gotas duma solução de nitrato de prata (0,1 M). Este é o primeiro reagente. Cuidado, pois deixa mancha negra nas mãos, além de ser tóxico e muito, muito caro.

-A seguir põe-se em contacto com esta solução um disco de cobre, ou de qualquer outro metal menos nobre do que a prata. Este metal é o segundo reagente.

O efeito é instantâneo: cristais dendríticos que parecem pequenas árvores começam imediatamente a crescer -são um dos produtos desta reacção. Diz-se então que a prata se reduz, formando cristais e o outro metal se oxida, passando para a solução. Estas reacções envolvem a transferência de electrões e são responsáveis pela produção de electricidade nas pilhas galvânicas.

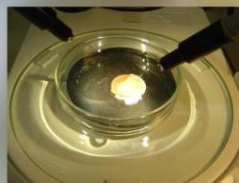


Foto Ag 44, disco de cobre a reagir com nitrato de prata (0,1 M) numa lupa estereoscópica, com iluminação de fibras ópticas.

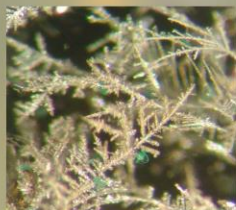
A lupa permite reduzir a quantidade de nitrato de prata a utilizar, o qual é caríssimo e tóxico. O resultado é fantástico e dá micropaisagens lindíssimas.



Fotomicrografias Ag 45,46,47- Cristais de prata, formando fractais, 126 x.



Foto Ag 48, resíduo da reacção do nitrato de prata com placa de cobre. As suas micropaisagens revelam aspectos inusitados desta reacção, mostrando que ela não é assim tão simples. Fotomicrografias Ag 49, 50, 51, 126x, em baixo.



As três últimas fotomicrografias, acima, revelam uma química que apenas está ao alcance de um perito. Os cristais verdes são de nitrato de cobre impuro, e as dendrites acobreadadas são de cobre metálico que renasce da reacção.

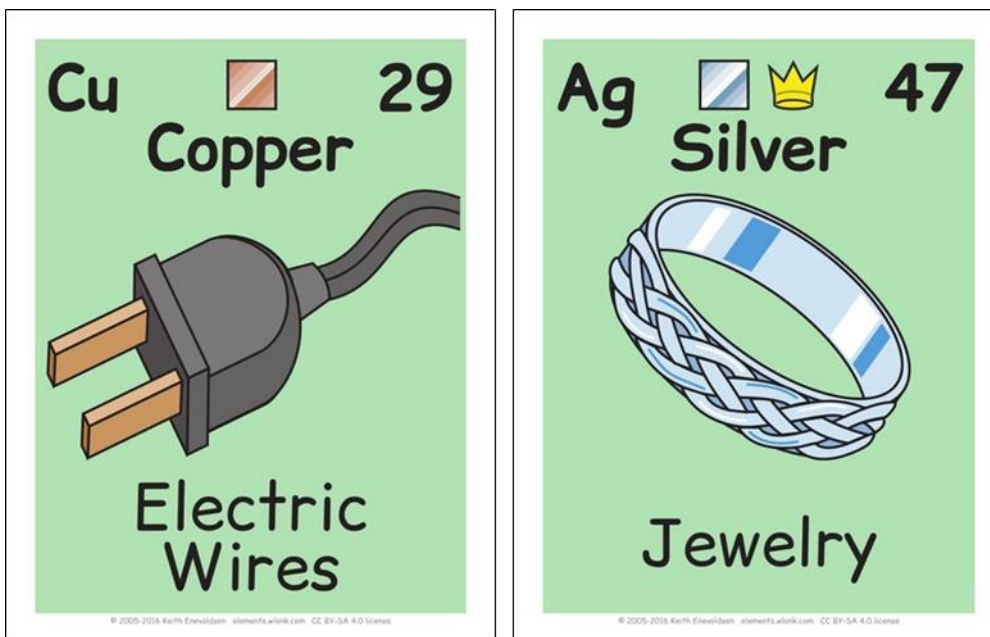


Foto 52-Motivo construído a partir da fotomicrografia Ag 50.

Se estes padrões decorativos, de alguma forma acompanhassem as nossas baixelas de prata...



Figura 28 – Artesãos do Século XXI. Microscopia Química da Prata. Reações de deslocamento da Ag usando o Cobre metálico como redutor. Reações secundárias, com formação de árvores de cobre e compostos de cobre. Algumas fotomicrografias obtidas durante as aulas de Projeto de Química, crédito: E. C. Benedicto, 2009.



Reação Redox: Dendrites de prata, 126x: $2\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Ag}(\text{s})$

Formação de "verdete" cristais verdes de cobre de composição desconhecida

Clemantina Teixeira, E.C.P. Benedicto, Projeto Laboratorial 2009/2010, IST

Slide 25b - © IST

Figura 30 – Reação de deslocamento da prata usando cobre como redutor. A reação não é limpa e formam-se compostos de cobre. As fichas de KE dizem portanto respeito aos dois elementos que participam na reacção, seguindo a estratégia da alínea d) da secção anterior. Vide, Fig. 29.

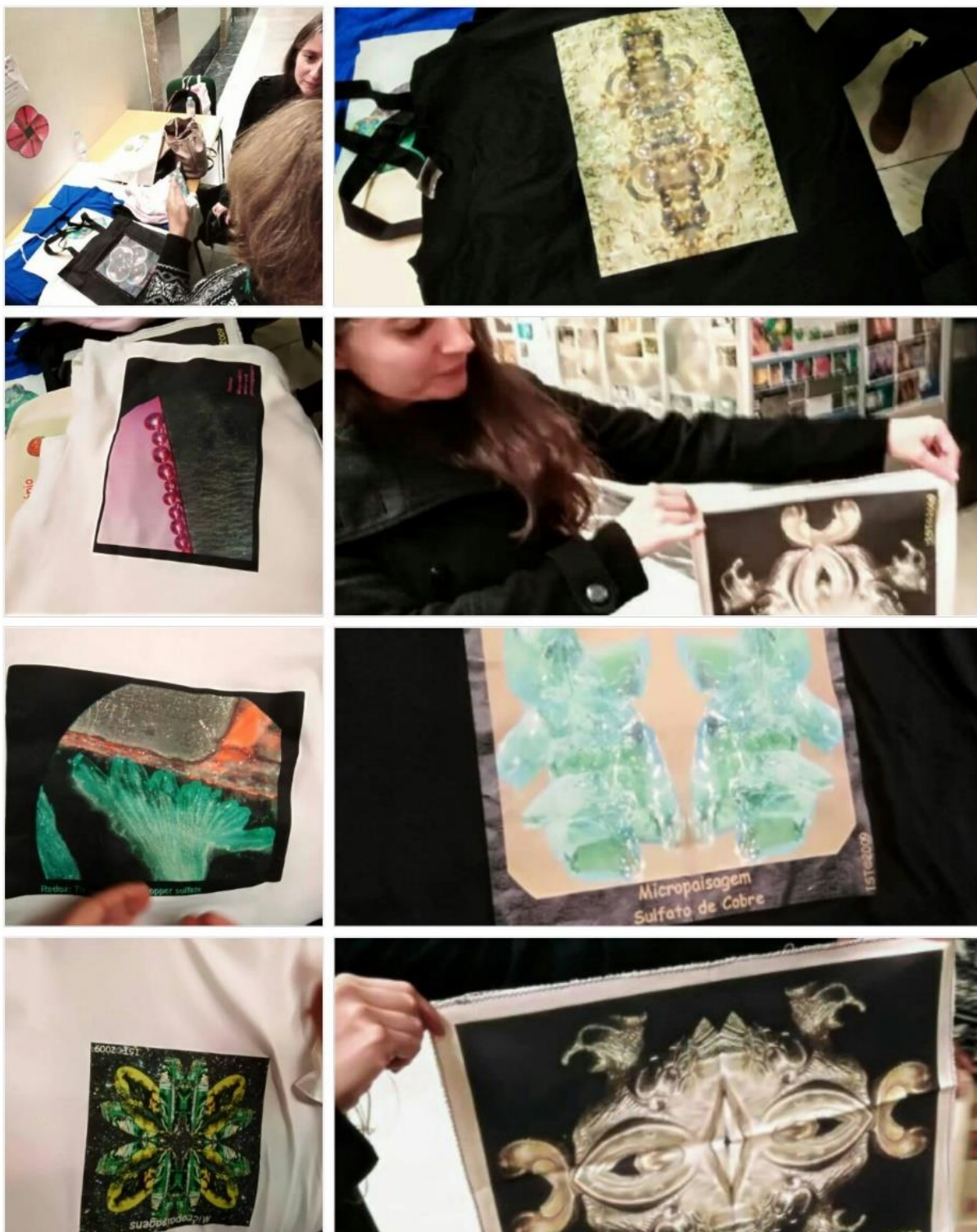


Figura 31 – Padrões da moda virtual IST Microfashion alguns da autoria de Maria Conceição Oliveira (CQE) impressos em tecidos (alguns são verdadeiras obras de Arte!). Nestas fotos os Elementos envolvidos são: segunda figura à direita, deslocamento de Ag (c) e H₂ (g) com Mg (c), reação com nitrato de prata; terceira figura, deslocamento de H₂ (g) com Mg (c), reação com água em presença de fenolftaleína; quinta figura, deslocamento de Cu (c) com Sn (c), reação com sulfato de cobre (II) pentahidratado e cristalização deste sal em excesso; sexta figura, cristais de sulfato de cobre pentahidratado; sétima figura, compostos de Fe, em fundo de cristais de Pb (c), este último obtido por reação de nitrato de chumbo com chapa de zinco; detalhe de uma peça de prata à lupa estereoscópica, simetrias de reflexão no plano, uma máscara de prata.

Banco de Imagens de Microscopia, Microscopia Química e Outras Experiências

O banco de imagens cujo acervo se está a construir Inclui fotomicrografias [28, 36, 37], videoclips e gifs com animação. Predominam neste repositório: reações de Química Inorgânica; métodos de cristalização; Química da água; Espectáculos com Nitrogénio Líquido (Show de Azoto), Neve Carbónica e Bolas de sabão; Jardins de Sílica; Microscopia no Estudo do Meio; informação relativa a congressos, etc. Muitos exemplos foram dados nas secções anteriores: Figs. 2, 5, 6, 8, 9, 28-31.

Entre 2008 e 2010 foi criado um Website (web.ist.utl.pt/clementina) que deixou de estar acessível em 2015 devido a uma reestruturação do servidor do IST, mas cujo acervo está a ser construído na Researchgate [38-42]. Estas páginas contêm secções relativas ao crescimento de cristais “On the Rocks”, microscopia, microscopia química, bolas de sabão, Artesãos do Século XXI, Forum Ciência Viva, etc. A seu tempo a informação será completada nesta rede de profissionais de investigação.

Por outro lado, desde 2013, tem sido feita divulgação na rede social Facebook, com grande número de álbuns de fotos e vídeos e com cerca de 1 180 seguidores. A página [Clementina Teixeira IST](#), sem fins lucrativos e sem quaisquer subsídios, está em permanente actualização e tem sido muito importante para estabelecer colaborações com escolas, trabalho em rede, público e interações com a Arte. Nas figuras seguintes, dão-se exemplos de montagens populares feitas a partir do banco digital do FB, Figs. 32- 36, que podem ser adaptadas à divulgação dos Elementos da Tabela Periódica.

Ciência e Arte. A Arte de Poen de Wijs.

A Química é Central, necessária, mas também pode seduzir pela sua estética e pode ser condignamente ligada à Arte. A beleza dos minerais, dos cristais de cultura e das reações à lupa estereoscópica permitiu desenvolver colaborações com artistas (Fig. 22, Arte “on the rocks”, Fig. 31, Design) e os contactos através das redes sociais alargaram-nas a pintores contemporâneos como é o caso de Poen de Wijs (Figs. 2, 5, 14, 19-21, 23, 34-36), Jantina Peperkamp e Duma Arantes. Também foram feitos trabalhos de fotografia científica, Arte Digital e Design [17].



Figura 33 – Montagem a partir de fotos disponibilizadas no FB, para compostos de cobre “on the Rocks” que também podem ser associadas à ficha desse elemento para uma colecção, “eu sou de cobre”. Acervo de páginas web.ist.utl.pt/clementina em construção na Researchgate [38-42].

Perto do fim da sua vida, em 2014, Poen de Wijs foi atraído pela forma como os metais brilham e pintou uma série de pequenos quadros em acrílico com pigmentos metálicos de Ouro, Prata e Cobre. Para estes elementos construíram-se slides de Ciência e Arte, apresentados publicamente na Futurália

em 2015. Três exemplos são dados nas montagens das Figs. 34-36, feitas com as fotomicrografias disponibilizadas no FB. Como nos casos anteriores, é possível a ligação às fichas de KE.



Figura 34 – Química e Arte: Eu sou o Ouro. Retratos da esposa e enteada de Poen de Wijs (Study in Gold 1 /2), acrílicos em ouro. Fotomicrografias da Fig. 15, Ourives do Século XXI (Exposição Artesãos do Século XXI).



Figura 35 – Química e Arte: Eu sou o Cobre. Obra de Poen de Wijs, acrílico em cobre, divulgação de Christa Zaat (FB). O pintor chegou a partilhar os slides originais de Ciência e Arte na sua própria página do FB. Fotomicrografia, aulas de Projeto de Química, 2009/2010.

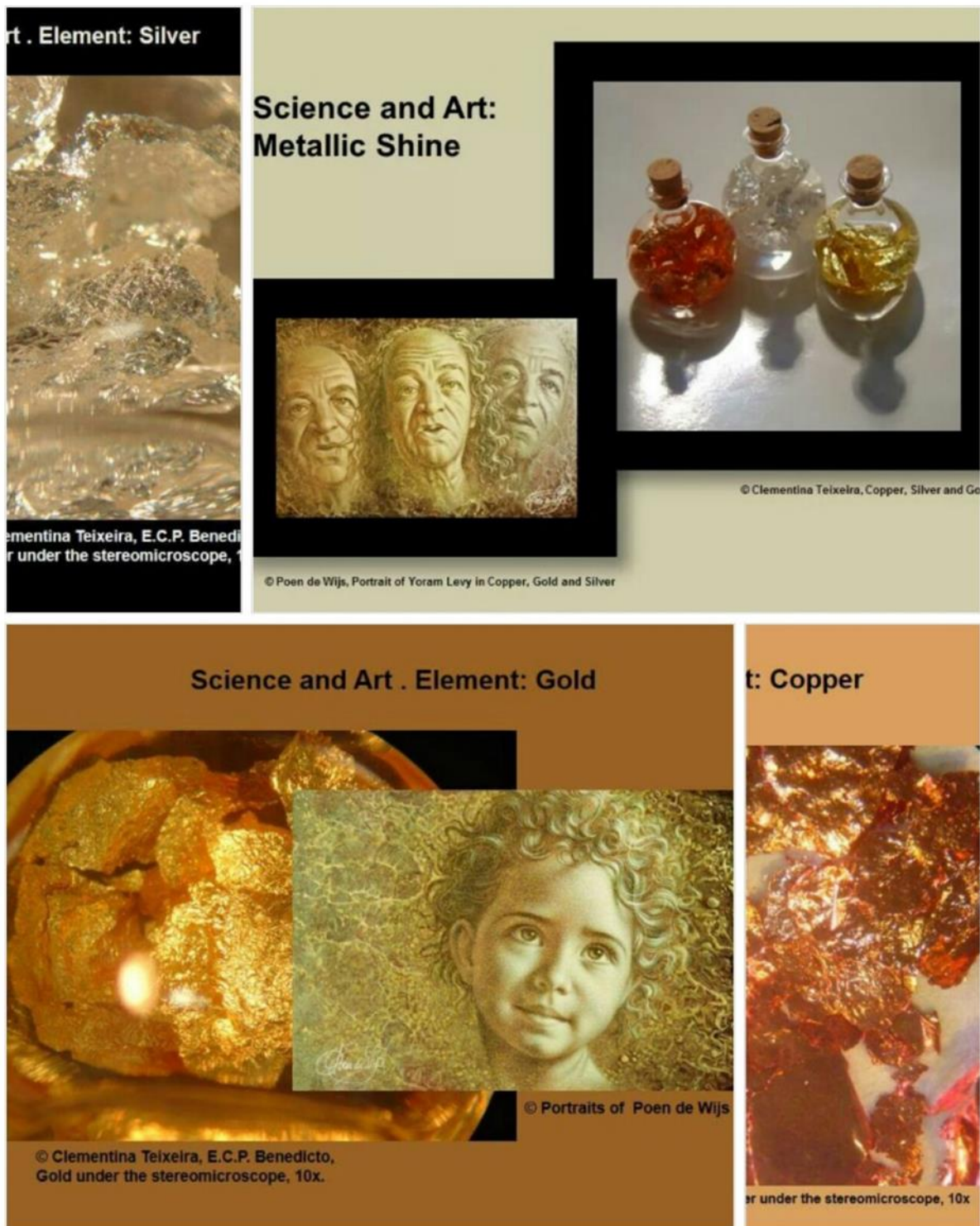


Figura 36 – Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica. Fotomicrografias de Cobre, Prata e Ouro em folha, aulas de Projeto de Química, 2009/2010. Obras de Poen de Wijs, em cima, Portrait of Yoram Levy, acrílico em Cu, Au e Ag. Em baixo, retrato em acrílico, ouro (Portrait of Inti). American Corner, Futurália 2015.

Exposição Itinerante “Nó Cego” de reciclagem de têxteis

É um [projeto de cidadania](#), de upcycling, reutilização de roupas usadas e têxteis, caracterização de tecidos de algodão, viscose, lã e fibras sintéticas, com ligações à simetria no plano e a outros conceitos

de Matemática. Mostra inserida, nas Escolas, nas áreas de Educação Visual e Desenvolvimento Tecnológico. Foram feitas exposições na Biblioteca Municipal de Penamacor, na Aldeia da Malcata, Associação Malcata com Futuro (Fig.1) com uma workshop incluída. Avizinha-se nova exposição no Agrupamento de Escolas Ribeiro Sanches, Penamacor, na Biblioteca Escolar, integrada no Programa Cientificamente Provável. Este trabalho continuará a ser desenvolvido no âmbito dos Artesãos do Século XXI, O microscópio vai ao Tear e pode também ser integrado no Estudo do Meio. Será possível fazer a ligação ao elemento carbono, atendendo a que muitas das fibras têxteis são de celulose, ao enxofre e azoto com a constituição da lã, etc. Ajudando a reciclar, especialmente vestuário de fibras sintéticas, poderemos contribuir para diminuir a taxa de poluentes de microfibras de plástico nos oceanos.

Exposição “Química e Arte: Somos Elementos da Tabela Periódica. Colaboradores do Projeto.

Alguns dos resultados dos projetos mencionados nas secções anteriores serão adaptados a uma Exposição integrada nos Laboratórios Abertos 2019, dedicados ao Ano Internacional da Tabela Periódica e cujo catálogo será posteriormente publicado. Esta exposição ficará acessível a requisição externa pelas escolas e Instituições sem fins lucrativos.

Nesta Exposição colaboram os co-autores de várias publicações listadas nas referências desta publicação.

Clementina Teixeira, CQE/DEQ

Maria Conceição Oliveira, CQE

Hermínio Diogo, CQE/DEQ

Manuel Francisco Costa Pereira, Museu Alfredo Bensaúde, IST

Erik Ceschini P. Benedicto, aluno Erasmus do DEQ/IST, 2009/2010

Gonçalo Santos, colaborador externo do CQE

Jacob Christian Poen de Wijs, pintor, a título póstumo

Jantina Peperkamp, pintora

Christa Zaat, divulgação da obra de Poen de Wijs

Agradecimentos

Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal (Project UID/QUI/00100/2013).

A [Christa Zaat](#) agradece-se a divulgação da obra de [Poen de Wijs](#) na rede social Facebook.

A Dulce Simão, responsável pela Divulgação do Departamento de Engenharia Química do IST, os vários convites para participar em ações de divulgação. A Rosalia Vargas, Ciência Viva, a confiança que depositou, ao longo dos anos, nestes projetos.

Referências e Notas

- [1] C. Teixeira, V. André, N. Lourenço, M. J. Rodrigues, “Crescimento de Cristais por Nucleação Heterogénea: On the Rocks Revisited”, *Ciência e Tecnologia dos Materiais*, 19, nº1-2 (2007) 66-77. Referências aí citadas.
- [2] C. Teixeira, G. Santos, J. C. Poen de Wijs (a título póstumo), “Soprar: das bolas de sabão aos moinhos de vento. Um projecto de Ciência e Arte com Poen de Wijs”, comunicação oral, III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016. Suplemento: SoprarBolasdeSabãoPoendeWijs, DOI: 10.13140/RG.2.2.15345.17767.
- [3] C. Teixeira, “Windmills of Chemistry. Chemical Microscopy, Science and Art. [A Tribute to Poen de Wijs \(1948 – 2014\)](#)”, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 25/8/2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.5154.9922.
- [4] C. Teixeira, “Windmills of Chemistry and the Art of Poen de Wijs”, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 10/9/2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.2321.2007. Suplemento em pptx, ScienceArtPoenDeWijsWindmills, DOI: 10.13140/RG.2.1.4942.6408.
- [5] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, J. Peperkamp, “[Exposição Ciência e Arte](#)”, in Laboratórios Abertos 2018, eds. M. A. Lemos, C. Gomes de Azevedo, D. Simão, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, ISBN: 978-989-99508-5-6, 5-9 de Fevereiro de 2018, 145-151. Anexos: “Cristais On the Rocks Laboratórios Abertos” 2018, DOI: 10.13140/RG.2.2.10567.60326 (poster); “Ciência e Arte. Solução. Laboratórios Abertos 2018”. DOI: 10.13140/RG.2.2.27764.24969 (poster); “Projeto Soprar. Ciência e Arte. Laboratórios Abertos 2018”, DOI: 10.13140/RG.2.2.36152.85763 (poster); [Ciência e Arte soprar2](#) (poster) DOI: 10.13140/RG.2.2.18641.63845.
- [6] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, J. Peperkamp, “[Exposição Ciência e Arte com a AEIST](#)”, AEIST, Semana da Cultura 2018, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química, IST, Universidade de Lisboa, 21 de Maio de 2018, DOI: 10.13140/RG.2.2.14958.51526.
- [7] C. Teixeira, “Artesãos do Século XXI”- Artesanato observado ao microscópio, Catálogo da exposição, edição de autor, Projecto Ciência Viva, CV 100-2009/432, Centro de Química Estrutural e Departamento de Engenharia Química e Biológica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, p 1-17, Dezembro 2009. DOI: 10.13140/RG.2.1.4313.2969. Consultar os 25 suplementos na ResearchGate, com os cartazes em anexo e montagens de fotomicrografias de reações químicas e cristalizações.
- [8] C. Teixeira, Microscopia óptica aplicada a padrões decorativos, Brokerage AGROFOODiTECH – SIAG 2012, (Brokerage temático Hortofrutícola, Florestal e outras; Brokerage temático do Vinho e do Azeite), Rede Inovar, Salão Internacional de Agro-Negócios CNEMA, Santarém, 28 de Março de 2012.
- [9] C. Teixeira, European Science Day for Youth, 10th Edition, "Crystals", 12 de Março de 2014. <https://esdy.milset.org/2014/do-it-yourself/>.
- [10] C. Teixeira, European Science Day for Youth. [Soap Bubbles](#), European Science Day for Youth, 11th Edition, “Light”, [5 de março de 2015](#). DOI: 10.13140/2.1.4918.6081. Consultar também a ref. 2.
- [11] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs (a título póstumo), [Chemistry, Art and Child Play](#), SciComPT 2016, 4^o Congresso de Comunicação de Ciência, Poster do painel Arte e Ciência, Pavilhão do Conhecimento, 26 e 27 de Maio de 2016, Lisboa. DOI: 10.13140/RG.2.1.1589.5928.
- [12] C. Teixeira, G. Santos, Microscopia Química e Arte, SciComPT 2016, 4^o Congresso de Comunicação de Ciência, Poster do painel Educação Não Formal, Pavilhão do Conhecimento, 26 e 27 de Maio de 2016, Lisboa. DOI: 10.13140/RG.2.1.1065.3048.
- [13] C. Teixeira, M. F. C. Pereira, Semana da Ciência e da Tecnologia 2018, Ciência Viva, no Centro de Química Estrutural do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 21-23 de Novembro 2018 (com a colaboração de Museu Alfredo Bensaúde, Museu Décio Thadeu e Departamento de Engenharia Química). DOI: [10.13140/RG.2.2.10410.88004](#).
- [14] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, J. Peperkamp, C. Zaat, “[Cientistas e Artistas, Divulgação de Química e Arte](#)”, comunicação oral, V Encontro Internacional da Casa das Ciências, Centro Cultural Vila Flor, Guimarães, 9-11 de Julho de 2018. Apresentação com animação: [cientistas e artistas química e arte](#) DOI: 10.13140/RG.2.2.29401.83045.
- [15] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, J. Peperkamp, C. Zaat “[Padrões Decorativos: Divulgação Colaborativa de Ciência e Arte](#)”, Poster, V Encontro Internacional da Casa das Ciências, Centro Cultural Vila Flor, Guimarães, 9-11 de Julho de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.18898.04800. Suplemento: [Ciência e Arte. Simetrias](#) DOI: 10.13140/RG.2.2.18898.04800.

- [16] H. Diogo, C. Teixeira, G. Santos, J. C. Poen de Wijs, J. Peperkamp, [“Ciência e Arte com Cristais na Futurália”](#), Poster, V Encontro Internacional da Casa das Ciências, Centro Cultural Vila Flor, Guimarães, 9-11 de Julho de 2018. Suplemento: [Cristais Futurália Poster](#).
- [17] M. C. Oliveira, H. Diogo, C. Teixeira, M. F. C. Pereira, Cristais “On The Rocks”, Microscopia Química: Fotografia Científica e Arte Digital, Poster, V Encontro Internacional da Casa das Ciências, Centro Cultural Vila Flor, Guimarães, 9-11 de Julho de 2018. Poster Cristais On the Rocks Digital Art Photomicrography
- [18] C. Teixeira, J. Peperkamp, J. C. Poen de Wijs (a título póstumo), “Poen, Jantina e Clementina: Projeto de Ciência e Arte na Rede [www.facebook.com](#)”, [comunicação oral](#), III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016. Suplemento: [Poen Jantina Clementina Science and Art](#), DOI: 10.13140/RG.2.2.19749.19682.
- [19] C. Teixeira, G. Santos, E. C. P. Benedicto, [Microscopia Química: uma abordagem mediática da Química Inorgânica](#), Poster, III Encontro Internacional da Casa das Ciências, ISEP, Porto, 11-13 de Julho 2016. Suplemento: [Microscopiaquímica2016](#), DOI:10.13140/RG.2.2.19109.50407.
- [20] C. Teixeira, J. C. Poen de Wijs, H. Diogo, M. F. C. Pereira, G. Santos, M. Lancinha, M. Smith, [“TALKING TO POEN”](#), a Project of Science and Art Developed in FACEBOOK: Crystal Growth, Chemical microscopy, Photomicrography and Symmetry, Comunicação oral, II Encontro Internacional da Casa das Ciências, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14-16 de Julho de 2014. Apresentação: [clementina talking to Poen de Wijs.pdf](#), DOI: 10.13140/RG.2.2.19367.44967.
- [21] M. C. Oliveira, C. Teixeira, H. P. Diogo, E. C. P. Benedicto, Microscopia Química: do Laboratório à Moda. IST Microfashion, coleção “Electric Dreams”, [Comunicação oral, I Encontro Internacional da Casa das Ciências](#), Escola Secundária D. Dinis, Lisboa, 21 e 22 de Março de 2013.
- [22] I. Madaleno, P. Castelhana, C. Teixeira, [Ciência e Arte](#), Comunicação em [Poster](#), I Encontro Internacional da Casa das Ciências, Escola Secundária D. Dinis, Lisboa, 21 e 22 de Março de 2013.
- [23] C. Teixeira, E. C. P. Benedicto, H. P. Diogo, [Microscopia Química—Uma Revolução Cultural: Arte, Ensino e Divulgação da Química](#). Comunicação oral. I Encontro Internacional da Casa das Ciências, Escola Secundária D. Dinis, Lisboa, 21 e 22 de Março de 2013. Suplementos: [MicroscopiaQuimica2010](#). DOI:10.13140/RG.2.1.2234.9926. [ChemicalmicroscopyBrasil.tif](#).
- [24] C. Teixeira, M. F. C. Pereira, H. Diogo, C. Oliveira, G. Santos, C. Rocha, “Novas perspetivas no desenvolvimento de material didático: cristais químicos e reações em *zoom in*, numa abordagem interdisciplinar com ligação à Arte”, IV Encontro Internacional da Casa das Ciências, FCUL, Lisboa, 10-12 de Julho 2017. [Workshop convidada](#) de 5 horas, Departamento de Engenharia Química, GeoMuseus do IST, Centro de Química Estrutural.
- [25] C. Teixeira, V. André, N. Lourenço, S. Chaves, M. Smith, M. Lancinha, C. Belchior em “ Show de Azoto: O Azoto Mega Show! Experiências com azoto líquido, neve carbónica e bolas de sabão”, Brochura dos Laboratórios Abertos 2011, ISBN: 978-989-96933-2-6, eds. M. A. Lemos, C. G. de Azevedo, DEQB, IST, Fev. 2011, p 86-94. Ver também [aqui](#), e [aqui](#).
- [26] C. Teixeira, M. Smith, G. Santos, M. Lancinha, C. Belchior, J. V. Moreira, A. S. Borrego, V. Silva, V. André em [“Show de Azoto, O ciclo da Água”](#), Brochura dos Laboratórios Abertos 2013, eds. M. A. Lemos, C. G. de Azevedo, ISBN: 978-989-96933-7-1, DEQ, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Fevereiro de 2013, p 74-98.
- [27] C. Teixeira, M. Smith, G. Santos, J. V. Moreira, M. Lancinha, C. Belchior, A. S. Borrego, V. Silva, N. P. Lourenço, em [“Show do Azoto-O ciclo da água”](#), Livro dos Laboratórios Abertos Júnior 2013, eds. M. A. Lemos, C. G. de Azevedo, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, ISBN: 978-989-96933-6-4, Fevereiro de 2013, p 22-32. DOI: 10.13140/2.1.2734.8805.
- [28] C. Teixeira, E. C. P. Benedicto, [The Hidden Beauty of Chemical Reactions](#), Beautiful Chemical Reactions under the Stereomicroscope. Pgs1-30, Novembro 2014. DOI: 10.13140/2.1.4483.2961.
- [29] C. Teixeira, “Mandei Vir os Ácidos, as Bases e os Sais: Aplicações da Microscopia Química”, Química, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, 107 (2007) 41-45.
- [30] C. Teixeira, Os Cristais no Ensino e Divulgação da Química, Colóquio Ciências, Fundação Calouste Gulbenkian, **25**, 20-36 (2000).
- [31] C. Teixeira, N. Lourenço, S. Matos, [“Blues on the Rocks”](#), Proceedings of the 6th European Conference on Research in Chemical Education, 2nd European Conference on Chemical Education, Universidade de Aveiro, 4-8 September 2001. DOI: 10.13140/RG.2.1.4985.0407.

- [32] C. Teixeira, T. Tasso de Figueiredo, G. Santos, [Crystal Growth "On the Rocks"](#). Chemical Microscopy. Activities for the International Year of Crystallography 2014, Comunicação em [Poster](#), II Encontro Internacional da Casa das Ciências, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14-16 de Julho de 2014.
- [33] C. Fontoura Carvalhão, Exposição de pintura de cristais "On the Rocks", Átrio, Torre Sul, IST, 2000.
- [34] C. Teixeira, H.M.G.S. M Trigo Teixeira, R. P.G.Vareda, M.V. Barrôgo Linhas, J. C. Poen de Wijs, [Crystals, Microscopy and the Art of Poen de Wijs](#). Copper Sulphate(II) pentahydrate "On the Rocks", comunicação oral, II Encontro Internacional da Casa das Ciências, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14-16 de Julho de 2014. Apresentação: [Clementina Poen de Wijs Copper Sulphate.pdf](#).
- [35] C. Teixeira, V. André, A. S. D. Ferreira, E. Lago, M.F.N. N.Carvalho, ["On the Rocks...Occlusion of Dyes in Transparent Inorganic Crystals"](#), Proceedings of the 6th European Conference on Research in Chemical Education, 2nd European Conference on Chemical Education, A.F.Cachapuz ed., Universidade de Aveiro, 4-8 September 2001. DOI: 10.13140/2.1.3500.8966.
- [36] C. Teixeira, M. C. Oliveira, E.C.P. Benedicto, Microscopia Química: a beleza escondida das reacções químicas, comunicação oral EAQ-CO-04, XXII Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa de Química, Parque de Exposições de Braga, Universidade do Minho, 3-6 de Julho de 2011. DOI: 10.13140/RG.2.1.4850.5762. Suplemento: MicroscopiaQuímica 2011, DOI: 10.13140/RG.2.1.1155.9529.
- [37] C. Teixeira, M. C. Oliveira, E. C. P. Benedicto, [Electric Dreams](#), Poster PA10, XII Iberic eeting of Electrochemistry & XVI Meeting of the Portuguese Electrochemical Society, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 8-11 de Setembro de 2010. DOI: 10.13140/RG.2.1.2363.5369. Poster: "Electric Dreams. Chemical Microscopy", DOI: 10.13140/RG.2.1.1678.1923.
- [38] C. Teixeira, As minhas páginas web.ist.utl.pt/clementina, Cristais1 e Cristais2, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 6 de Setembro de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.31204.22408.
- [39] C. Teixeira, As minhas páginas web.ist.utl.pt/clementina, Cristais3 e Cristais4, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 10 de Setembro de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.36478.23364.
- [40] C. Teixeira, P. Ferreira da Silva, As minhas páginas web.ist.utl.pt/clementina, Cristais 5 e Cristais 6, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 22 de Setembro de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.13679.89760.
- [41] C. Teixeira, T.Tasso de Figueiredo, P. Ferreira da Silva, As minhas páginas web.ist.utl.pt/clementina, Cristais 7 e Maristas de Lisboa "On the Rocks", Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 22 de Outubro de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.30502.16964.
- [42] C. Teixeira, P. Ferreira da Silva, As minhas páginas web.ist.utl.pt/clementina, Natal 2008 e Cristais, Centro de Química Estrutural, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Setembro 2018. DOI:10.13140/RG.2.2.13679.89760.
- [43] C. Teixeira, Exposição "Nó Cego", 22 de Dezembro de 2018-25 de Janeiro de 2019. Upcycling de Têxteis, simetrias, matemática, Química Têxtil, Associação Malcata com Futuro, Malcata, Sabugal, curadoria de José Escada da Costa.
- [44] C. Teixeira, Workshop, Nó Cego, Quantos Nós, 12 de janeiro de 2019, Associação Malcata com Futuro,

Equipa

Coordenação

Dulce Simão
Cristina Azevedo
Amélia Lemos

Palestras

Alda Simões
Carlos Baleizão
Frederico Montes
Hugo Cardoso
Sebastião Alves
Vasco Bonifácio

Módulos Experimentais

Ana Knittel
António de Almeida Costa
Cristina Azevedo
Dulce Simão
Fátima Rosa
Hermínio Diogo
José Armando Silva
José Miguel Mata
José Condeço
Licínio Ferreira
Luis G. Alves
Maria João Ferreira

Logística

Ana Vicente
Carla Salvador
Cristina Ribeiro
Isabel Leiria
Lurdes Ribeiro
Marta Coelho
Moisés Pinto
NEQIST
Alexandre Júlio
Nuno Simões

Módulos Experimentais

Maria Sousa
Margarida Mateus
Marta Coelho
Remígio Machado
Rita Pires
Sebastião Tavares
Sílvia Chaves
Vasco Bonifácio

Exposição

Clementina Teixeira

Apoio na Realização

Ana Vicente

Carla Salvador

Isabel Leiria

Jorge Teixeira

Marta Coelho

NEQIST

Remígio Machado

Apoio Laboratorial

Alunos dos Mestrados em:

Engenharia Química

Engenharia Biológica

Escolas Participantes

Nos Laboratórios Abertos

Agrupamento de escolas de Benfica

Agrupamento de escolas Joaquim Inácio da Cruz, Sobral de Monte Agraço

Agrupamento de escolas de Laranjeiras

Colégio do Sagrado Coração de Maria, Lisboa

Escola Amadeu Andrés

Escola Básica e Secundária Anselmo de Andrade, Almada

Escola Básica e Secundária Gil Vicente, Lisboa

Escola Básica e Secundária de Ourém

Escola Secundária António Damásio, Lisboa

Escola Secundária Luís de Freitas Branco, Paço de Arcos, Oeiras

Escola Secundária Maria Amália Vaz de Carvalho, Lisboa

Escola Profissional de Almada

Santo António International School

Nos Laboratórios Abertos Junior

Agrupamento de escolas do Lumiar, Lisboa

Agrupamento de escolas de Paço de Arcos, Oeiras

Colégio da Bafureira, Parede

Escola Básica D. Fernando II, Agrupamento Monte da Lua, Sintra

Escola Básica 2,3 Eugénio dos Santos, Lisboa

Escola Básica 2,3 Luís de Camões, Lisboa

Escola Básica 2,3 Marquesa de Alorna, Lisboa

Escola Básica 2,3 de Porto Alto, Benavente

Escola Secundária do Pinhal Novo

Escola Básica e Secundária Anselmo de Andrade, Almada

Nos Laboratórios Abertos Kids

Agrupamento de escolas de Sines

Colégio Valsassina, Lisboa

Escola Básica Paulino Montez, Olivais (Escola Ciência Viva)

Escola Básica Eng. Ressano Garcia, Lisboa (Escola Ciência Viva)

Escola Básica 1/JI Feliciano Oleiro, Almada

Patrocínios

