



DEQ  
DEPARTAMENTO  
DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TÉCNICO LISBOA



LABORATÓRIOS

ABERTOS

2014

Departamento de  
Engenharia  
Química

**Laboratórios Abertos 2014**

**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**



**Capa:  
Maria Amélia Lemos, Cristina Gomes de Azevedo, Dulce Simão  
Fevereiro 2014**

**ISBN: 978-989-96933-8-8**

## Índice

Índice .....	3
Programa .....	4
Artesãos do século XXI – Exposição permanente .....	5
Palestras .....	6
Romeu e Julieta: Amor entre Moléculas .....	7
Se as Moléculas Falassem Umas com as Outras.....	12
Do Crude ao Plástico...Existem Tantos Processos Químicos! .....	17
Neutralização de Pesticidas e Armas Químicas. Novos Métodos para Velhas Moléculas! ...	22
E os Átomos? Vêem-se? .....	24
VER – e do Lixo se Faz Energia.....	28
Os Desafios da Produção de Petróleo no Mar.....	32
Cloreto de Sódio: um Tesouro das Civilizações .....	39
Degusta-me! As Fascinantes Moléculas que Encontramos nos Alimentos .....	44
Experiências no Laboratório.....	49
<i>Químico Orgânico por um Dia</i> .....	50
<i>Explosões e Combustões</i> .....	63
<i>Química na Cozinha</i> .....	70
<i>Materiais com Memória</i> .....	74
<i>Química do Supermercado</i> .....	81
Equipa.....	90
Escolas Participantes .....	92
Patrocínios .....	94

## Programa

### Ensino Secundário – Atividades de 3 a 7 de Fevereiro de 2014

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

#### Palestras

03/02/2014	9:30 h	Romeu e Julieta: amor entre moléculas Miguel Rodrigues
	14:30 h	Se as moléculas falassem umas com as outras Dulce Belo
04/02/2014	9:30 h	Do crude ao plástico...existem tantos processos químicos! André Vilelas
	14:30 h	Neutralização de pesticidas e armas químicas: novos métodos para velhas moléculas Marta Abrantes
05/02/2014	9:30 h	E os átomos vêm-se? Patrícia Carvalho
	14:30 h	V.E.R. – e do lixo se faz energia! Francisco Lemos, Maria Amélia Lemos
06/02/2014	9:30 h	Os desafios da produção de petróleo no mar Marta Silva
	14:30 h	Cloreto de sódio – um tesouro das civilizações Fátima Farelo
07/02/2014	9:30 h	Degusta-me: as moléculas fascinantes que encontramos nos alimentos Maria João Ferreira
	14:30 h	De que são feitas as coisas? Rui Vilar

---

### Experiências nos Laboratórios

---

Químico Orgânico por um  
dia

Eng<sup>a</sup> Química:  
Explosões e Combustões

Materiais com  
Memória

---

Show do Azoto

Química na Cozinha

Química do Supermercado

---

***Artesãos do século XXI – Exposição permanente***

## Palestras

Tal como nas anteriores, esta edição dos “Laboratórios Abertos 2014” foi organizada com uma palestra temática seguida de um conjunto de atividades experimentais.

Nesta primeira secção incluem-se os resumos das palestras que são apresentadas nas várias sessões e que dão uma visão sobre a Química, a Engenharia Química e a Engenharia de Materiais no nosso quotidiano.

Estas palestras abarcam uma grande variedade de temas, desde a importância da Engenharia Química na exploração de petróleo, ao papel dos Materiais Avançados na exploração espacial, passando pelo desenho de novos fármacos e pela compreensão da química das armas.

## **Romeu e Julieta: Amor entre Moléculas**

Miguel Rodrigues

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

Tal como a química do amor uniu Romeu e Julieta na obra de William Shakespeare, a química entre elementos químicos ou moléculas une-os em determinadas estruturas e redes moleculares que ditam as propriedades finais dessas substâncias.

Substâncias sólidas com propriedades significativamente diferentes podem ser obtidas a partir de um átomo, composto iónico ou molécula pela simples mudança no empacotamento dos seus átomos e/ou moléculas. Por exemplo, o diamante e a grafite são dois materiais com propriedades diferentes pois são constituídos pelo mesmo elemento químico, o carbono, mas em que os átomos deste elemento químico estão ligados entre si de maneiras diferentes. A Fig. 1 mostra o diamante e a grafite e as suas respectivas estruturas.

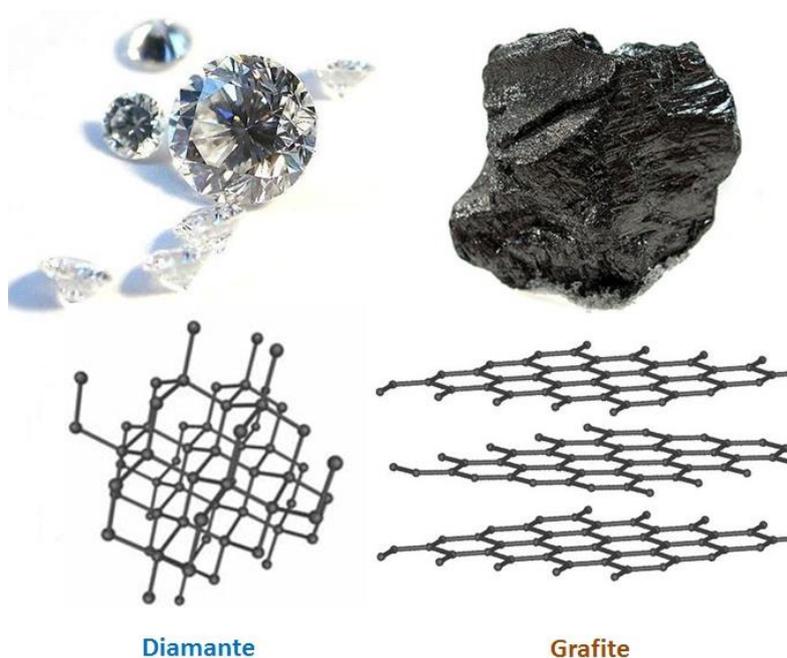


Figura 1 – Representação de estruturas do diamante e da grafite.

## Engenharia de cristais: gerar fármacos com propriedades melhoradas

Os *princípios ativos farmacêuticos*, também conhecidos por *fármacos*, constituem qualquer substância ou mistura de substâncias com actividade farmacológica a ser utilizadas na fabricação de um medicamento. Os *fármacos* são geralmente administrados aos pacientes na forma farmacêutica sólida (comprimidos, cápsulas, etc). Os sólidos fornecem uma forma conveniente, compacta e estável de distribuir *fármacos* ou produtos farmacêuticos, de modo que o controlo químico dos mesmos no estado sólido, como substâncias puras ou produtos formulados, é uma parte muito importante no desenvolvimento de um novo medicamento. Nesse estado sólido, as moléculas dos *fármacos* podem apresentar-se ligadas numa rede ou forma cristalina (moléculas ordenadas) ou não-cristalina/amorfa (moléculas desordenadas). Quando no estado ordenado, o mesmo tipo de moléculas podem ligar-se entre si mas também se podem ligar com diferentes tipo de moléculas gerando multicomponentes, podendo assim apresentar propriedades distintas. É aqui que a complementaridade, ou se quisermos, o amor entre as moléculas, desempenha um papel fundamental para a formação de diferentes tipos de estruturas com diferentes tipos de propriedades físico-químicas.

A Fig. 2 apresenta diferentes tipos de estruturas moleculares que podem existir num *fármaco*.

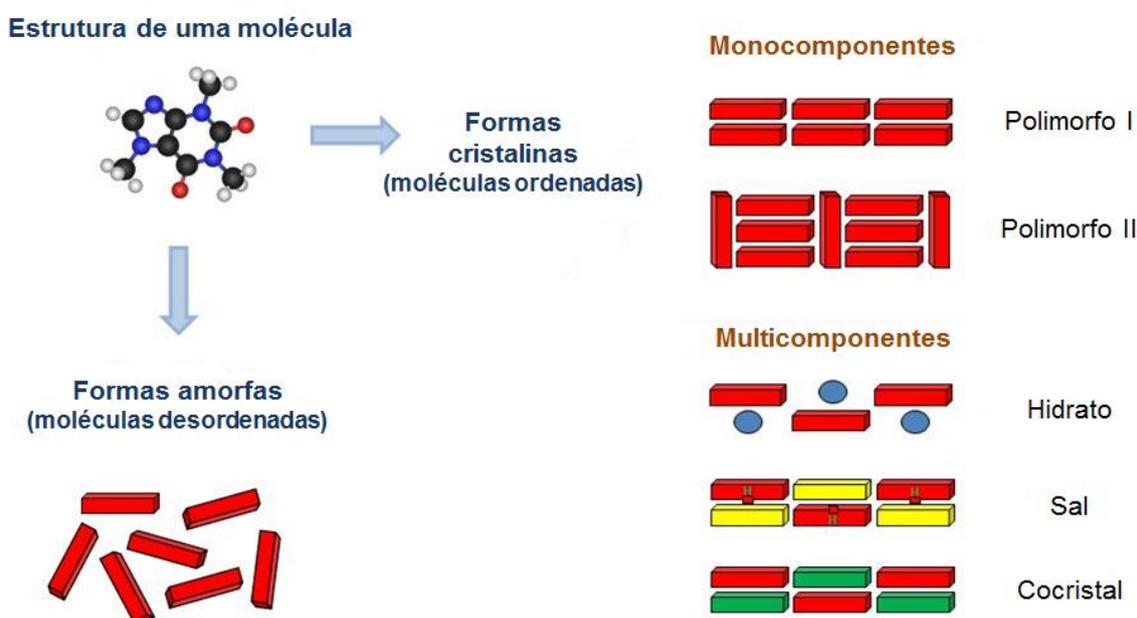


Figura 2 – Representação dos diferentes tipos de estruturas moleculares que podem existir num fármaco.

Como mostra a Fig. 2, o mesmo tipo de moléculas de um *fármaco* pode gerar estruturas desordenadas (amorfas) ou ordenadas (cristalinas) de diferentes maneiras (chamados polimorfos). No entanto, um tipo de moléculas do *fármaco* pode associar-se a diferentes tipos

de moléculas e gerar estruturas diversas: quando se ligam a moléculas de água formam *hidratos*; quando se ligam a outras moléculas iónicas formam *sais*; quando se ligam a outras moléculas neutras formam *cocristsais*.

### Exemplos de novos fármacos com propriedades melhoradas

Moléculas com propriedades físico-químicas limitadas (tais como solubilidade baixa em água e fraca estabilidade) estão a tornar-se cada vez mais predominantes na pesquisa e desenvolvimento de novos fármacos. No entanto, usando a engenharia de cristais é possível descobrir-se novas formas moleculares do mesmo fármaco apresentando propriedades novas.

Um entre vários fármacos que têm sido investigados no Departamento de Engenharia Química (DEQ) do Instituto Superior Técnico (IST), e um dos exemplos mostrados nesta palestra, corresponde ao cloridrato de minociclina que é um antibiótico produzido pela indústria farmacêutica nacional e internacional e tipicamente usado para tratar pacientes com acne. Foi recentemente descoberto no DEQ um novo polimorfo deste antibiótico com novas propriedades, incluindo uma nova coloração (passou de amarelo para cor-de-laranja). Este novo polimorfo constitui a forma mais estável deste antibiótico, apresentando uma temperatura de fusão muito superior à sua forma que é comercializada. A Fig. 3 apresenta fotografias macroscópicas do novo polimorfo descoberto deste antibiótico (Fig. 3-a) e da sua forma comercial (Fig.3-b)

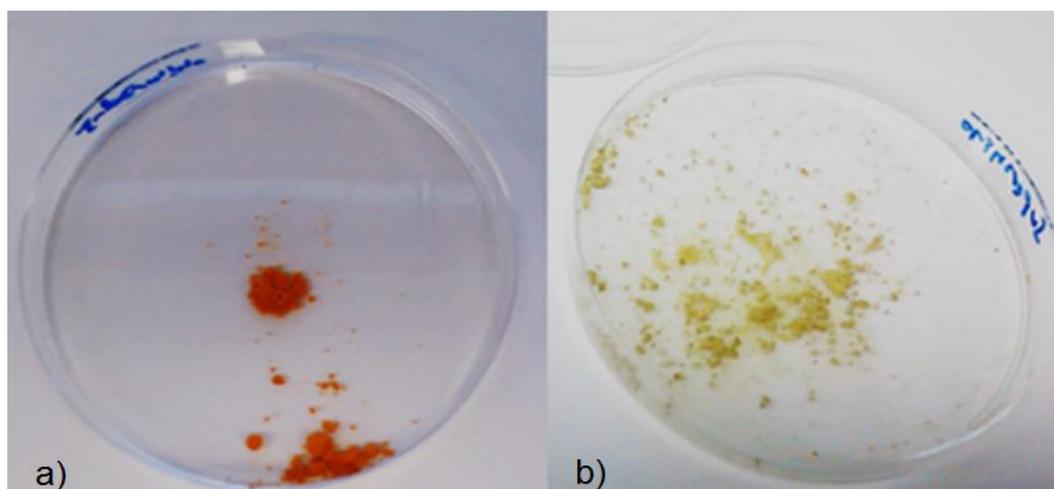


Figura 3 – Fotografias macroscópicas de diferentes formas cristalinas do antibiótico cloridrato de minociclina: a) novo polimorfo descoberto; b) forma comercial.

Outro *fármaco* que tem sido alvo da investigação científica praticada no DEQ é a teofilina. A teofilina é um *fármaco* broncodilatador tipicamente administrado a pacientes com asma e tem sido também investigada no DEQ. Este *fármaco* apresenta alguns problemas físico-químicos,

um deles sendo a rapidíssima dissolução em água e nos fluidos biológicos o que origina uma subida muito rápida dos seus valores plasmáticos assim que é administrado no corpo humano. No entanto, ao se associar as moléculas de teofilina com outras moléculas com estruturas complementares (e que preferencialmente estejam aprovadas para consumo humano) conseguiu-se formar cocrystalos de teofilina com diferentes morfologias de partículas e diminuir-se também a sua taxa de dissolução.

A Fig. 4 mostra fotografias de microscopia electrónica de varrimento da teofilina e dos cocrystalos de teofilina que foram formados.

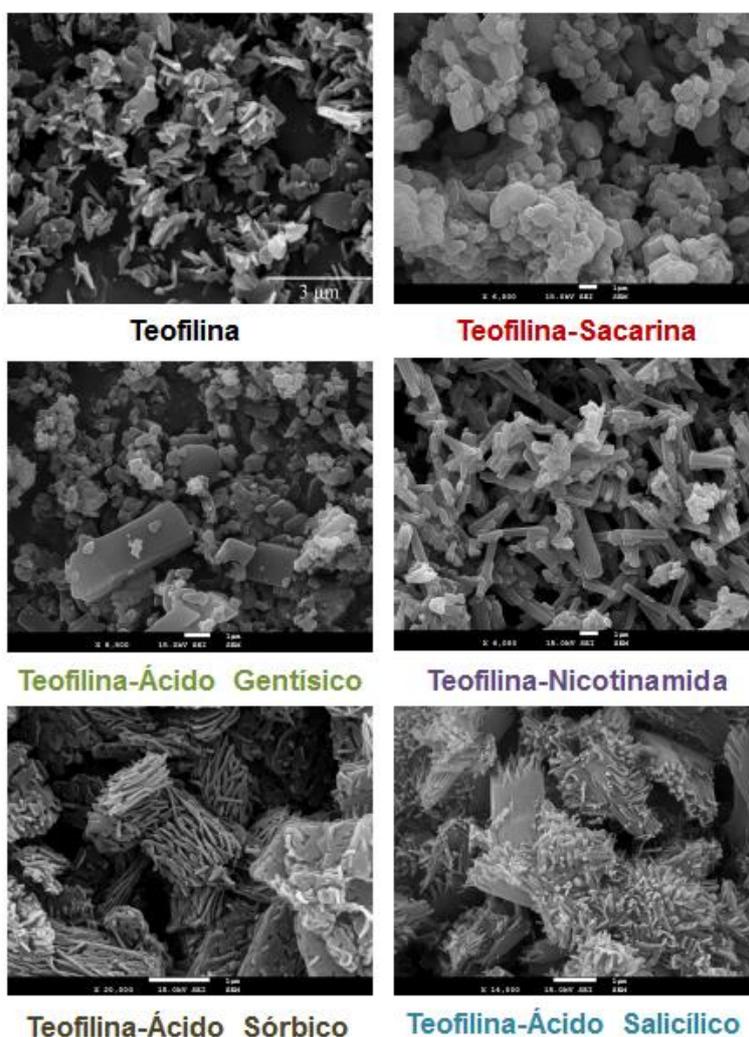


Figura 4 – Fotografias de microscopia electrónica de varrimento de teofilina e de cocrystalos de teofilina com outras substâncias.

A Fig. 5 mostra um gráfico que apresenta a taxa de dissolução da teofilina em tampão fisiológico (com características semelhantes aos fluidos biológicos) comparativamente com alguns cocrystalos de teofilina que foram formados no DEQ.

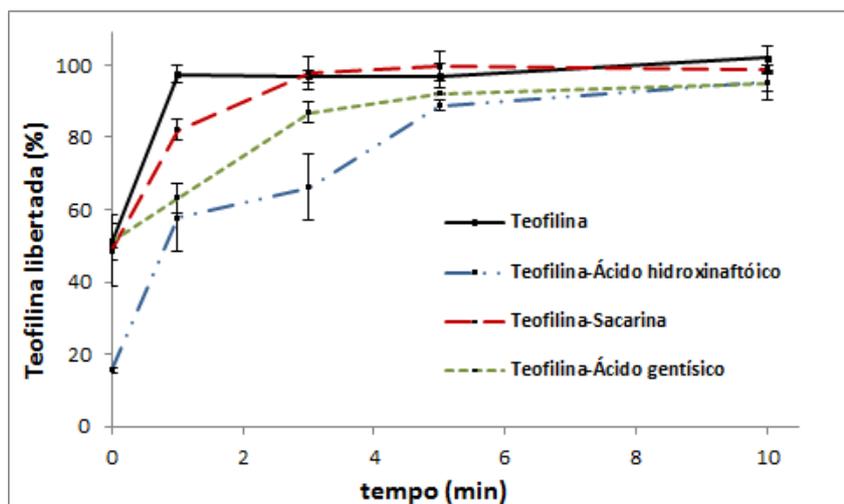


Figura 5 – Taxa de dissolução da teofilina e de cocristais de teofilina em tampão fisiológico.

A Fig. 5 mostra alguns cocristais de teofilina em que as suas taxas de dissolução são mais baixas que a da teofilina. Por exemplo, o cocristal teofilina-ácido gentísico dissolve três vezes mais lentamente nos fluidos biológicos do que a teofilina. Este exemplo mostra como é possível controlar-se determinadas propriedades físico-químicas de fármacos através do controlo da sua forma cristalina: formar cocristais de teofilina com outras substâncias que apresentem uma dissolução lenta faz com que os cocristais de teofilina também tenham uma dissolução lenta (significativamente mais lenta que a teofilina).

A investigação que se faz no Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico usa este conhecimento da engenharia de cristais e o uso de tecnologias inovadoras de ponta para a investigação, descoberta e produção de novos *fármacos*/medicamentos com propriedades melhoradas com vista à sua implementação na indústria farmacêutica.

## ***Se as Moléculas Falassem Umas com as Outras.***

Dulce Belo

Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10, Km 139,7, 2695-066 Bobadela LRS

Esta história poderia começar com o “Era uma vez” das fábulas tradicionais, onde animais falam e se exprimem, à semelhança de ti e de mim. No entanto a história aqui é outra, é a de pequenas moléculas inteligentes que comunicam entre si, que têm o seu próprio código, o seu alfabeto, toda uma tabela periódica e tantos átomos, tantas possibilidades de se combinarem entre si!

Cada molécula tem uma identidade própria, tem um nome. E essa identidade revela-se através, por exemplo, das interações que estabelece com as outras moléculas, suas vizinhas. Tudo na molécula a define e a condiciona na sua relação com as outras: o seu tamanho, a sua forma, os átomos que a constituem, como estão ligados entre si, se é neutra ou se tem carga positiva ou negativa. Se as estudarmos muito de perto e prestarmos atenção suficiente, nós os químicos, podemos com jeito e alguma criatividade, tentar perceber essa linguagem, e usar esse conhecimento para desenhar novas moléculas que falem a “língua” que nos interessa (para obtermos, por exemplo uma determinada propriedade física). A isto chama-se Engenharia Cristalina.

Neste seminário vou-vos falar sobre algumas moléculas muito especiais e que compõem os chamados Metais Moleculares. Há mais de vinte anos que tento entender a linguagem destas moléculas.

Como sabes uma das propriedades físicas mais conhecidas dos metais, e que lhe atribuímos automaticamente, é a sua capacidade de conduzir a eletricidade. Exemplos de metais são o ouro, a prata, o cobre, o ferro... Mas existem outros tipos de metais, a que chamamos Metais Moleculares, e que têm as mesmas propriedades de condução elétrica dos metais tradicionais. Digamos que são uma espécie de primos muito, muito afastados. Para além de apresentarem esta mesma propriedade física, estes Metais Moleculares “inteligentes” pouco ou nada têm em comum com os metais tradicionais. A grande diferença começa logo pelo facto dos metais tradicionais ou serem baseados em elementos puros ou nas suas ligas, enquanto estes são baseados em moléculas, muitas vezes orgânicas, que é como quem diz, baseadas na química do carbono. Para além disso são leves e muitas vezes transparentes,

propriedade alheia aos outros metais. Outra vantagem dos Metais Moleculares relativamente os tradicionais é, através da tal engenharia cristalina, podermos juntar à sua condutividade elétrica outras propriedades interessantes, como por exemplo o magnetismo.

Todas estas propriedades nos materiais moleculares advêm das interações das moléculas (da forma como as moléculas falam...) no estado sólido. Sempre. Aqui uma molécula sozinha não é nada!

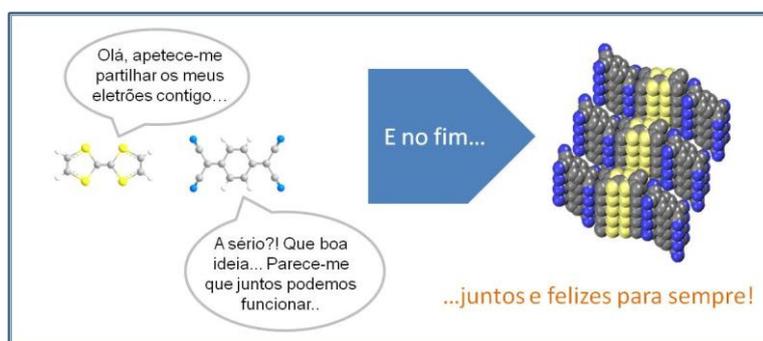


Figura 1: O encontro do TTF (do lado esquerdo) com o TCNQ (do lado direito). Juntos deram origem ao primeiro Metal Molecular, publicado em 1973.

Na Ciência, e na Vida em geral, é muito importante que olhemos com olhares novos para coisas antigas. Mudar de perspetiva pode revelar-se, muitas vezes, surpreendente. E foi isso que um senhor chamado McCoy fez, há mais de 100 anos.

Naquele tempo, todos os compostos orgânicos eram vistos obrigatoriamente como materiais isoladores, desprovidos de qualquer interesse elétrico e magnético. No entanto, em 1911 McCoy [1] postulou que materiais moleculares, baseados em moléculas orgânicas, poderiam exibir condutividades elétricas elevadas se “falassem” da forma certa umas com as outras. Foi preciso esperar mais de 40 anos para que se provasse que ele tinha razão e o primeiro composto orgânico onde foi observada uma condutividade elétrica elevada foi um brometo de perileno,  $\text{PerBr}_x$ , estudado por Akamatu [2], no início da década de cinquenta.

Desde então, foram preparados outros Materiais Moleculares Condutores, mas o TTF(TCNQ) [3], completamente caracterizado em 1973, foi o primeiro composto molecular com propriedades físicas típicas de um metal (como o cobre ou o ouro). O Primeiro Metal Molecular. Passados alguns anos, em 1980, nasceu o primeiro Supercondutor Molecular, o  $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$  [4], sintetizado pelo francês D. Jérôme.



Figura 2. Um condutor [5] e um supercondutor orgânico [6]: os átomos “amarelos” são enxofre, os cinzentos são carbonos, os brancos hidrogénios e os laranjas selénios.

Hoje são conhecidos, entre os materiais moleculares, milhares de metais e cerca de uma centena de supercondutores [7]. Uma das moléculas mais famosas é o ET, assim chamada porque é contemporânea do filme com o mesmo nome do Steven Spielberg (para conheceres este e os outros compostos dá uma espreitadela à Figura 3).

Nos finais dos anos 90 (e é aqui que eu entro nesta história...) a ideia de que era possível preparar um novo tipo de Metal Molecular baseado numa única espécie neutra, começou a ganhar forma. Até aqui todos os Materiais Moleculares conhecidos tinham por base duas moléculas, vinham sempre aos pares de moléculas, uma que doava eletrões e outra que os aceitava (voltar a ver a Figura 1). Trabalhar apenas com uma molécula é muito menos confuso, porque apenas temos que entender um tipo de linguagem. Foi já no virar deste novo milénio que os primeiros “Metais Moleculares Neutros” (foi assim que lhes chamámos) foram preparados, sendo os primeiros o  $\text{Ni}(\text{tmdt})_2$  [8] e o  $\text{Au}(\alpha\text{-tpdt})_2$  [9] (uma curiosidade: este último foi desenhado por mim, depois de falar com umas moléculas amigas...).

Muito recentemente foram dados os primeiros passos no processamento destes novos materiais, como componentes de dispositivos eletrónicos [10], fazendo assim “nascer” a *eletrónica molecular* (que quase parece um bom tema de filmes de ficção científica...)



Figura 3: O quadro de honra dos Metais Moleculares (MM). Na legenda as bolinhas a amarelo representam os átomos de enxofres, a cinzento os átomos de carbonos, a branco os átomos de hidrogénio, a azul átomos de azoto e a laranja os átomos de selénio.

Se aceites o convite, é nesta aventura pelo “Maravilhoso Mundo dos Metais Moleculares” que este seminário te convida a embarcar e no final, talvez, entendas melhor do que falam algumas moléculas...

#### Referências

- [1] H.N. McCoy, J.Am.Chem.Soc., 1911, 33,273
- [2] H. Akamatu, Nature, 1954, 173, 168
- [3] a) L.B.Coleman, Solid State Comm..., 1973, 12, 1125; b) J.P.Ferraris, J. Am.Chem.Soc., 1973, 95, 948
- [4] D.Jérome, J.Phys.Lett., 1980, 41, 95.
- [5] Imagem do carocha foi retirada de [http://espero\\_que\\_o\\_facebook\\_aceite.blogs.sapo.pt/290884.html](http://espero_que_o_facebook_aceite.blogs.sapo.pt/290884.html)
- [6] Imagem do carro de Formula 1 retirada de <http://newsexclusivo.com.br/papel-de-parede-de-carros-sport/papel-de-parede-de-carros-sport-formula-1/>

[7] a) J.M.Williams in *Organic Superconductors (including Fullerenes)*, R.N.Grimes, Ed. (Prentice-Hall, Englewoods Cliffs, NJ, 1992), pp. 1-400; b) P.Cassoux in *Chemistry of Advanced Materials, An Overview*, L.V.Interrante, M.J.Hampden-Smith, eds. (Wiley-VCH, New York, 1998), pp.19-72.

[8] H.Tanaka, Y.Okano, H.Kobayashi, W.Susuki, A. Kobayashi, *Science*

[9] D.Belo, H.Alves, E.B.Lopes, M.T.Duarte, V. Gama, R.T.Henriques, M.Almeida, A. Pérez-Benítez, C.Rovira, J.Veciana, *Chem. Eur.J.*, 2001, 7, 511.

[10] E. Laukhina, V. Lebedev, V. Laukhin, A. P. del Pino, E. B. Lopes, A. I. S. Neves, D. Belo, M. Almeida, J. Veciana, C. Rovira, *Org. Ele.*, 2012,13, 894–898.

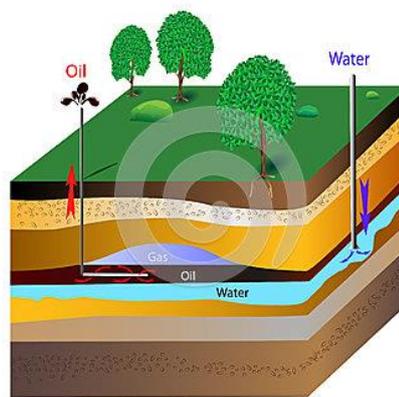
## Do Crude ao Plástico...Existem Tantos Processos Químicos!

André Alexandre Bravo Ferreira Vilelas

Direção de Olefinas; Repsol Polímeros, SA., Monte Feio Apartado 41, 7520-954 Sines.

Extrair hidrocarbonetos do interior da Terra é difícil, complexo e muito caro. E porquê? Principalmente porque os reservatórios estão a elevadas profundidades obrigando a efetuar perfurações que podem ir até ao 5km, como são, por exemplo, as recentes descobertas no Brasil na zona do pré-sal.

Quando se faz uma prospeção é possível determinar que tipo de hidrocarbonetos está disponível no poço. Pode ser crude, gás ou condensados. Prospeção porquê? Apenas se investe num poço quando a probabilidade de recuperar o dinheiro empregue é elevada e quase garantida. É como jogar numa “roleta russa” pois há inúmeros casos de exploração de poços que saíram secos. Para evitar estes desastres económicos uma importante área de investigação e desenvolvimento é a geologia, que associada aos processos físico-químicos, permite maximizar a produção de um determinado poço.



dreamstime.com

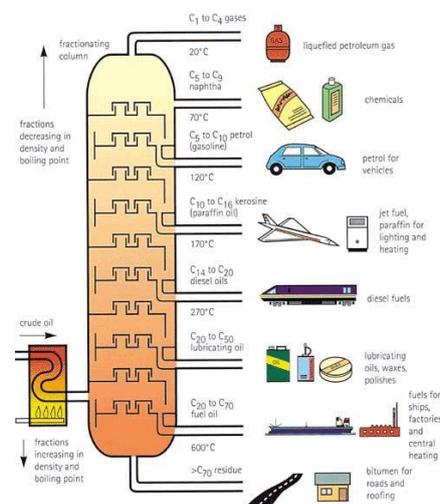
Mas o que se fazemos com o crude no dia-a-dia? Nós, enquanto consumidores, nada! Contudo dessa complexa mistura de compostos químicos é possível recuperar inúmeros produtos como a gasolina ou gasóleo que compramos diariamente nas bombas de combustível, o propano ou butano que usamos diariamente nas botijas de gás até aos mais diversos produtos petroquímicos do nosso dia-a-dia como são os inúmeros tipos de plásticos nas suas mais diversas aplicações, desde o simples saco de plástico, embalagens de detergentes, os nossos ténis de corrida, pacotes de leite e sumo, brinquedos dos mais pequenos ou as tubagens da água e do gás que estão por dentro das paredes lá de casa. São tão importantes e tão normais que nem damos conta da sua existência.

Contudo para que eles cheguem às nossas vidas é necessário que pessoas das mais diversas disciplinas, desde a geologia, mecânica, física, eletrotecnia, matemática, ambiente e claro, a química entre outras, trabalhem em conjunto e em equipa.

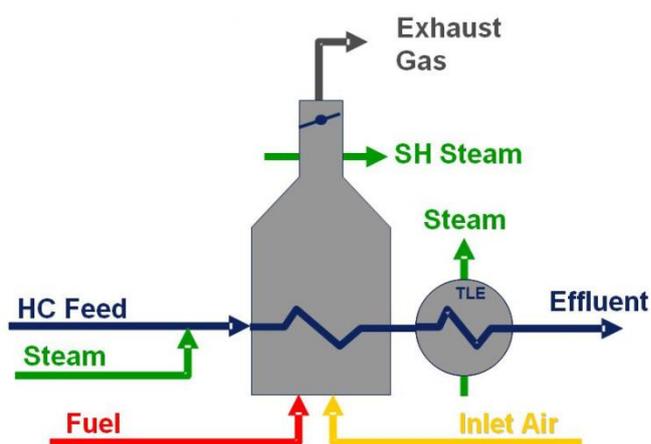
O químico e o engenheiro químico têm um papel central neste tipo de processos pois são o seu *core*. Eles têm a ideia, projetam, dimensionam, colocam em funcionamento, vivem e resolvem os problemas e encontram novas soluções otimizando continuamente.

Depois de extraído o crude tudo se inicia numa refinaria onde esta mistura é separada em várias frações. O processo químico na base desta separação é a destilação. É a diferença dos pontos de ebulição dos diversos cortes que determina, por família de compostos de carbono, o rendimento de determinado crude em gasolina, gasóleo, butano, propano, fuelóleo, nafta química, *jet* (combustível dos aviões) ou solventes.

Esta separação ocorre numa coluna de destilação que funciona em contínuo. No seu interior ocorrem fenómenos físicos e químicos. Hidraulicamente existe uma corrente líquida que desce ao longo da coluna e uma gasosa que ascende. Nas diversas etapas de separação, os pratos, as duas fases estão em equilíbrio químico. O perfil de temperatura provoca a ascensão das frações mais leves e de menor ponto de ebulição. As frações mais pesadas, com maior densidade naturalmente vão para o fundo sendo o seu ponto de ebulição mais elevado. Para o mundo dos plásticos, nomeadamente aquele de maior produção mundial, o polietileno, as frações mais relevantes são a nafta e os GPL (Gases de Petróleo Liquefeitos; propano e butano).



Estas correntes alimentam as unidades de *Steam Cracking*. Aqui a nafta (ou LPG) é vaporizada e aquecida a 600-700°C. A esta temperatura iniciam-se as reações de *cracking* (ou pirólise) sendo a temperatura final destes reatores entre 800-870°C.

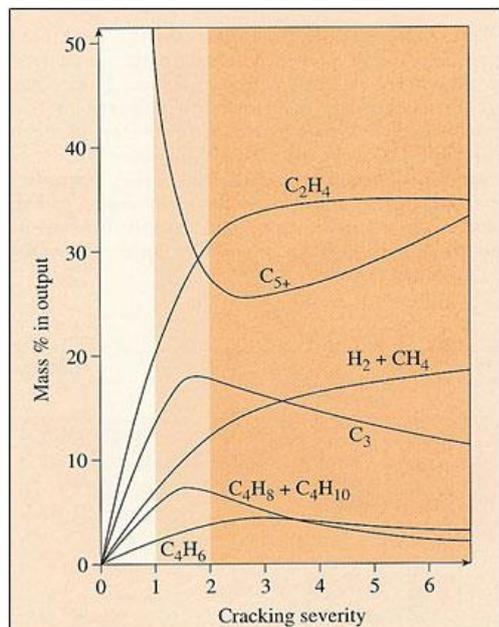


Para atingir esta temperatura é necessário fornecer energia sob a forma de combustível. Se assim é torna-se evidente que a reação é endotérmica. Para uma reação química na fase gasosa e endotérmica, o que nos diz o princípio de *Le Chatelier*? Num equilíbrio químico é favorecida a reação direta para pressões parciais baixas. E por essa razão se baixa a pressão

parcial da nafta e como? Adicionando vapor de água (*steam*) e é isto que dá o nome ao processo químico de *Steam Cracking* para produção de etileno (eteno) que é o monómero de base à produção do polietileno.

As reações químicas são complexas. Para se ter uma ordem de grandeza um reator químico para pirólise pode ter cerca de 90m de comprimento (tipo serpentina) e 2-4" de diâmetro.

Neste volume ocorrem em cerca de 0,1-0,5s cerca de 7000 reações radiculares, entre os 700 e os 870°C.



As velocidades de reação são diferentes, as reações são muitas delas reversíveis e sendo um reator volumétrico, o número de moles aumenta com a velocidade de reação. A velocidade de saída do gás do reator pode atingir os 220 m/s, nada mais nada menos que 800 km/h.

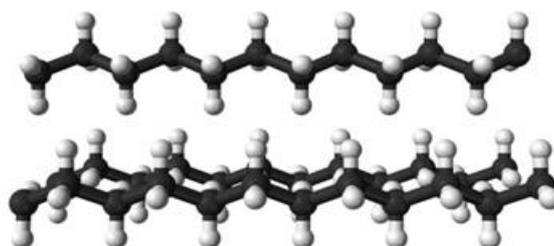
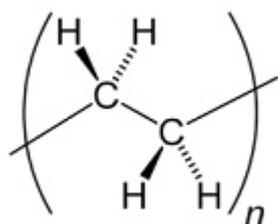
A mistura resultante é composta por inúmeros compostos químicos, dos quais para a indústria de plástico, são mais relevantes e de maior valor acrescentado o etileno e o propileno, que por polimerização, originam respetivamente o polietileno e o polipropileno.

Esta mistura, a que se dá o nome de *gás bruto*, é sujeita a uma série de variações de pressão, temperatura, composição e caudal que permite, através de transições termodinâmicas obter variações tais de energia por estar inserido num ciclo de frio que os compostos menos leves que o hidrogénio, além de reações químicas de hidrogenação, são liquefeitos e separados por absorção, *stripping* e destilação.

Qual é a diferença então entre absorção/*stripping* e a destilação? Enquanto a força motriz na destilação é a diferença de volatilidade na absorção/*stripping* é a diferença de concentração na transferência de massa entre as fases líquida e gasosa.

Obtém-se assim um produto final etileno monómero com 99,95% de pureza denominado etileno grau polímero dada a sua elevada pureza.

O polietileno é um polímero, uma macromolécula de elevado peso molecular que resulta da união química de uma série de monómeros (etileno, neste caso) que dependendo da sua estrutura molecular confere diferentes propriedades ao polímero.



O etileno monómero, dependendo da aplicação, pode ser polimerizado de diversas formas dando origem a vários produtos e com inúmeros *grades*.

Entre os mais comuns tem-se o PEAD, o PEBD, o PEL, o EBA ou o EVA.

O PEAD, **PoliEtileno de Alta Densidade**, é obtido por polimerização a baixas pressões e em solução, entre outros, por processo *slurry* num solvente como o hexano em que a polimerização do etileno se faz em solução e suspensão.

O PEBD, **PoliEtileno de Baixa Densidade**, é obtido a elevadas pressões e em condições supercríticas (acima do ponto triplo) na casa dos 2000 bar.

A diferença entre os dois é o grau de ramificação de cadeia pois as propriedades mecânicas mudam drasticamente a reestruturação química da macromolécula. O PEAD, por exemplo, é mais cristalino que o PEBD devido à menor ramificação de monómero. É essa sua característica molecular que lhe confere maior densidade, isto é, maior massa por unidade de volume.

Quando se requerem propriedades específicas e aqui somos nós enquanto clientes finais dos produtos que “obrigamos” a indústria, as universidades, o negócio a desenvolver e a inovar surgem adaptações e otimizações, não só energéticas ou de custos, mas também moleculares. É o caso dos copolímeros EBA e EVA, que são polietileno mas com inserção de outras moléculas na sua estrutura molecular: Butilacrilato no EBA e Vinilacetato no EVA ou PEAD com buteno ou hexeno ou ainda PEBDL (Linear PEBD).

Com isto quer-se melhorar propriedades óticas, mecânicas, reológicas entre outras: tudo depende do cliente final, de nós todos.

E quem está na vanguarda de tudo isto?

São os químicos e os engenheiros químicos. Qual é então a grande

diferença? Em que se focam os engenheiros químicos em todos estes processos?

Um engenheiro gosta de responder a perguntas como: *How to do it? How to solve it? How to overcome this problem?* Os engenheiros são *problem solvers*...

O ciclo inicia-se numa necessidade. Se o mercado tem uma lacuna existe uma oportunidade de negócio. Surge a ideia e o plano de desenvolvimento. Não é fácil e muitas vezes demora anos, décadas até que uma ideia chegue à fase industrial. Uma muito elevada percentagem não chega sequer a sair do papel mas ajuda-nos a compreender melhor a realidade que nos rodeia e a desenvolver novas ideias. A investigação é isso mesmo: o procurar constante de inovar e encontrar melhores produtos, processos e meios.

Industrializar um processo ou produto significa torna-lo vendável e rentável. Para isso é necessário melhorá-lo constantemente. Otimização é a essência de um engenheiro químico. É a sua busca pela superação no dia-a-dia. Essa busca nunca acaba. Numa fábrica há sempre algo para melhorar, há sempre um problema que não tem solução aparente, há sempre uma explicação embora muitas vezes não a consigamos entender no imediato. Nunca nos podemos esquecer que a fábrica, o processo, a química tem sempre razão por mais teimosos



que queiramos muitas vezes ser ou pelo facto das variáveis que temos ao nosso dispor digam outra coisa. Cabe-nos entender o que o processo nos diz.

Vejamos então o caso do PoliEtileno (PE). Foi descoberto por mero acaso em 1898 pelo químico Hans von Pechmann. Contudo, industrialmente só em 1933 foi novamente sintetizado, mais uma vez por acaso, por Eric Fawcett and Reginald Gibson na ICI. Só mesmo em 1935 foi possível reproduzir a descoberta de 1933. A produção industrial de PEBD iniciou-se em 1939. Em plena II Guerra Mundial, expandiu-se a sua aplicação na área de telecomunicações (revestimento de cabos) e depois, devido à sua elevada resistência em comparação com o peso que, por questões energéticas (necessidade), passou a ser produzido em larga escala. A sua aplicação nos meios de transporte permitia reduzir o peso dos mesmos, aumentar a eficiência do combustível entre outros pontos-chave.

Assim, estamos desde 1939, ou seja, há 75 anos a trabalhar e a otimizar esta molécula que ainda não conhecemos em detalhe e que tantas oportunidades de evoluir nos continua a oferecer diariamente.

E com o público cada vez mais exigente é fundamental que estejamos à altura de nos superarmos. Isto consegue-se com esforço, querer, conhecimento e dedicação pois as aplicações não param de aumentar. Só temos de entender o PE e moldá-lo ao dia-a-dia...



## **Neutralização de Pesticidas e Armas Químicas. Novos Métodos para Velhas Moléculas!**

Marta Ramilo Abrantes

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

Um pesticida é qualquer substância ou mistura de substâncias que tem como objetivo prevenir, destruir, afastar ou mitigar pragas. São consideradas pragas: insetos, animais, ervas daninhas, fungos, bactérias, vírus ou príões que sejam nocivos para culturas agrícolas,



animais ou para o Homem. Apesar dos pesticidas terem “*má fama*” devido à sua toxicidade, a verdade é que são um pilar fundamental na agricultura moderna garantindo o acesso à alimentação a milhões de pessoas. Os pesticidas são também decisivos no combate a doenças transmitidas por pragas (como, por exemplo, a malária).

Para além disso, os pesticidas são comumente usados em jardins (para combater ervas daninhas), em casas (por exemplo, para combater ratos) e animais domésticos (por exemplo, anti-pulgas). Nos últimos anos, e reconhecendo, o perigo dos pesticidas, os cientistas têm desenvolvido novos produtos de base química e biológica que combatem as pragas com muito menor risco para os humanos. Paralelamente, o uso de alguns pesticidas foi banido por diversas entidades reguladoras. No entanto, os pesticidas mais utilizados em todo o mundo continuam a ser pesticidas de gerações antigas (os pesticidas organofosforados) com toxicidade menos grave que os pesticidas banidos, mas ainda assim, muito tóxicos e responsáveis por um elevado número de intoxicações agudas e crónicas. Estima-se que se registem anualmente, pelo menos 200.000 mortes associadas aos pesticidas deste tipo.

As armas químicas são dispositivos desenvolvidos propositadamente para eliminar ou incapacitar seres humanos fazendo uso de substâncias químicas. Não devem ser confundidas com armas biológicas que fazem uso de agentes patogénicos que provocam doenças letais (por exemplo, antrax). As armas químicas são geralmente classificadas de acordo com os efeitos que provocam, que



estão intimamente relacionados com a sua estrutura química. Um dos grupos mais importantes dentro das armas químicas são os agentes neurotóxicos, que incluem exemplos como, o gás Sarin ou o gás VX. As armas químicas são utilizadas em conflitos armados e atentados terroristas e fazem parte do arsenal militar de muitos países. Felizmente, os ataques perpetrados com armas químicas não são comuns (o último triste exemplo, aconteceu na Síria em 2013). No entanto, pelo perigo que colocam atraem naturalmente a atenção de todos, e especialmente dos *media*.

Os pesticidas organofosforados e as armas químicas neurotóxicas estão intimamente relacionados partilhando semelhanças estruturais. Nos anos 30, químicos alemães que tentavam desenvolver novos pesticidas do tipo organofosforado, obtiveram uma molécula



extremamente tóxica, que batizaram de Tabun, e que foi rapidamente aproveitada para aumentar o arsenal militar disponível. Os pesticidas organofosforados e as armas químicas neurotóxicas partilham o mecanismo pelo qual provocam toxicidade. Em ambos os casos, o agente entra no organismo (por inalação, ingestão ou contacto com a pele) e bloqueia uma enzima vital para o funcionamento do sistema nervoso causando a incapacitação ou morte do alvo.

Ao longo dos tempos muitas têm sido as estratégias para mitigar os efeitos destas moléculas com quase 100 anos. Uma das formas de inativar estas moléculas é parti-las em dois blocos, através de uma reação com água (hidrólise). Curiosamente, os produtos desta reação (os tais dois blocos) são pouco ou nada tóxicos. Espontaneamente, esta reação é muito lenta mas se adicionarmos um promotor ou catalisador podemos acelerar esta reação. Aqui no IST estamos a contribuir para o esforço coletivo da inativação de pesticidas organofosforados e de armas químicas neurotóxicas, desenvolvendo novos promotores e/ou catalisadores biocompatíveis.



## ***E os Átomos? Vêem-se?***

Patrícia Almeida Carvalho

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

### **Os átomos**

Os átomos são a unidade básica da matéria e consistem num núcleo central de carga positiva envolto por uma nuvem de eletrões de carga negativa. São entidades minúsculas cujo diâmetro é de apenas algumas décimas de nanómetro e quase toda a sua massa está concentrada no núcleo, constituído por protões e neutrões [1]. Cada elemento químico tem um número fixo de protões e um número variável de neutrões, sendo este último o que distingue os seus vários isótopos. Os eletrões distribuem-se por um conjunto de níveis energéticos formados por orbitais atómicas, podendo transitar entre elas ao absorver ou emitir energia. Os eletrões definem por isso as propriedades químicas e elétricas de um elemento.

O núcleo ocupa um espaço reduzido o que o faz ser muito denso (vê este filme para ficares com uma ideia de quão pequeno é o átomo e de quão mais pequeno ainda são os núcleos: <http://ed.ted.com/lessons/just-how-small-is-an-atom>). Por outro lado, os eletrões são tão pequenos que podem ser considerados partículas pontuais, isto é, sem volume [2]. Isto faz com que o tamanho de um átomo isolado não possa ser medido porque não é possível determinar a localização dos eletrões que rodeiam o seu núcleo. Pode, no entanto, estimar-se o tamanho de um átomo assumindo que o seu raio é metade da distância entre átomos adjacentes num sólido. Esta técnica de medir o raio atómico baseia-se no estudo da interação de raios-X com os materiais e é mais adequada para os metais, que formam sólidos constituídos por empilhamentos organizados e periódicos de átomos do mesmo tipo. Por essa razão, os resultados destas medições são conhecidos como raios metálicos.

Ora se o núcleo é tão pequeno e os eletrões não têm volume, os átomos são essencialmente espaço vazio. Como podemos então vê-los? De facto, os átomos não se vêem diretamente, mas indiretamente através de efeitos que causam e a sua observação só é possível com recurso a instrumentos apropriados, como o microscópio de efeito de campo, o microscópio eletrónico de transmissão e o microscópio de efeito de túnel.

### Microscópio de efeito de campo

O microscópio de efeito de campo foi inventado por Mueller em 1951 na Universidade da Pensilvânia [3]. Este instrumento, que permitiu a observação de átomos pela primeira vez, consiste numa câmara de vácuo ultra elevado dentro da qual se encontra a amostra sob a forma de uma ponta afiada, carregada positivamente e arrefecida a temperaturas criogénicas (20 a 100 K) (Figura 1). Durante a observação é admitido na câmara um gás, tal como hélio ou argón, cujos átomos são polarizados na vizinhança da amostra devido ao campo de alta tensão. Após uma série de colisões com a amostra, durante as quais os átomos de gás perdem parte da sua energia cinética, estabilizam devido à temperatura criogénica da amostra. Quando o campo é suficientemente alto, estes átomos de gás acabam por ser ionizados e os iões produzidos são então radialmente atraídos em direção ao ecrã, que se encontra ao potencial da terra, onde formam uma imagem da superfície da amostra.

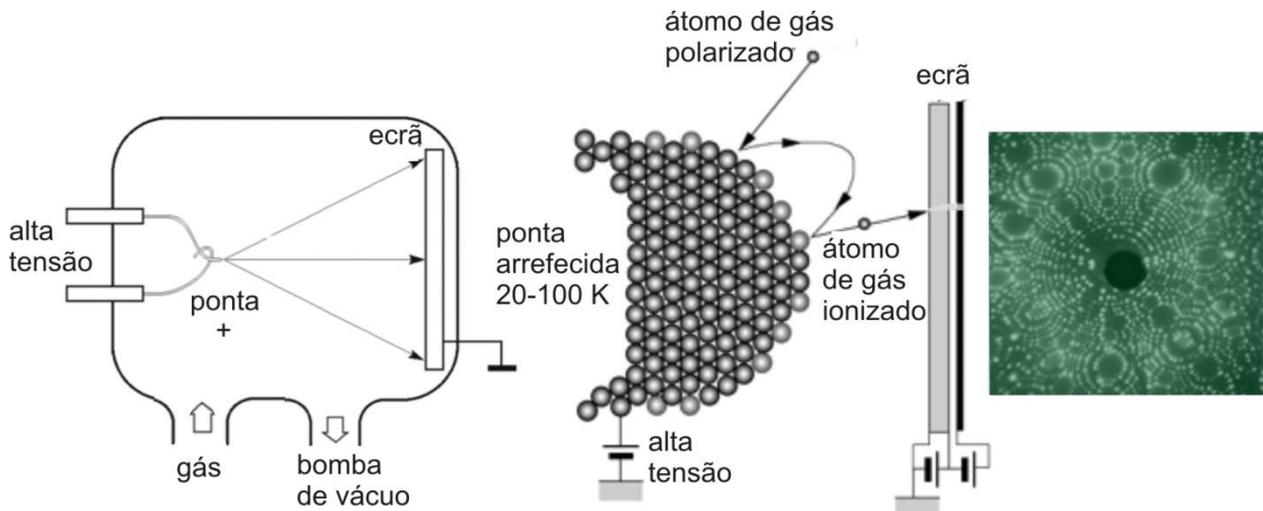


Figura 1 - Princípio de funcionamento do microscópio de efeito de campo.

### Microscópio eletrónico de transmissão

Na microscopia eletrónica de transmissão um feixe de eletrões é transmitido através de uma amostra ultrafina. Os eletrões são dispersados pela amostra, que funciona com uma rede de difração. A imagem, que na realidade é um padrão de interferência dos feixes resultantes da interação do feixe primário com a amostra, é ampliada e focada por lentes eletromagnéticas (bobines) num ecrã fluorescente ou sobre uma câmara CCD.

O primeiro microscópio eletrónico de transmissão foi desenvolvido na Siemens por Ruska. Estes instrumentos, que têm um princípio de funcionamento semelhante aos microscópios óticos de luz transmitida, possuem uma resolução significativamente mais elevada devida ao

comprimento de onda pequeno dos elétrons quando comparado com o comprimento de onda da luz visível [4]

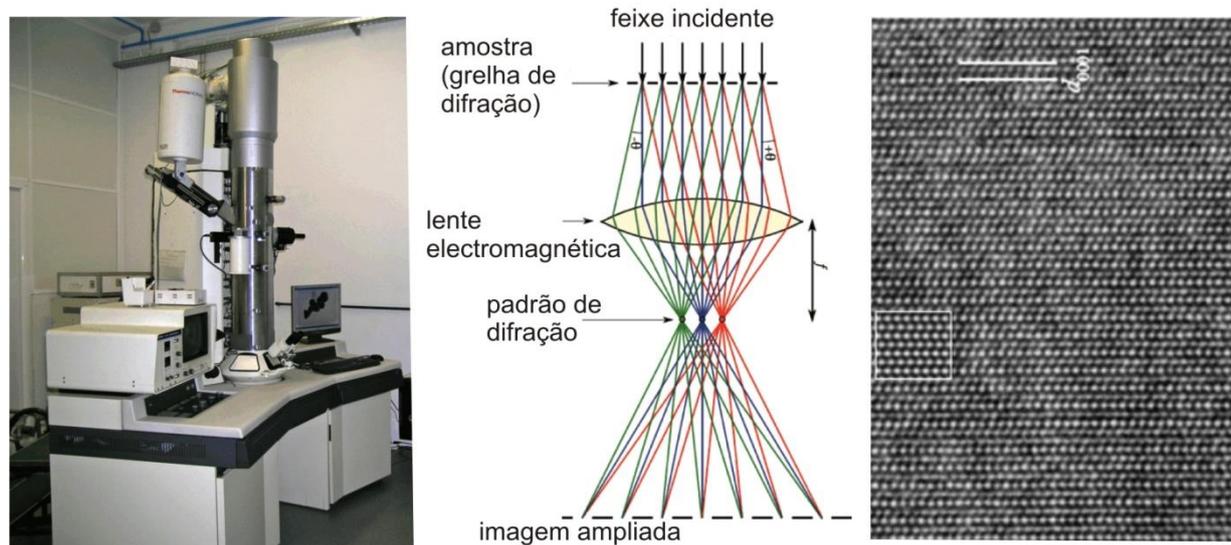


Figura 2 – Princípio de funcionamento do microscópio eletrônico de transmissão.

### Microscópio de efeito de túnel

O efeito de túnel aparece entre duas superfícies quando, na presença de uma diferença de potencial, estas se encontram separadas por vácuo ou por um material isolante de espessura suficientemente fina, que constitui uma barreira de potencial entre as superfícies. Os elétrons na superfície a potencial negativo serão atraídos para a superfície a potencial positivo e, apesar de a mecânica clássica estipular que os elétrons não poderão atravessar a barreira, a mecânica quântica, prevê que estas partículas possam, com uma certa probabilidade, cruzar o material isolante ou a distância que separa as duas superfícies como que através de um túnel. A corrente resultante é uma função da distância, da tensão aplicada e da configuração eletrônica dos átomos (função de onda) nas duas superfícies [5].

O microscópio de efeito de túnel, inventado em 1981 por Binnig e Rohrer, permite obter imagens de átomos individuais na superfície de um metal, aproveitando a relação entre a corrente de túnel e a distância que separa a superfície da amostra de uma ponta condutora. Quando a ponta se move a uma distância reduzida da superfície da amostra, a medição da corrente permite determinar a configuração atômica da superfície (Figura 3). Alternativamente, pode impor-se ao sistema que funcione com uma corrente constante, sendo a distância constantemente ajustada durante o varrimento. Estes pequenos ajustes podem ser medidos

fornecendo a “topografia” atômica da superfície. Os resultados são geralmente obtidos na forma de imagem (varrimentos em x e y). A técnica exige que se trabalhe em vácuo e requer superfícies extremamente limpas e estáveis, pontas afiadas, controle de vibrações e eletrônica sofisticada.

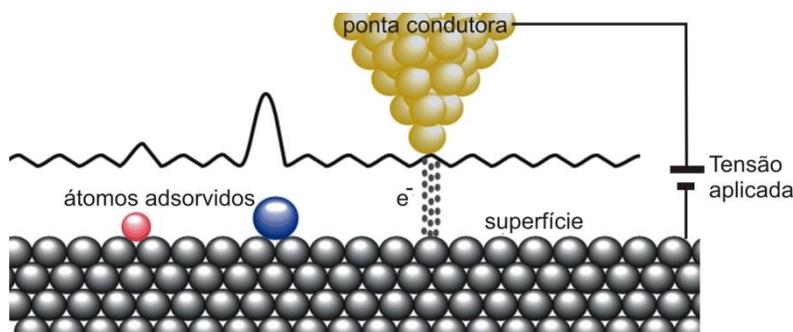


Figura 3 – Princípio de funcionamento do microscópio de efeito de túnel.

### Observações finais

Por permitirem observar o mundo à escala atômica este tipo de instrumentos é de grande importância para o campo da nanotecnologia. Como reconhecimento dos grandes avanços que estas técnicas proporcionaram à ciência e à engenharia em 1986 foi atribuído a Ruska, Binning and Rohrer o prémio Nobel.

### Referências

- [1] Atkins, P.W., Overton, T, Rourke, J., Weller, M. and Armstrong, F., Shriver and Atkins inorganic chemistry (4th edition) 2006 (Oxford University Press) ISBN 0-19-926463-5.
- [2] Curtis, L.J. (2003). Atomic Structure and Lifetimes: A Conceptual Approach. Cambridge University Press. p. 74. ISBN 0-521-53635-9.
- [3] Mueller, E. W. and Tsong, T.T., Field Ion Microscopy - Principles and Applications, American Elsevier, New York, 1969.
- [4] Williams, David B.; Carter, C. Barry (1996). Transmission electron microscopy: A textbook for materials science. New York: Plenum Press. ISBN 0-306-45324-X.
- [5] Taylor, J. (2004). Modern Physics for Scientists and Engineers. Prentice Hall. p. 479. ISBN 013805715X.

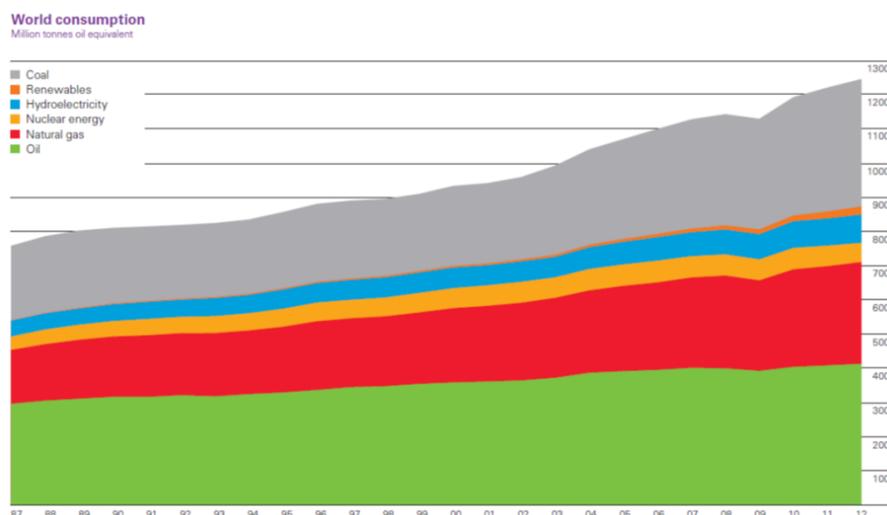
## VER – e do Lixo se Faz Energia

Maria Amélia Lemos, Francisco Lemos

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

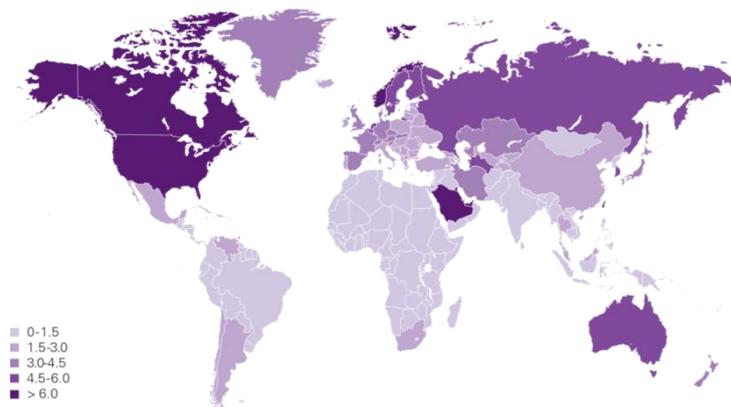
### A Energia

A sociedade humana tem vindo a aumentar rapidamente as suas necessidades energéticas globais. Por um lado o desenvolvimento da sociedade e a melhoria das condições de vida das populações em geral tem implicado um aumento das necessidades em termos de fornecimento de energia a todos os níveis – transportes, indústria, consumo doméstico, etc. Por outro lado, esta melhoria das condições de vida teve também como consequência um aumento muito rápido da população, que ronda neste momento os 7 mil milhões de pessoas. Uma grande parte das necessidades energéticas da população são asseguradas pelos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural), como se pode ver pelos dados apresentados na figura 1, o que tem aumentado a concentração de dióxido de carbono na atmosfera, assunto que tem gerado um aceso debate.



**Figura 1** – Evolução do consumo de energia fonte primária [1].

Olhando para a figura 1 podemos ver que este problema não será fácil de resolver no curto prazo, não só porque ainda há relativamente pouca energia produzida a partir de fontes renováveis, mas também porque se espera que o consumo venha a aumentar muito, tendo em conta a existência de grandes áreas do planeta que consomem, por enquanto, pouca energia, como se pode ver na figura 2.

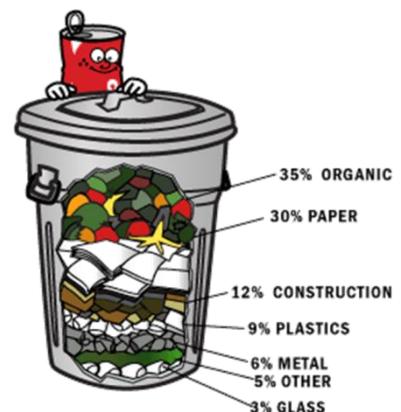


**Figura 2** – Consumos *per capita* de energia total em 2012 [1]. Valores apresentados em toneladas de óleo equivalente por pessoa e por ano.

Para resolver este problema é importante tomar ações a vários níveis, mas isso é uma outra história. No entanto, é claro que é importante que se diversifiquem as fontes de energia e que se aproveite ao máximo as fontes existentes, incluindo as matérias-primas secundárias, que são os resíduos. Vamos assim falar da **Valorização Energética de Resíduos – V.E.R.**

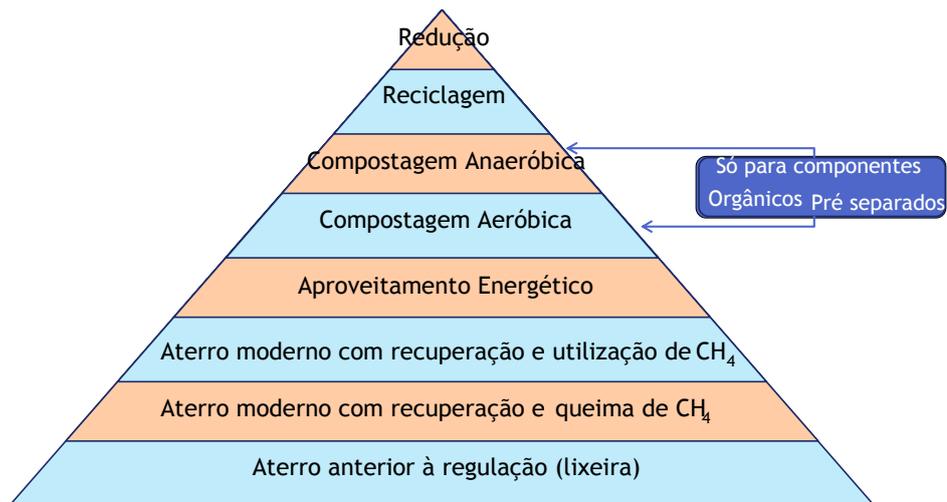
## Os Resíduos

Outro aspeto intimamente ligado à sociedade moderna é o aumento da quantidade de resíduos que são produzidos. Este aumento da quantidade de resíduos ocorre em grande parte devido ao aumento da população mas também está relacionado com o aumento da qualidade de vida. Em particular, observa-se que há um aumento significativo, por exemplo, da quantidade de plástico nos resíduos urbanos à medida que aumenta o nível de vida. Os resíduos, em particular os resíduos urbanos, contêm uma grande variedade de componentes; na figura 3 está, a título de exemplo, a composição no Reino Unido.



**Figura 3** - Composição aproximada dos resíduos no Reino Unido [2].

A gestão destes resíduos é de grande importância para a vida de todos os dias, como se vê quando há algum problema que impede a recolha de lixo numa cidade, e não só ao nível da recolha mas também com o destino final. Daí que cada vez mais haja uma preocupação com a correta gestão de resíduos, ocorrendo as ações necessárias a vários níveis – **Redução** da quantidade de resíduos, **Reutilização** sempre que possível, e **Reciclagem**, são as principais frentes de ataque, mas a gestão integrada implica uma grande variedade de outras possibilidades, que estão identificadas na pirâmide da figura 4 que representa a hierarquia da gestão de resíduos.



**Figura 4** – Hierarquia da Gestão de resíduos [3].

De notar que muitas das frações dos resíduos têm um conteúdo energético elevado, quer direto quer após tratamento adequado, pelo que a opção de aproveitamento energético é algo que pode ser considerado como particularmente atrativo. Entre estas frações incluem-se, os plásticos, o papel, a madeira e muitos dos resíduos orgânicos.

### **Valorização Energética de Resíduos**

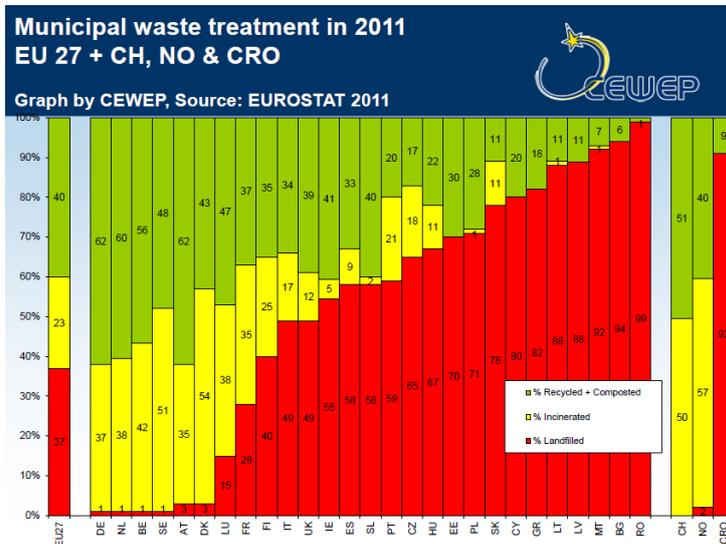
O aproveitamento energético pode ser feito por diversas formas e tem uma grande quantidade de vantagens. Por um lado, qualquer utilização dos resíduos permite uma redução muito substancial da quantidade de resíduos a enviar para aterros; por outro lado este reaproveitamento permite obter dos resíduos matérias-primas com elevado valor acrescentado, desde combustíveis a metais, etc...

O aproveitamento energético permite já em muitos casos cobrir algumas necessidades energéticas das populações, em particular na Europa, obtendo-se poupanças significativas na utilização de combustíveis fósseis e reduzindo a emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Se bem que se possa notar que uma parte não desprezável dos resíduos é oriunda do petróleo, nomeadamente os plásticos, pelo que não podem ser considerados neutros em termos de emissões de CO<sub>2</sub>, há também uma grande fração oriunda de biomassa (madeira, papel, restos de alimentos) que, na prática, reduzem estas emissões.

O que podemos fazer para aproveitar os resíduos para produção de energia? Há várias opções, muitas delas já em funcionamento:

- ✓ Aproveitamento da energia por incineração direta – existem no espaço Europeu mais de 400 unidades de incineração de resíduos que gera energia elétrica e energia térmica para cobrir as necessidades das populações locais. Em alguns países a taxa

de incineração de resíduos é já bastante elevada [4], se bem que em Portugal a situação ainda tenha uma grande margem para melhorar, como se pode ver na fig. 5.



**Figura 5** – Tratamento de resíduos sólidos urbanos na União Europeia em 2011 [4].

- ✓ Produção de combustíveis sólidos derivados de resíduos (designados por CDR) que possam ser utilizados na indústria.
- ✓ Produção de combustíveis líquidos que possam ser utilizados nos transportes e na indústria – a pirólise e gaseificação são tecnologias que existem desde o início do século XX, e que já foram mesmo utilizadas em grande escala, se bem que não a partir de fontes renováveis. Já existem muitas unidades a funcionar e o seu aumento é expectável nos próximos anos.
- ✓ Produção de metano em aterros – o metano é produzido durante a decomposição de resíduos orgânicos e pode ser recuperado e utilizado como combustível. Este metano, designado por Biogás, é semelhante ao Gás Natural e pode ser utilizado para produzir eletricidade.

O potencial para o aproveitamento da energia contida nos resíduos é muito elevado e é importante que desenvolver as tecnologias necessárias, bem como sensibilizar a população para melhorar todo o ciclo que leva à geração de resíduos, em particular a sua separação.

## Referências

[1] – BP Statistical Review of World Energy June 2013 (<http://www.bp.com/>)

[2] – <http://www.recycling-guide.org.uk/>

[3] – “Waste to energy conversion technology”, N.B. Klinghoffer and M.J. Castaldi Eds., Woodhead Pub., 2013, Cambridge.

[4] - [www.cewep.eu](http://www.cewep.eu) - página da Confederation of European Waste to Energy Plants.

# Os Desafios da Produção de Petróleo no Mar

Marta S. P. Silva

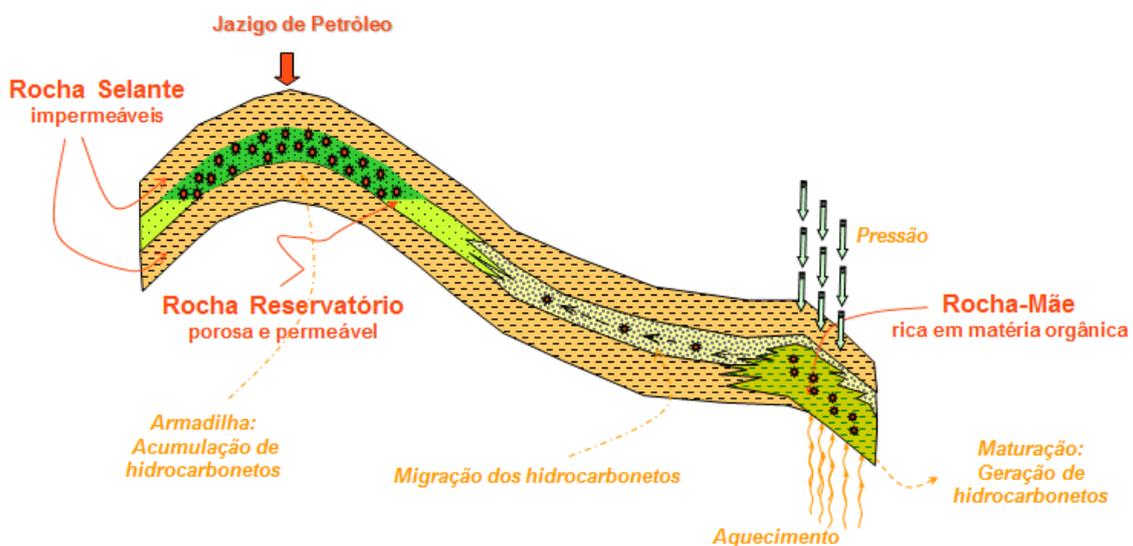
Galp Energia, Rua Tomás da Fonseca, 1600-209 Lisboa, Portugal

## 1. O petróleo

O petróleo é uma mistura de centenas de compostos orgânicos (essencialmente hidrocarbonetos, i.e. compostos constituídos fundamentalmente por carbono e hidrogénio, e com pequenas quantidades de outros elementos, tais como enxofre e azoto), que se forma a partir da decomposição da matéria orgânica (proveniente de plantas e/ou animais), a elevadas pressões e temperaturas e em condições anaeróbias.

Em condições normais de temperatura e pressão, esta mistura de hidrocarbonetos pode apresentar-se em estado gasoso (quando constituída essencialmente por moléculas de baixo peso molecular), líquido ou sólido (asfaltos e betumes), sendo frequente ocorrências mistas. O petróleo bruto em estado líquido é viscoso, tem densidade inferior à da água e apresenta uma cor escura (normalmente entre o castanho e o preto).

A composição da mistura de hidrocarbonetos, que define o tipo de petróleo, é determinada pela constituição da matéria orgânica original e pela intensidade do processo térmico atuante sobre ela. Para que ocorra acumulação de petróleo no interior da terra é necessário que, após o processo de geração (na rocha-mãe), ocorra migração e que esta tenha o seu caminho interrompido pela existência de algum tipo de armadilha geológica (rocha selante).



Sistema petrolífero.

Após ter sido gerado e ter migrado, o petróleo acumula-se eventualmente numa rocha-reservatório, que pode ter diferentes origens mas que deve apresentar necessariamente duas

características para que a sua produção seja viável: porosidade (apresentar espaços vazios no seu interior) e permeabilidade (interligação entre os espaços vazios da rocha). A figura anterior esquematiza o processo de geração, migração e acumulação de petróleo nos reservatórios.

A partir de estudos sísmicos geológicos e geofísicos é possível inferir a localização provável de rochas com características propícias para a formação e acumulação destes hidrocarbonetos. Só depois de se efetuar um poço exploratório é que é possível confirmar a presença de hidrocarbonetos e determinar a viabilidade económica do desenvolvimento de um determinado campo.

Após a descoberta de um campo petrolífero com viabilidade económica, este é desenvolvido de modo a garantir a continuidade da produção ao longo de toda a vida do campo.

## **2. A produção de petróleo**

A indústria do petróleo e do gás pode ser dividida, fundamentalmente, em duas grandes áreas: o *upstream* e o *downstream*. O *upstream* contempla toda a atividade de prospeção, exploração, produção e processamento primário de fluidos. No *downstream* o petróleo é processado nas refinarias por forma a se obterem produtos finais, tais como, a gasolina e o gasóleo, e outros produtos intermediários que são posteriormente enviados para outras indústrias, como por exemplo, indústrias de plásticos, tintas ou vernizes.

A refinação de petróleo é tradicionalmente uma das principais áreas de atuação da engenharia química e da engenharia de processos, quer ao nível do desenho, quer ao nível da operação. No entanto, o papel da engenharia química estende-se ao longo de toda a cadeia da indústria do petróleo e do gás. Percorrendo o percurso desde o reservatório de petróleo e/ou gás até à saída da refinaria, os contributos da engenharia química são determinantes.

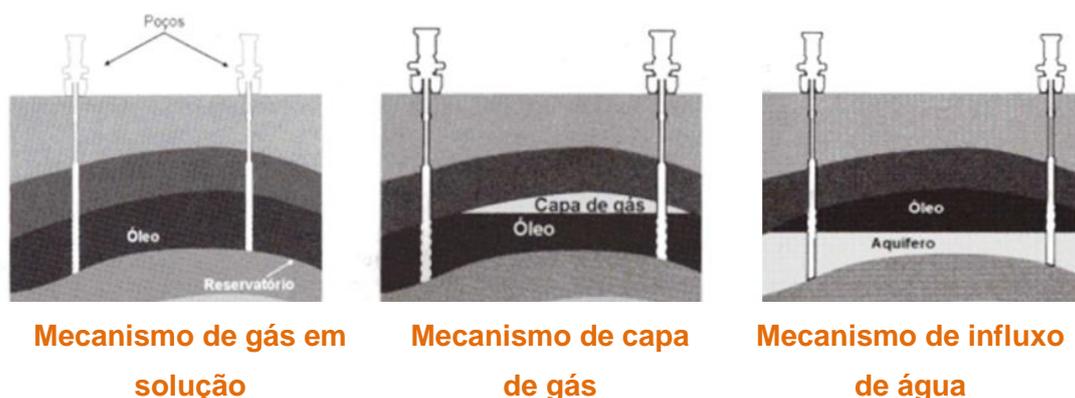
Como já foi mencionado, o percurso de produção desta indústria inicia-se nos reservatórios. Aqui, a engenharia de reservatórios atua por forma a retirar os fluidos do interior das rochas para que estes possam ser conduzidos até à superfície. Para maximizar a produção com o menor custo possível, a engenharia de reservatórios procura caracterizar as jazidas, determinar as propriedades das rochas e os fluidos nelas contidos, e compreender a maneira como estes fluidos interagem dentro da rocha e as leis físicas que regem o movimento dos fluidos no seu interior. A classificação de um reservatório está portanto fortemente dependente da composição do fluido, das características da rocha e das condições de pressão e temperatura.

No processo de produção são produzidos tipicamente três tipos de fluido: óleo (hidrocarbonetos que constituem o óleo e que são líquidos à superfície), gás e água. O gás é constituído pelos hidrocarbonetos de baixo peso molecular que já se encontravam em estado

gasoso nas condições de reservatório, pelo gás que estava dissolvido no óleo dentro do reservatório e que entretanto vaporizou ao ascender à superfície e, com menos expressão, o gás que se encontrava dissolvido na água nas condições de reservatório. A água está presente nos reservatórios e tem origem no aquífero ou surge por condensação na corrente que ascende à superfície.

Para se efetuar a produção a partir de um determinado reservatório, são considerados métodos de produção naturais e/ou artificiais.

Nos métodos naturais, a recuperação do óleo existente num reservatório dá-se por ação da energia primária, quer seja por ação do gás em solução (ou seja, expansão dos fluidos), quer seja por ação da capa de gás ou pelo influxo de água do aquífero. A elevação natural do óleo à superfície dá-se quando a pressão do reservatório é suficiente para expulsar os fluidos da formação até à superfície.



Mecanismos naturais de produção [1].

Usualmente são aplicados métodos artificiais mesmo havendo condições de produção resultantes da atuação da energia natural do reservatório, por forma a preservar as características dos fluidos e do fluxo. Os mecanismos artificiais tornam-se necessários ao longo da vida do campo, uma vez que à medida que o poço vai produzindo a energia do reservatório vai diminuindo. Os mecanismos de produção artificiais dividem-se em mecanismos de manutenção da pressão do reservatório e mecanismos de bombeio artificial. Os mecanismos de manutenção de pressão no reservatório baseiam-se na injeção de fluidos no reservatório (injeção de água e/ou gás). Podem-se considerar três tipos de injeção, a injeção na base (injeção de água) em que o poço de injeção se encontra na parte mais baixa do reservatório, a injeção no topo (injeção de gás) em que o poço de injeção se localiza no topo da formação, e ainda a injeção alternada de água e gás (*Water Alternating Gas injection, WAG*). Estes métodos permitem recuperar até cerca de 30 % do volume original de hidrocarbonetos. As baixas recuperações de um reservatório devem-se usualmente à alta

viscosidade do óleo do reservatório e a elevadas tensões interfaciais entre o fluido injetado e o óleo. Frequentemente ocorre a combinação de diferentes mecanismos de produção.

Os mecanismos de produção artificial contam ainda com os mecanismos de bombeio artificial, tais como, bombagem mecânicas por hastes, bombagem elétrica submersível, bombagem hidráulica de superfície, elevação *gas-lift* e bombagem por cavidades sucessivas.

Uma vez perfurado um poço e para que este seja colocado em operação, o poço tem de ser equipado para a produção de óleo ou gás ou para a injeção de fluidos no reservatório (operações de completação). A completação do poço inclui a colocação do equipamento de bombeio artificial, colocação de todo o equipamento relativo à coluna de produção e do equipamento de controlo e segurança.

### 3. A produção de petróleo em águas profundas

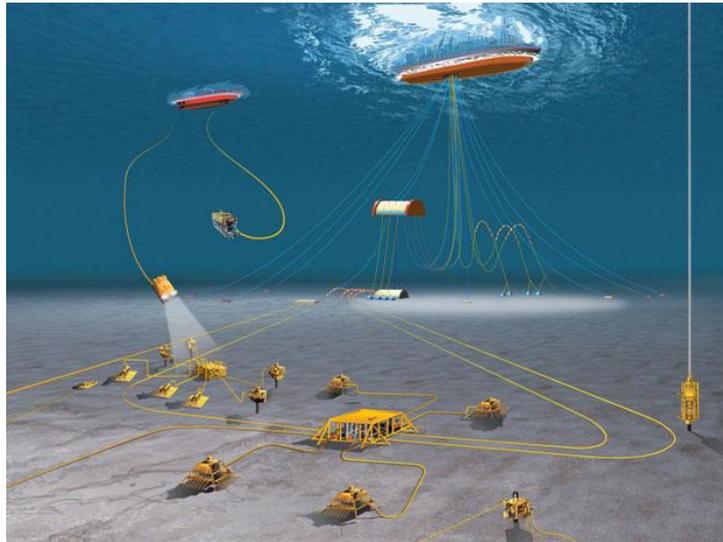
A produção de petróleo no mar requer que seja conseguido o transporte dos fluidos desde a cabeça de poço até ao sistema de processamento primário de fluidos, localizado à superfície (passando por uma lâmina de água que pode ultrapassar os 2000 m), como aquele que se encontra nos navios FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*). Existem diferentes tipos de plataformas, estas variam fundamentalmente com a sua mobilidade e tipo de ancoragem.



FPSO Cidade Angra dos Reis [2].

O transporte entre o reservatório e a superfície será conseguido se a pressão de fluxo no fundo do poço for suficiente para vencer a coluna hidrostática do fluido na coluna de produção, as perdas por fricção, as perdas nas restrições (por exemplo, válvulas), as perdas na linha de produção e a pressão nos equipamentos de separação. O cálculo do gradiente de pressão em estado transiente e considerando o sistema multifásico (e sua variação com a composição ao longo da vida útil do poço) é essencial para garantir caudal contínuo à superfície. A garantia

de escoamento é a área da engenharia do *upstream* que se dedica a assegurar o caudal através dos *pipelines*, de forma económica e ao longo de toda a vida útil do projeto. O controlo dos fenómenos inerentes ao escoamento multifásico é da maior importância uma vez que poderá ocorrer intermitência prolongada do escoamento, formação de emulsões e espumas.



Exemplo de um sistema de produção submerso.

Em todo o sistema de produção, a engenharia da garantia de escoamento e processo assegura ainda que são previstos, evitados e remediados problemas relacionados com corrosão (provocada pelo  $H_2S$  e  $CO_2$  na presença de água), deposição de parafinas, asfaltenos, naftenos e ceras, bloqueio por hidratos (devido às elevadas pressões e baixas temperaturas no mar) ou ainda incrustações minerais de sulfatos e carbonatos.



**Ceras**

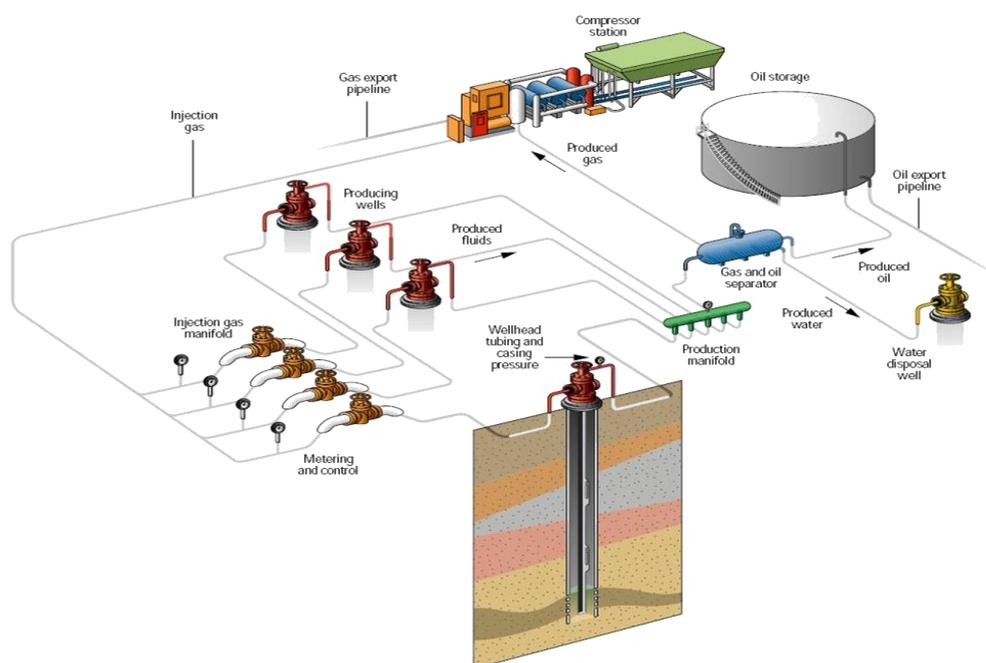


**Hidratos**

Exemplos de problemas ao escoamento do petróleo.

Ainda dentro dos problemas que poderão surgir na produção, é importante mencionar a produção de areia que deve ser evitada ao máximo para impedir os seus efeitos de erosão das linhas.

Uma vez à superfície, a corrente multifásica entra num processo de separação que tem por objetivo obter 3 correntes: óleo (enviado para as refinarias), água (tratada e descartada ou reinjectada) e gás (tratado e exportado ou reinjectado). Este processo inclui frequentemente os seguintes tipos de equipamentos: separadores trifásicos, hidrociclones, dessalinizadores e desgaseificadores.



Exemplo de uma instalação simples de processamento primário de fluidos [1].

#### 4. Conclusões

Da análise do processo de produção de petróleo efetuada acima, é possível identificar diversos campos em que a engenharia química se une a outras áreas da engenharia para que seja conseguido o desenho e operação ótimos das instalações.

Fazendo uma comparação direta com as áreas de interesse mais tradicionais da engenharia química, imediatamente se compreende a atuação dos engenheiros químicos no processamento primário de fluidos, ou seja, à superfície. E abaixo da superfície? Verifica-se que a atuação desta área de engenharia surge em todas as etapas do desenvolvimento da produção, com mais ênfase, na área de garantia de escoamento, mas também na área de engenharia de reservatórios. De facto, um reservatório é em tudo semelhante a um tanque de

grandes dimensões com meio poroso onde se aplicam as leis da mecânica de fluidos, da transferência de calor e da termodinâmica, desenvolvidos na engenharia química.

No escoamento entre o reservatório e a superfície, a engenharia química assume um papel preponderante na compreensão da química de deposição e formação de sólidos que contribuem para o bloqueio das tubagens, e ainda na utilização de todos os conceitos da mecânica de fluidos e modelização de processos para dimensionar e remediar situações ligadas a problemas de escoamento.

### **Referências**

[1] Thomas, José E., Fundamentos de Engenharia de Petróleo, Editora Interciência, Petrobras, 2001.

[2] [www.galpenergia.com](http://www.galpenergia.com)

## ***Cloreto de Sódio: um Tesouro das Civilizações***

M. Fátima Farelo

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

Cloreto de sódio, ou sal como é mais vulgarmente chamado no nosso dia-a-dia. Quem não o conhece, seja como sal marinho, flor-de-sal ou sal-gema?

Parece pois um exagero dizer que o cloreto de sódio é um tesouro das civilizações. E, no entanto, se este composto inorgânico não existisse, a história da Humanidade seria diferente daquela que conhecemos. Tal como o ouro, também o sal foi utilizado para cunhar moeda ou como meio de troca no comércio de bens indispensáveis à vida, contribuindo para a riqueza dos povos que a ele tinham acesso. Pela posse deste ouro branco fizeram-se guerras, revoluções e conquistas. Mas mais importante do que os conflitos a que deu origem é o fato do sal ter contribuído de forma inequívoca para o progresso e bem-estar das sociedades, bem como para a descoberta de novos mundos.

Através dos tempos, a produção de sal foi maioritariamente realizada por evaporação da água de salmouras marinhas ou de lagos salgados naturais ou artificiais. Este facto explica em parte o enorme valor comercial do sal marinho no passado distante, pois a sua obtenção nas regiões interiores do globo dependia quase inteiramente do comércio com as povoações das orlas costeiras onde era produzido. Para o seu transporte criaram-se as rotas do sal, por onde circulavam as caravanas que transportavam o precioso produto, e desenvolveu-se um importante comércio marítimo. Os Fenícios cruzavam os mares, desde as regiões costeiras do Mar Mediterrâneo até à atual Grã-Bretanha, em busca de sal que trocavam por mercadorias igualmente valiosas: púrpura, estanho e ouro. Nesta rota deixaram vestígios dos seus entrepostos comerciais na Península Ibérica, entre os quais Alcácer do Sal e Setúbal, povoados onde a salga do peixe era uma já indústria florescente antes de 1000 a.c. [1]. No entanto, na Antiguidade, a produção e comércio deste bem valioso não se cingia apenas ao produto obtido pela evaporação da água do mar. Sabe-se também que há mais de 4000 anos já se minerava sal-gema na China, enquanto em Salzburg, na atual Áustria, a extração deste mineral terá tido início ainda na Idade do Ferro [2].

Sob o domínio do Império Romano, a exploração e a comercialização do sal ganharam nova importância, não só devido à extensão da orla costeira dos territórios conquistados, mas também porque os impostos lançados sobre a indústria salinera constituíam uma das fontes de receita para a expansão territorial de Roma. Em simultâneo com a vulgarização do uso do sal na dieta alimentar dos povos romanizados, entraram para o Latim vocábulos e

designações que atestam a sua importância na vida desses povos e que ainda hoje perduram no léxico de algumas línguas românicas: *salada*, *salário* - remuneração em sal aos legionários, ou ainda “*via Salaria*” (*estrada do sal*) na cidade de Roma.

Quais são então as propriedades físicas e químicas do NaCl, que o tornam assim uma substância tão apetecida?

Em primeiro lugar, é de referir que o cloreto de sódio é um sólido higroscópico, retirando humidade ao meio onde se encontra e dissolvendo-se na água absorvida. Este facto tem consequências indesejáveis, se se tratar, por exemplo, do sal de mesa, ao qual a sabedoria popular recomenda juntar alguns grãos de arroz a fim de o manter seco e fluido. Do ponto de vista industrial, a absorção de água é também contrariada pela adição ao sal de ínfimas quantidades de antiaglomerantes, tais como o ferrocianeto de potássio. No entanto, o poder do sal para desidratar o meio que o rodeia - já bem conhecido no Antigo Egipto onde era usado na preservação das múmias - contribuiu, ainda que de forma heurística, para o bem-estar dos povos. Basta recordar, por exemplo, que desde tempos imemoriáveis as peles dos animais foram usadas como meio de vestuário. Contudo, a duração e qualidade das peles apenas se tornaram aceitáveis quando passaram a ser curtidas por desidratação com sal. Também neste aspeto, a romanização teve como consequência o desenvolvimento e a disseminação da indústria dos curtumes nos territórios conquistados.

A conservação dos alimentos pelo sal deve-se também à sua higroscopicidade. A salga do peixe e da carne, ao promover a desidratação dos mesmos, permitia a sua manutenção em bom estado por períodos prolongados, em épocas em que as técnicas de conservação pelo frio não eram ainda sequer sonhadas. Esta extensão do período de conservação dos alimentos tornou então possível a realização das demoradas viagens dos navegadores Portugueses e Espanhóis, das quais resultou o conhecimento da existência de terras e continentes até então desconhecidos. Num plano mais modesto, mas também importante, a salga do bacalhau para conservação do pescado, que se diz ter sido “inventada” no séc. XV, pelos pescadores Portugueses operando nas águas frias do hemisfério norte, fundamenta-se essencialmente na mesma propriedade do sal.

Importantes também na conservação de alimentos pela salga, são as propriedades fungicidas e desinfectantes do NaCl sólido ou na forma de solução saturada pois, com exceção da microalga *Dunaliella* produtora de beta-caroteno, poucos microorganismos conseguem sobreviver na presença de elevadas concentrações salinas.

Do ponto de vista cristalográfico, o NaCl apresenta uma rede estrutural simples, cúbica de faces centradas [2]. Mas apesar da simplicidade da sua malha cristalina, a obtenção de cristais perfeitos e de bom tamanho, a partir de soluções aquosas concentradas, não é nada fácil. A força motriz para a sua produção, ou sobressaturação, tem de ser necessariamente muito

pequena e bem controlada, sob pena de se obter uma multitude de microcristais que se aglomeram com facilidade (Figura 1a), originando agregados de grande dureza [3]. Por outro lado, também a presença de impurezas na salmoura-mãe pode dar origem a aglomerados com formas estranhas ou algo irreverentes (Figura 1 b).

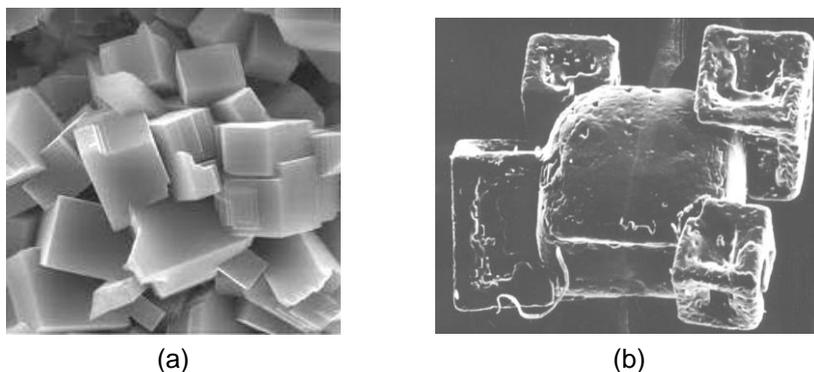
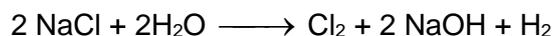


Figura 1 – Aglomerados de cristais de cloreto de sódio formados a partir de salmoura:  
(a) – Pura; (b) – Contaminada com KCl

Se do ponto de vista laboratorial e industrial, a aglomeração do sal acrescenta dificuldades à sua produção, já na Natureza este fenómeno permitiu a formação de reservas de NaCl com características únicas. Assim, no fundo dos mares acumularam-se durante milhares de anos grandes depósitos de aglomerados cristalinos que, sujeitos a pressões muito elevadas, deram origem a estratos de sal-gema, com centenas de metros de espessura. Devido aos enrugamentos da crosta terrestre, durante os quais o sal fluiu, como se de um líquido se tratasse, por entre as rochas mais resistentes às pressões tectónicas, a apresentação geológica mais comum do sal-gema é como domo salino [2]. Este comportamento revela uma outra propriedade deste mineral, importante na civilização de hoje: a plasticidade. Graças a esta característica, as cavernas formadas no interior dos domos salinos, por mineração com injeção de água pressurizada, constituem um armazenamento subterrâneo seguro para o gás natural - constituindo reservas deste combustível, ou para o CO<sub>2</sub> sequestrado dos gases de combustão. Depois de cheias com gás a pressão elevada, as cavernas tornam-se recipientes perfeitamente estanques devido à deformação plástica do mineral.

Na escala temporal das utilizações do sal, a importância da Química do cloreto de sódio só foi reconhecida já bem perto dos nossos dias. Este cloreto é matéria-prima em diversos processos químicos, dos quais se destaca a produção de carbonato de sódio desde 1861 pelo percurso reacional que se deve a Ernest Solvay [5]. No entanto, o passo decisivo no reconhecimento da utilidade deste discreto sal foi a descoberta da eletrólise das soluções salinas. Assim, o processo industrial de produção de cloro e soda cáustica é hoje em dia

realizado em todo o mundo por eletrólise de salmouras purificadas, em células de membrana, de acordo com a reação química:

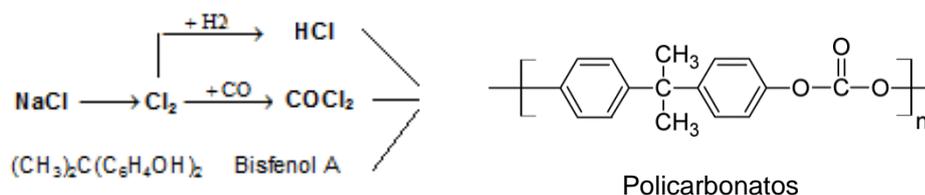


Esta reação é a base do importante sector industrial dos cloro-alcalis. Tanto o cloro como a soda estão no topo de pirâmides de compostos químicos, que deles derivam direta ou indiretamente. Alguns derivados são produtos de consumo corrente. Outros, e são a maioria, encontram-se ainda posicionados muito alto na cadeia de valor pelo que, por sua vez, constituem matérias-primas para a produção de muitas outras espécies químicas [4].

A soda cáustica é a base forte mais utilizada na indústria dos processos químicos, sendo matéria-prima nas indústrias têxtil e alimentar, na produção de surfactantes e sabões, no tratamento de águas e salmouras para eletrólise, no abate da poluição dos efluentes, etc.

Quanto ao cloro, a lista das suas aplicações diretas é extensa, incluindo a desinfecção da rede de água para consumo doméstico e de uma forma geral a produção de inúmeros compostos clorados. Entre os seus derivados encontramos também produtos farmacêuticos, fibras sintéticas como o nylon, adubos e a grande fileira dos polímeros e plásticos de alta tecnologia. Também o hidrogénio, co-produto da eletrólise das salmouras de NaCl, é uma espécie química valorizada como reagente, agente da dessulfurização das frações petrolíferas das refinarias e como fonte de energia dita limpa.

Vejamos agora, como exemplo de uma cadeia de derivados do cloreto de sódio, via cloro, o percurso reacional simplificado da produção de policarbonatos. Estes polímeros, de massa molar elevada, apresentam propriedades muito interessantes, tais como grande resistência, durabilidade, baixa densidade, grande transparência, elevado índice de refração e elevada ductilidade, i.e., deformam-se mas não quebram sob a ação de impactos violentos [5].



Os policarbonatos são assim utilizados para produzir bens de consumo que incluem, por exemplo, CD's, vidro à prova de bala, lâmpadas, lentes para óculos, ferramentas moldadas, e muitos outros. Não é pois de admirar que também na origem dos capacetes de proteção que aumentam a segurança dos entusiastas dos velocípedes, feitos de policarbonato, esteja um composto inorgânico tão rico mas tão simples que o tratamos familiarmente por Sal.

## **Bibliografia**

- [1] F. Morgado, Nos caminhos do sal, C.C. Região de Lisboa e Vale do Tejo, F. Magalhães, (Eds.) 1998
- [2] C. Klein, C. S. Hurlbut, J. D. Dana, Manual of Mineralogy, John Wiley & Sons, New York (1993)
- [3] H. Offermann, G., von Brachel, A. Al-Sabbagh, F. Farelo, Crystallization kinetics of NaCl in multicomponent solutions, Cryst. Res. Technol. 30 (1995) 651-658.
- [4] W. Gerhartz (Ed.), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th ed. Vol. A24, Sodium Chloride, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1985.
- [5] D.E. Considine (Ed.), Chemical and Process Technology Encyclopedia, McGraw-Hill Book Company, 1974.

## ***Degusta-me! As Fascinantes Moléculas que Encontramos nos Alimentos***

Maria João Ferreira

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

Nós somos o que comemos e tudo do que comemos é química. É através dos alimentos que nós obtemos energia (hidratos de carbono e gorduras) e materiais necessários à nossa constituição e processos biológicos (proteínas, fibras, sais minerais e vitaminas).

Conhecer a constituição do que ingerimos é importante pois assim não só podemos garantir



que fazemos uma alimentação equilibrada, como também nos podemos precaver contra situações que colocam a nossa vida em risco. É o caso das alergias e de certas condições médicas que implicam um controlo cuidadoso de determinados alimentos. Um diabético, por exemplo, deve ter em atenção a quantidade de hidratos de carbono que ingere, um hipertenso deve ter em atenção a quantidade de sal, um hemodialisado deve evitar alimentos com alto teor de potássio.

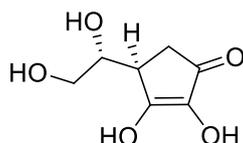
Ao ingerirmos alimentos, sobretudo frutas e legumes, ingerimos também quantidades pequenas de outras moléculas que se sabe

terem propriedades interessantes como antioxidantes, anti-inflamatórias, anti-sépticas entre outras. Porquê sobretudo frutas e legumes? Porque ao contrário dos animais, mediante uma agressão, as plantas não podem fugir. A resposta de uma planta a uma agressão é sobretudo uma resposta química, afinada por anos de evolução e seleção natural. E ao evoluirmos conjuntamente com as plantas, o nosso organismo foi aprendendo a tirar partido dessas moléculas. Não é por isso por acaso que grande parte dos nossos atuais fármacos venha ou tenha na sua génese moléculas que se encontram em determinados alimentos.

Seguem-se alguns exemplos.

## Ácido Ascórbico

O ácido ascórbico (Esquema 1) é um composto natural encontrado em inúmeros alimentos como citrinos, pimentos verdes, melancia, ananás, etc. É uma das formas da vitamina C e sendo solúvel em água, não é armazenado no organismo. O ser humano não é capaz de sintetizar, pelo que o acesso a esta vitamina se faz exclusivamente por ingestão, sobretudo de alimentos crus, dado que a vitamina C é sensível ao calor e à luz.



ácido L-ascórbico

**Esquema 1**

No nosso organismo a vitamina C é utilizada no crescimento e produção de tecidos (pele, cartilagem, tendões, ligamentos e vasos sanguíneos) bem como na reparação de tecidos feridos e na manutenção de dentes e ossos. A falta de vitamina C é conhecida como escorbuto. Esta condição atualmente é rara, no entanto esta era uma doença frequente em marinheiros no tempo dos descobrimentos, que ao passarem muito tempo em alto mar sem acesso a vegetais frescos a desenvolviam com frequência.



O ácido ascórbico tem uma reconhecida ação antioxidante. Um antioxidante é uma substância que inibe a oxidação de outras moléculas ao ser oxidada mais rapidamente. No nosso organismo os antioxidantes são uma classe importante de compostos, pois previnem a acumulação de radicais livres. Estas espécies, altamente reativas, têm vindo a ser associadas a uma maior incidência de cancro, doenças cardiovasculares, artrite e envelhecimento. Dadas estas características, é também utilizado como conservante na indústria alimentar, ao impedir a oxidação de gorduras.

## Ácido Salicílico

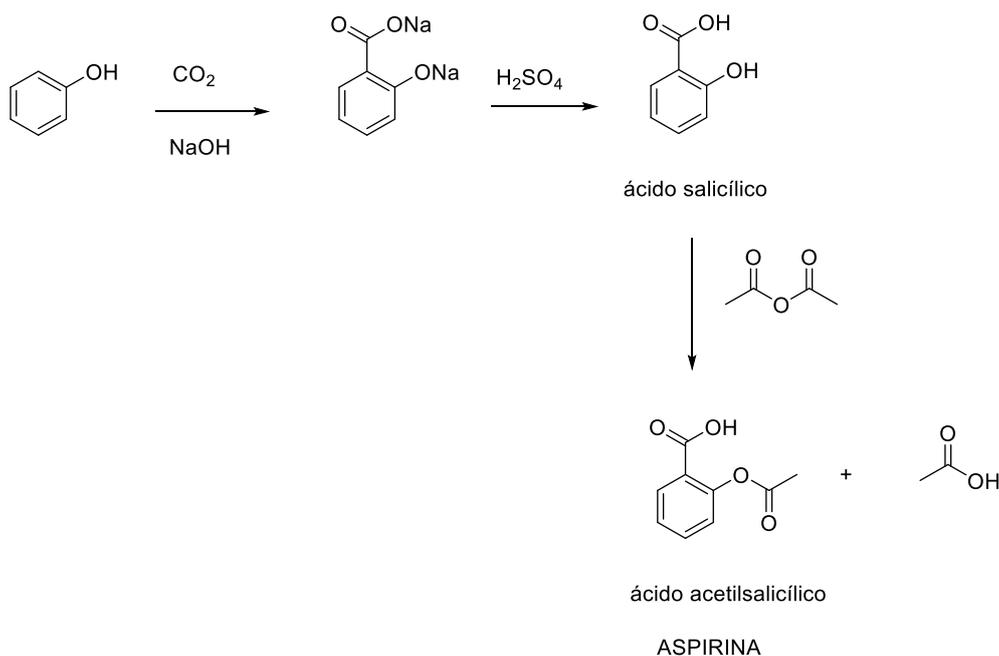
O ácido salicílico é um bom exemplo de uma molécula com ação medicinal, que existe em algumas plantas, e cujo estudo deu origem ao que é provavelmente o medicamento mais bem-sucedido da história, a aspirina. Encontra-se em abundância nas folhas e casca dos

salgueiros. Na planta não só tem funções de inibição de crescimento e germinação, como é uma defesa contra agentes patogénicos como bactérias e fungo. (Esquema 2)



O efeito da casca e das folhas de salgueiro no tratamento de dores e febres é conhecido desde pelo menos 400 a.C., quando foi reportado por Hipócrates. O ácido salicílico é também usado em dermatologia e cosmética por ter propriedades esfoliantes e anti-sépticas.

O seu uso como analgésico e antipirético é no entanto atualmente desaconselhado dada a sua agressividade para o estômago. A versão acetilada, ácido acetilsalicílico (Esquema), conhecida como aspirina, foi desenvolvida por químicos de forma a obter um composto menos ácido, que retém as propriedades do ácido salicílico, embora menos acentuadas. Atualmente a aspirina é usada como antipirético, anti-inflamatório, analgésico, anticoagulante e pensa-se que tem alguma eficácia na prevenção do cancro do cólon.

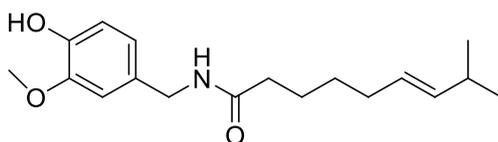


**Esquema 2**

### Capsaicinas

Algumas variedades de pimentos são picantes (*Capsicum*) porque possuem na sua constituição capsaicinas (Esquema 3). Estes compostos dão irritações de contacto em mamíferos, incluindo os humanos. Dado que a concentração destes compostos na planta é maior no invólucro que protege as sementes, pensa-se que se trata de um mecanismo de defesa da planta na proteção da sua descendência, já que se demonstrou que as sementes

não sobrevivem ao trato intestinal de mamíferos. Pelo contrário, as aves são imunes as capsaicinas. Pensa-se que isto se deve ao facto das sementes não serem destruídas após digestão, pelo que é vantajoso para a planta a sua ingestão por aves, dado que ajudam à disseminação da mesma. Por outro lado, estes compostos têm propriedades antifúngicas, pelo que ajudam a proteção da planta.



Capsaicina

Esquema 3



São várias as utilizações das capsaicinas. Em medicina, usam-se em muito pequenas concentrações em pomadas para o tratamento da dor e da psoríase. Parte da sua ação analgésica vem da sua capacidade de se ligarem a alguns terminais nervosos, impedindo a transmissão de impulsos elétricos e portanto da sensação de dor. A sua ingestão tem sido também associada à regulação da quantidade de açúcar no sangue.

As capsaicinas são também utilizadas em armas não-letais como os sprays pimenta.

É no entanto na culinária que estes compostos são mais utilizados, enquanto parte de pimentos picantes usados como condimento. A força do picante mede-se em culinária pela escala de Scoville.

Scoville ( SCU )	Pimenta
16.000.000	Reines Capsaicin
1.000.000	Trinidad Scorpion
1.000.000 (getestet)	Dorset Naga
1.000.000 (getestet)	Naga Jolokia
640.000 (getestet)	Naga Morich
580.000	Habanero Chocolate Caribbean
577.000 (Guinness Buch)	Habanero Red Savina
350.000 - 400.000	Habanero Mustard
350.000	Habanero Manzano
200.000 - 300.000	Habanero Yellow
200.000	Pingo de Ouro
100.000 - 350.000	Habanero Orange
100.000 - 325.000	Scotch Bonnet
100.000 - 300.000	Cumari do Pará
100.000 - 300.000	Datil Red
100.000 - 225.000	Bird Eye
100.000 - 220.000	Cumari verdadeira
100.000 - 200.000	Jamaican Hot
100.000 - 125.000	Carolina Cayenne
95.000 - 110.000	Apache
95.000 - 110.000	Bahamian
90.000 - 100.000	Zimbabwe Large Red
85.000 - 115.000	Tabiche
75.000 - 80.000	Red Amazon
50.000 - 100.000	Thai
50.000 - 100.000	Chiltepin
50.000 - 70.000	Chi-Chien
40.000 - 58.000	Piquin
40.000 - 50.000	Super
40.000 - 50.000	Beni Highlands
40.000 - 50.000	Santaka
40.000	Purple Naga Jolokia
35.000 - 45.000	Thai Dragon
30.000 - 50.000	Cayenne
30.000 - 50.000	Tabasco
30.000	Peter Pepper
15.000 - 30.000	Criolla Sella Orange
15.000 - 30.000	De Arbol
12.000 - 30.000	Rocoto Manzano
6.000 - 23.000	Serrano
5.000 - 10.000	Hot Wax
5.000 - 10.000	Chipotle
5.000 - 10.000	Chile Puya
2.500 - 8.000	Santaka
2.500 - 5.000	Jalapeño
2.500 - 5.000	Guajilla
2.500 - 5.000	Rote TABASCO Sauce
2.500 - 3.000	Numex Big Jim
1.500 - 2.500	Rocotillo
1.000 - 2.000	Passila
1.000 - 2.000	Ancho
1.000 - 2.000	Poblano
700 - 1.000	Coronado
500 - 2.500	Anaheim
500 - 1.000	Jariza
500 - 1.000	Topepo Rosso
500 - 1.000	New Mexican
500 - 700	Santa Fe Grande
100 - 500	Sifri Biber
0 - 500	Capela
0	Frivarello
0	Doux des Landes
0	Gemüse Paprika

Existem inúmeras substâncias químicas que extraímos dos alimentos e que possuem propriedades interessantes, nomeadamente diferentes ações farmacológicas. Estas substâncias são o resultado de sucessivos saltos evolutivos dados para fazer face a agressões ambientais e a sua ingestão em diferentes alimentos contribui para o nosso bem-estar. A sua identificação e o estudo das suas propriedades é também fonte de inspiração para outras moléculas, nomeadamente para moléculas com ação terapêutica.

## Experiências no Laboratório

As Engenharias Química e de Materiais desempenham um papel extremamente importante no nosso quotidiano e estão na base de muito do conforto da vida moderna. As suas principais bases são a Química e as Ciências de Materiais.

Todas estas áreas do conhecimento são intrinsecamente experimentais as experiências interativas que se desenrolam nestes laboratórios ilustram as aplicações destas disciplinas em actividades concretas do nosso dia-a-dia, do supermercado à cozinha, passando pelo papel dos combustíveis na mobilidade e dos materiais inteligentes no futuro da humanidade. Esperamos ainda que os Laboratórios Abertos mostrem como estas áreas da Ciência e da Tecnologia constituem uma excelente opção de carreira para os jovens, constituindo áreas de grande relevância no desenvolvimento económico mundial.

## Químico Orgânico por um Dia

Dulce Elisabete Bornes Teixeira Pereira Simão

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

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 vários elementos, como o oxigénio, o enxofre, o azoto, o fósforo e os halogénios, entre outros dando origem a milhões de compostos. 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 ativas. Nas seguintes experiências mostra-se como se isolam compostos orgânicos de produtos naturais e como obtê-los por transformação (reações), demonstrando os procedimentos habituais num laboratório de química orgânica. Ilustra-se ainda o fenómeno da quimiluminescência com demonstração de aplicação no nosso quotidiano.

### Isolamento do eucaliptol das folhas de eucalipto

Nesta experiência, mostramos como podemos isolar o eucaliptol, constituinte das folhas do eucalipto. Este composto é muito utilizado em medicina para aliviar os sintomas de gripe, na indústria alimentar em alimentos e bebidas, na cosmética como aromatizante de sabonetes, detergentes e perfumes e é também utilizado como repelente de insetos (figura 1).



Figura 1 – Folhas de eucalipto e produtos da indústria que contêm eucaliptol. O eucaliptol é constituído por átomos de carbono, hidrogénio e oxigénio (figura 2).

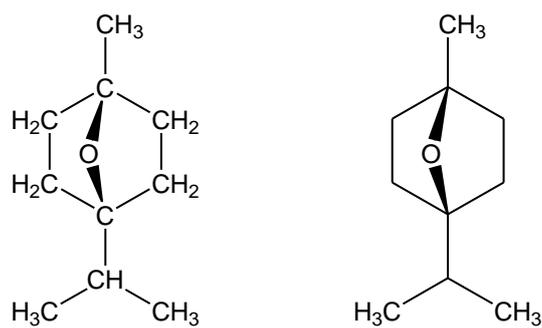


Figura 2 – Duas fórmulas de estruturas químicas do eucaliptol.

Os aromas característicos de muitas flores, ervas e especiarias devem-se aos óleos essenciais que se encontram em ramos, flores e sementes. A técnica mais utilizada para os isolar é a chamada destilação por arrastamento de vapor. Neste tipo de destilação produz-se vapor de água numa caldeira que depois é introduzido na montagem (figura 3). Esta destilação só se pode fazer quando o componente que queremos isolar não é solúvel em água, neste caso o eucaliptol<sup>1</sup>.

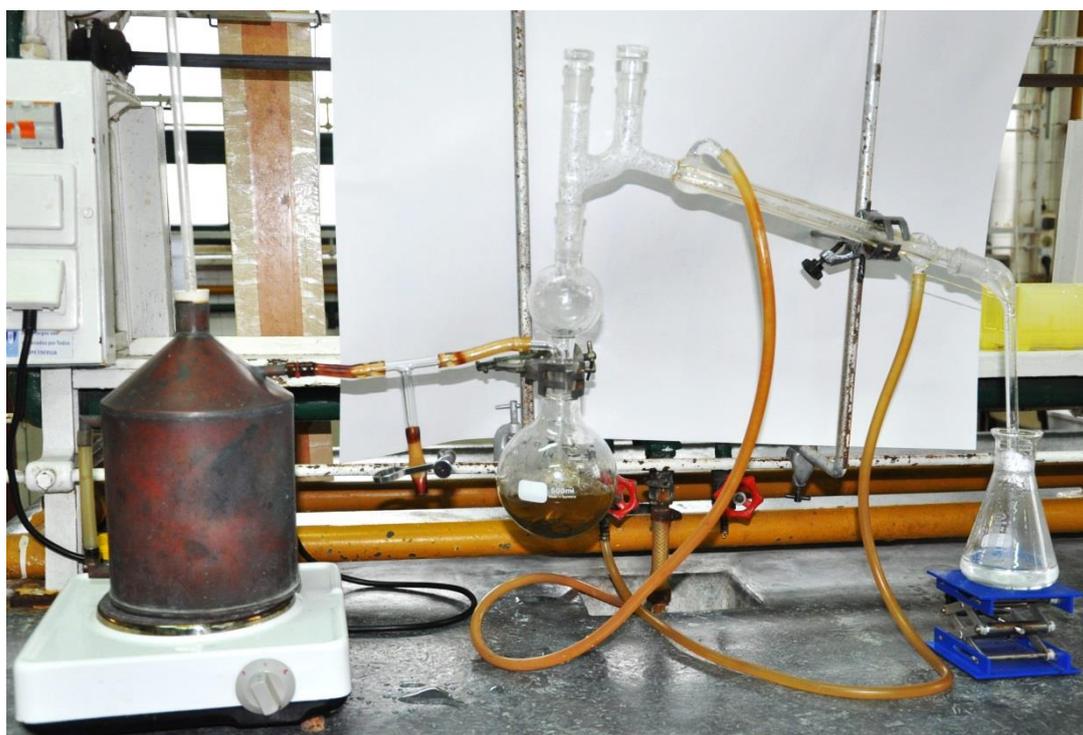


Figura 3 - Destilação por arrastamento de vapor das folhas de eucalipto.

O destilado (água e eucaliptol) é passado para uma ampola de decantação. Como a quantidade existente de eucaliptol nas folhas é pequena, procede-se a uma extração líquido-

líquido desta fase aquosa, adicionando um solvente orgânico (clorofórmio) (figura 4). Através de decantação separam-se os dois líquidos imiscíveis e com diferentes densidades.

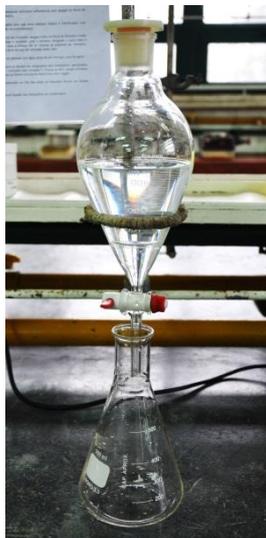


Figura 4 - Separação do eucaliptol e clorofórmio (fase orgânica) da fase aquosa

Para obter o eucaliptol é ainda necessário separar o solvente por destilação a baixa pressão, recorrendo a um rotavapor ou evaporador rotativo (figura 5).



Figura 5 – Destilação do clorofórmio num rotavapor

O solvente é evaporado e condensa no refrigerante, sendo recolhido num balão. A baixa pressão diminui o ponto de ebulição e aumenta a rapidez de destilação.



Na seguinte experiência vamos extrair este pigmento da beterraba, através de uma técnica denominada extração em soxhlet (figura 8). Nesta técnica, usa-se água e etanol como solventes que ao serem aquecidos entram em ebulição, evaporam, condensam no extrator sobre os pedaços de beterraba, sendo depois reconduzidos ao balão juntamente com a betanina<sup>3</sup>.



Figura 8 – Extração da betanina em soxhlet

Em seguida, separa-se o solvente por destilação recorrendo a um rotavapor ou evaporador rotativo, tal como na experiência anterior.

2 – A. Sturzoiu, M. Stroescu, A. Stoica, T. Dobre, *U.P.B. Sci. Bull., B*, **2011**, 73, 145 – 156.

3 – R. D. Chakole, S. Zade, M. S. Charde, *International Journal of Biomedical and Advance Research*, **2011**, 124- 130.

## Preparação do paracetamol (ben-u-ron®)

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.

A figura 9 exemplifica duas montagens típicas para fazer reações:



a)

b)

Figura 9 a) – Montagem para reação na ausência de humidade e com agitação magnética.

9 b) – Montagem para reação na ausência de oxigénio e com agitação mecânica.

A experiência seguinte, mostra como se prepara o paracetamol, princípio ativo do conhecido Ben-u-ron. Este medicamento é muito utilizado para baixar a febre e como analgésico.



Figura 10 – Comprimidos e xarope de paracetamol (Ben-u-ron®).

Os reagentes desta reacção são o p-aminofenol e o anidrido acético em água (figura 11).

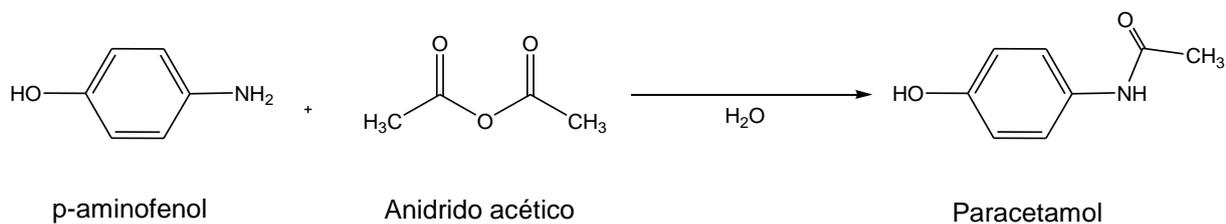


Figura 11 – Esquema reacional de formação do paracetamol (Ben-u-ron®).

Para que a reacção aconteça, é necessário aquecer e agitar (agitação magnética) todos os reagentes durante 10 minutos (figura 12 a)). Com o arrefecimento desta mistura reacional observa-se a precipitação do produto, um sólido branco (figura 12 b)).



a)



b)

Figura 12 a) – Montagem para a preparação do paracetamol (Foto de Matilde Freitas)

b) – Precipitação do paracetamol com arrefecimento em gelo

O sólido é isolado por filtração em vácuo<sup>4</sup> (figura 13).



Figura 13 – Filtração em vácuo do paracetamol.

4 – D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, Exp. 77, pág. 317.

## 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 dobras até partir e ficam luminosos durante bastantes horas<sup>5</sup> (figura 14).



Figura 14 – “Glow Party”

Quando surgiram os primeiros produtos deste género, nos anos 70, os chamados “glow sticks” 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. (figura 15).



Figura 15 – Aplicações práticas dos “Glow sticks”

[http://ballyhood.com/swordfish\\_rig.htm](http://ballyhood.com/swordfish_rig.htm)

A luz emitida por estes produtos está relacionada com o fenómeno da quimiluminescência, ou seja com a emissão de luz devido a uma reação química<sup>6</sup>.

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).

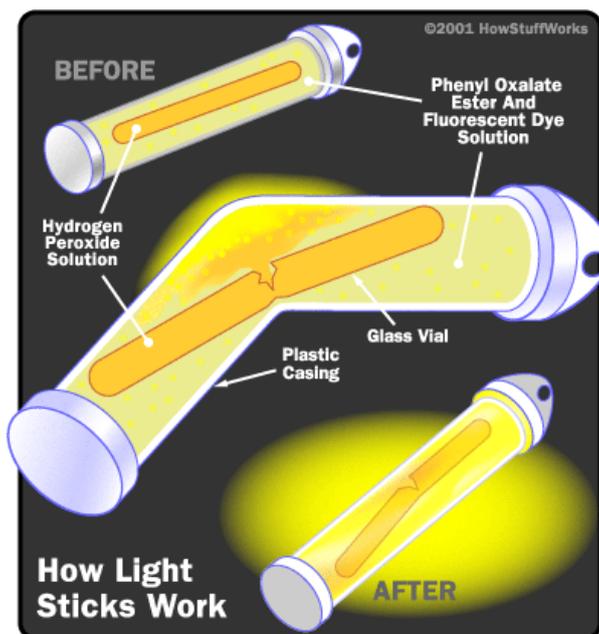


Figura 16 – Como funciona um “Glow stick”

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

Nesta experiência vamos mostrar este fenómeno da quimiluminescência, fazendo reagir o oxalato de 2,4,6-triclorofenilo (um éster) e a água oxigenada (peróxido de hidrogénio), 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 libertação de dióxido de carbono<sup>7</sup>.

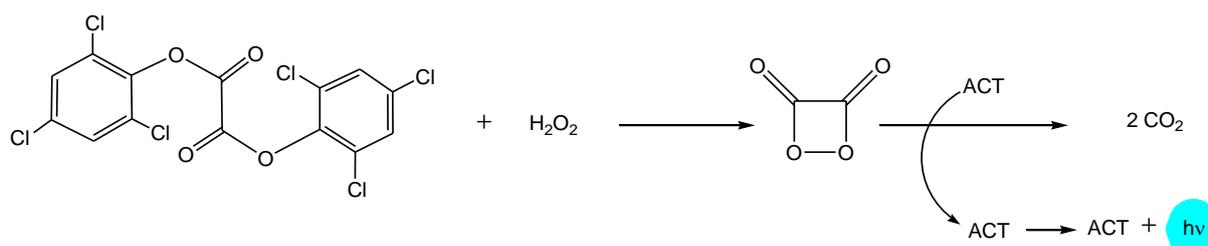


Figura 17 – Reação de quimiluminescência com um ativador (ACT)

A cor emitida dependerá do ativador utilizado<sup>8</sup>. Se for por exemplo o trans-9-(2-feniletenil)antraceno<sup>9</sup> (figura 18 a) a luz emitida é azul, mas se for a rodamina B (figura 18 b)) a luz emitida é o vermelho.

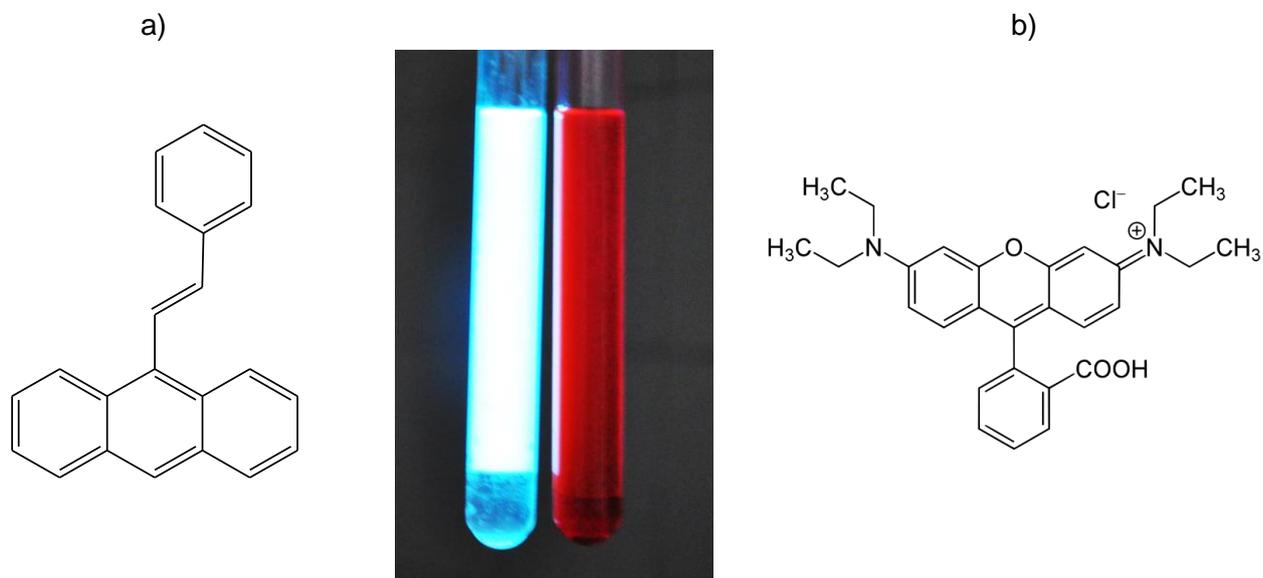


Figura 18 a) - Estrutura do trans-9-(2-feniletenil)antraceno, emite luz azul.  
b) - Estrutura da rodamina B, emite luz vermelha.

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

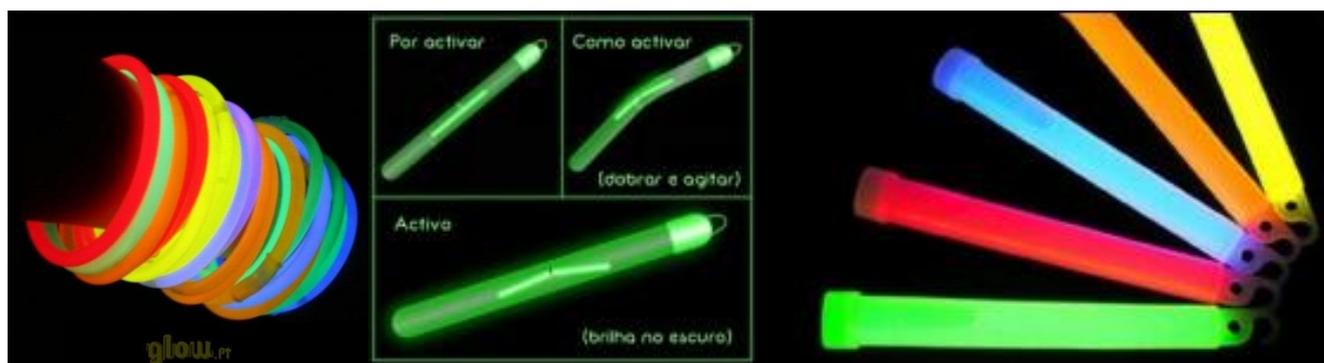


Figura 19 – Ativação de um “Glow stick”.

### Sob a lâmpada de ultra violeta

Existem compostos orgânicos que são fluorescentes quando observados sob uma lâmpada de ultra violeta como por exemplo, o quinino existente na água tônica, a fluoresceína (figura

20) muito utilizada para detecção de águas subterrâneas, exames oftalmológicos (angiogramas) e como marcador biológico, como por exemplo em química forense.



Figura 20 – Água tônica e solução de fluoresceína sob luz natural e luz ultra violeta.

Existem também compostos fluorescentes em notas, cartas de condução e outro tipo de documentos (figura 21). Este tipo de análise é de igual modo usado em investigação criminal para verificação da validade de papel-moeda e de diversos documentos.

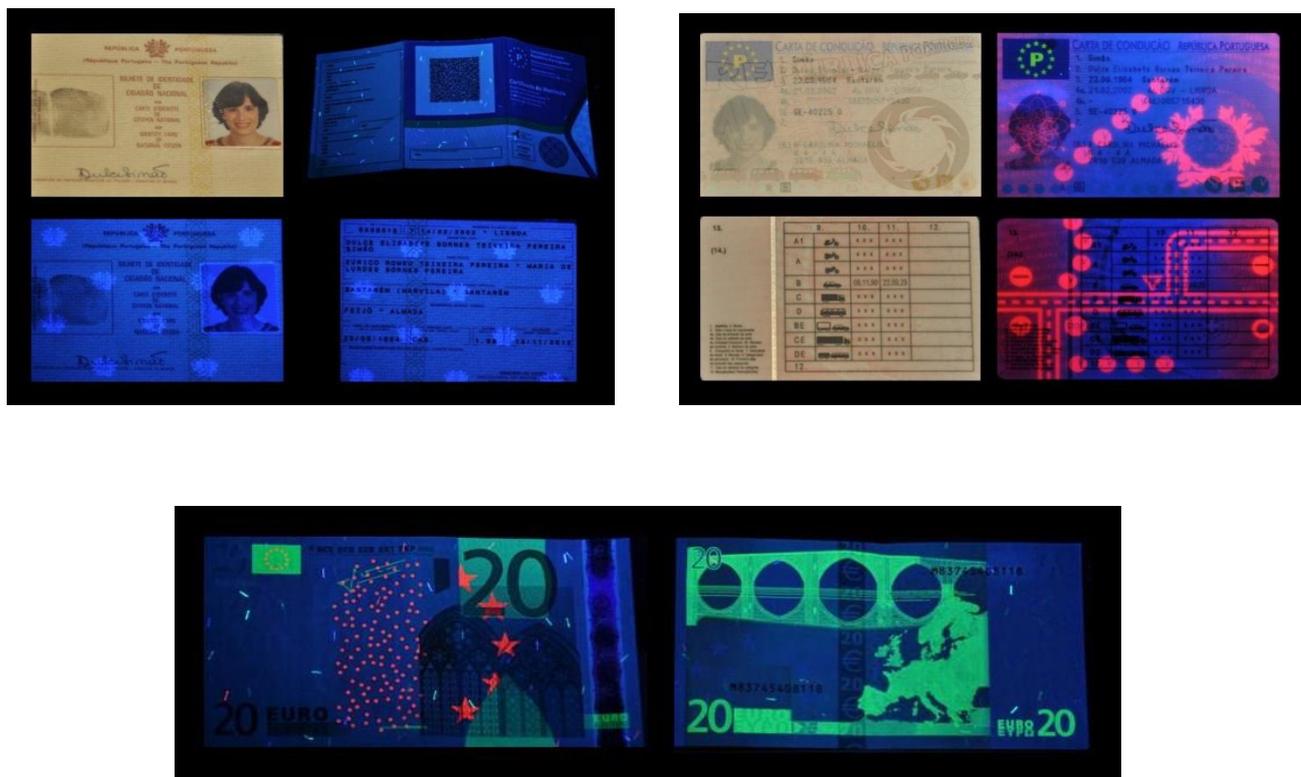


Figura 21 – Vários documentos e notas sob luz natural e sob luz ultra violeta.

5 – <http://www.glow.pt/>

6 - R. Albertin et al, Química Nova, 21, 1998, 772.

7 - F. McCapra, *Methods Enzymol.*, 2000, 305, 633 – 659.

8 – <http://www.youtube.com/watch?v=tltOOpyJP5k>

9 - D. Simão, “100 experiências de química orgânica”, 2011, ISTPress, 199.

## Agradecimentos

Agradeço aos seguintes alunos de Engenharia Química, Biológica e Biomédica a preciosa colaboração e empenho, na procura de novos trabalhos, na sua realização e otimização.

Duarte Martins	Faissen Lordeiro
Beatriz Matafome	Joana Paulino
Ana Carolina Leote	Adriana Correia
Manuel Almeida	Raquel Valente
José Morais	
Jorge Martins	
Carlos Rafael Lopes	

## Explosões e Combustões

Martim Caldeira<sup>a</sup>, Fátima Rosa<sup>b</sup>, Remígio Machado<sup>b</sup>, Isabel Leiria,<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.

<sup>b</sup> Centro Cerena - Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Departamento de Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa.



A combustão é uma das importantes reações químicas, uma reação de oxidação com geração de calor e luz - fogo. Esta tecnologia foi descoberta e utilizada desde o homem pré-histórico com múltiplos objetivos, incluindo a proteção do frio e de ataques de animais, para cozinhar alimentos, para desmatar áreas de vegetação, etc. O fogo tornou também possível a extração de metais a partir do aquecimento de minérios e consequente produção de instrumentos metálicos, tais como facas e machados. Uma das primeiras utilizações industriais do fogo aconteceu quando o homem aprendeu a cozinhar o barro, produzindo vasilhas de cerâmica, nas quais podia guardar alimentos e bebidas.

A combustão pode ocorrer de dois modos: combustão lenta e combustão viva.

A combustão viva caracteriza-se pela formação de chama (fig. 1), como observamos num incêndio. Na combustão lenta não existe formação de chama, como se verifica por exemplo na oxidação de determinada peça metálica (fig. 2) ou na respiração celular.

A combustão é uma reacção essencial à vida na terra, na medida em que todos os seres vivos a utilizam para respirar.



Figura 1 – Combustão viva



Figura 2 – Combustão lenta

Para que ocorra combustão torna-se necessária a conjugação de três elementos: Fonte de ignição, combustível e comburente, elementos que compõem o chamado triângulo do fogo.



A fonte de ignição é o iniciador da reação combustão — faísca gerada ao girar a roda do isqueiro, faísca gerada ao raspar o fósforo na lixa da caixa. Combustível é toda a substância capaz de queimar e simultaneamente alimentar a combustão, servindo de campo de propagação ao fogo. Os combustíveis podem apresentar-se em qualquer dos estados: sólidos, líquidos ou gasosos. Por exemplo a madeira, papel, álcool, gasolina, parafina de vela, entre outros. Os comburentes, também designadas por substâncias oxidantes, facilitam a ignição dos combustíveis e intensificam a reação de combustão, sendo o oxigênio o gás mais utilizado para exercer esta função.

No isqueiro, conseguimos identificar os três elementos essenciais para que ocorra combustão: Fonte de ignição: a faísca gerada ao girar a roda do isqueiro; Combustível: o gás butano do isqueiro; Comburente: oxigênio do ar.

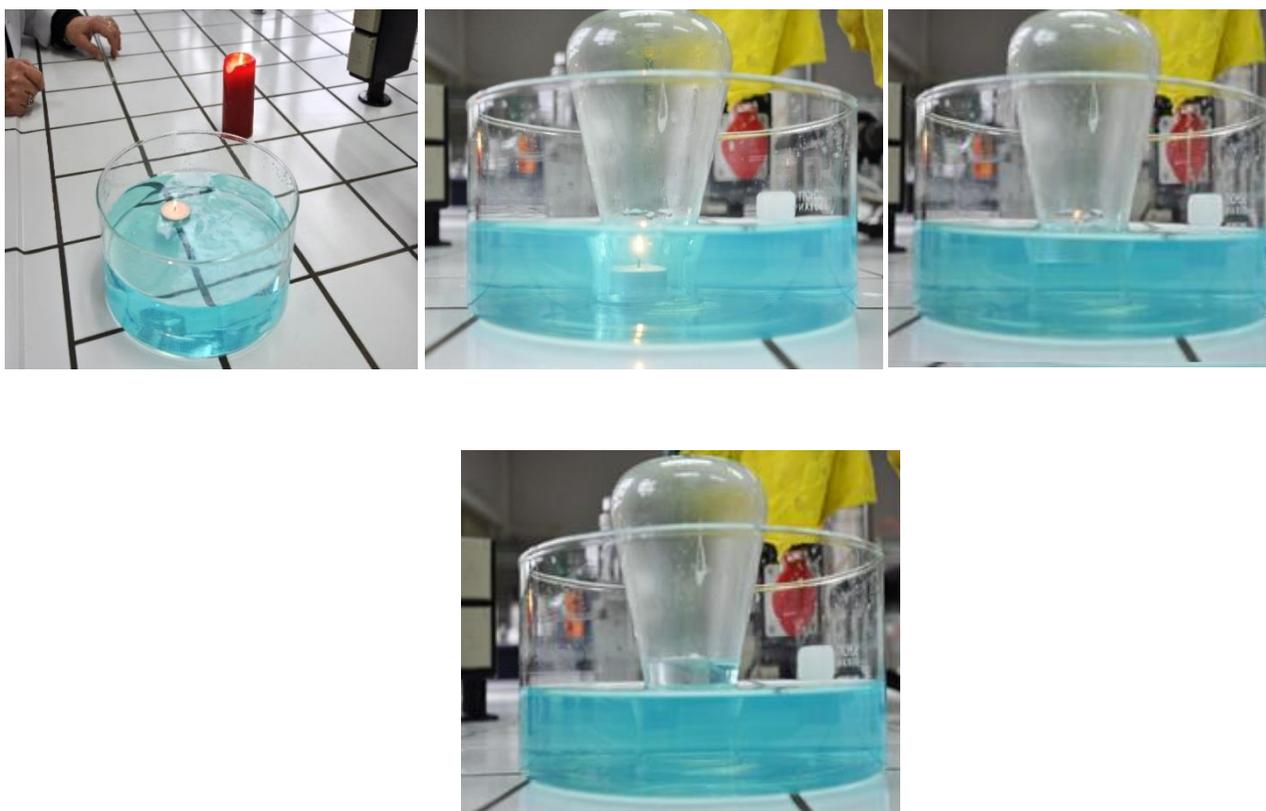
### **Reação de combustão – importância do oxigênio do ar**

Para verificar a importância do oxigênio do ar na reação de combustão, podemos realizar a seguinte experiência: coloca-se uma pequena vela acesa numa tina de vidro com água e posiciona-se um copo sobre a vela acesa, conforme a figura abaixo. Verifica-se que ao fim de algum tempo a chama se apaga e o nível de água dentro do copo irá subir.

A reação de combustão dá-se de acordo com o esquema seguinte:

Vela (parafina) + oxigénio(O<sub>2</sub>) → Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) + água (H<sub>2</sub>O) + energia

A vela apaga-se passado pouco tempo pois na falta de pelo menos um dos componentes descritos no triângulo do fogo, este não se inicia, ou se estiver aceso, apaga-se. Neste caso foi o oxigénio do ar (comburente) que se esgotou pois ainda tínhamos combustível (parafina da vela).



O que acontece é que o aumento da temperatura provocado pela vela acesa aumenta o volume de ar dentro do copo. Quando a vela se apaga, a temperatura diminui, resultando numa diminuição do volume de ar, que é compensada pela subida do nível de água.

### Explosões

Explosão é uma forma de combustão com formação de chama e estrondo. As substâncias que sofrem combustões explosivas, como a dinamite, ao explodir libertam grandes quantidades de gases e calor num curto período. Os gases expandem com o calor e se estiverem num espaço confinado a pressão aumenta até ao ponto de ruptura do recipiente e dá-se a explosão.

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 deste gás é muito superior a qualquer outro combustível. Assim, para a mesma massa, as explosões com hidrogénio são as mais violentas.

É por esta razão que a NASA o utiliza nos seus projetos espaciais 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.



Alem disso é também quimicamente muito ativo, sempre procurando outro elemento para se combinar. As misturas de hidrogénio e oxigénio são inflamáveis, até mesmo explosivas, dependendo da respetiva concentração.

## **Tecnologias de Produção do Hidrogénio**

### **1- Reação Metal - ácido**

O hidrogénio é conhecido desde há centenas de anos 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 com faíscas elétricas e percebeu que obtinha um produto que parecia água<sup>1</sup>. Estes resultados foram posteriormente explicados por 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.3), ao adicionar ácido clorídrico ao balão contendo aparas de zinco, observa-se a efervescência causada pela grande liberação de bolhas, formadas por hidrogénio gasoso, H<sub>2</sub>. 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:



A Eq. 1) traduz esta reação em que o zinco metálico reage com ácido clorídrico, produzindo cloreto de zinco e libertando hidrogênio.

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

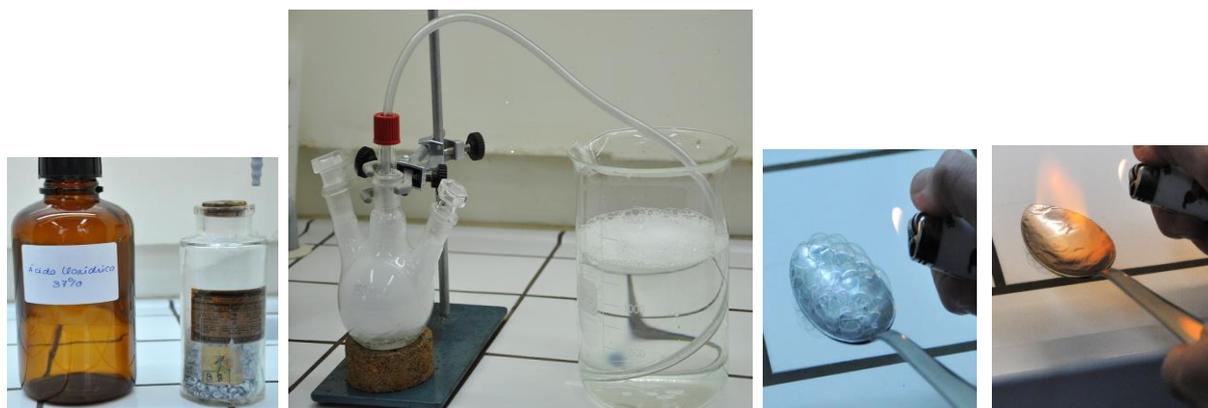


Figura 3 – Reação produção de hidrogênio e sua combustão

O hidrogênio foi identificado devido ao pequeno estalido que ocorreu quando uma pequena chama foi aproximada da espuma retirada do copo de recolha. A libertação do hidrogênio é comprovada através da sua combustão.

## 2 – Eletrólise da água

A eletrólise da água é um outro método de preparação de hidrogênio em laboratório e que consiste na decomposição molecular da água nos seus constituintes base, o oxigênio e o hidrogênio, passando através do fluido uma corrente elétrica gerada pelo movimento dos iões em solução. A passagem de eletrões através do circuito exterior gera reações de oxidação e redução na zona de contacto dos eléctrodos (ânodo e cátodo) com a água, dando-se aí a formação de  $O_2$  e  $H_2$ .

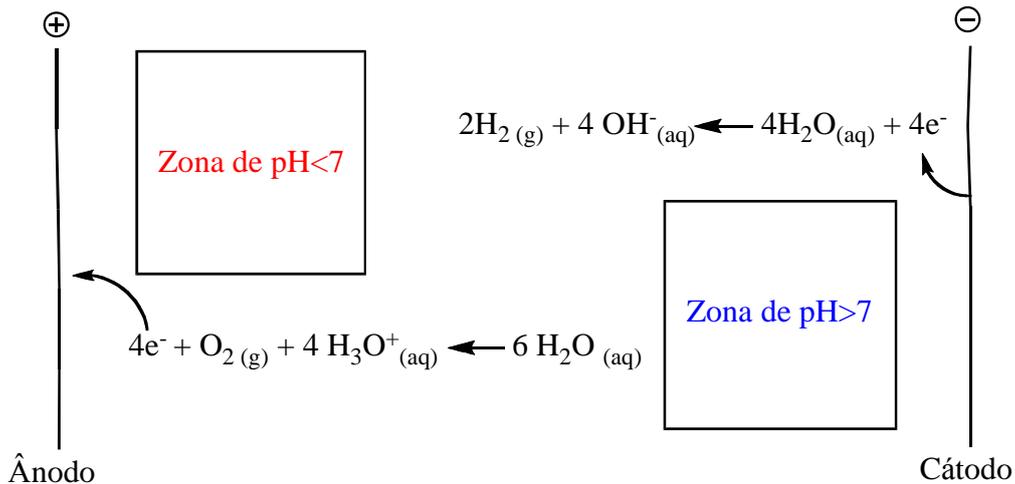


Figura 4 - Esquema da eletrólise da água.

Foi a partir da eletrólise da água que se geraram os produtos necessários para a combustão, o oxigénio e o hidrogénio, sendo que estes vão depois entrar em contacto num tubo posicionado previamente em cima dos dois elétrodos. Inicialmente o tubo encontra-se cheio de água por forma a aumentar a pureza da mistura gasosa que aí se formará. Adiciona-se à água ácido sulfúrico para aumentar a concentração de iões no meio aquoso, permitindo assim uma menor resistência da água à passagem da corrente elétrica já que esta apresenta uma constante de dissociação iónica muito baixa quando pura:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-14}, \text{ a } 298\text{K e } P_{\text{abs}} = 1 \text{ atm}$$

No decorrer da eletrólise nota-se que um elétrodo produz duas vezes mais gás que o outro (Fig.5). Este fenómeno confirma a já conhecida composição da água, 2 moles de H para cada mol de O,  $\text{H}_2\text{O}$ .

Apesar da grande aplicabilidade industrial desta técnica para a produção de dois gases valiosos, a eletrólise é um processo dispendioso do ponto de vista económico pois origina um elevado consumo de energia elétrica.

Atualmente, na produção industrial de hidrogénio dá-se preferência a processos químicos aplicados a combustíveis fósseis, essencialmente por razões de ordem financeira.

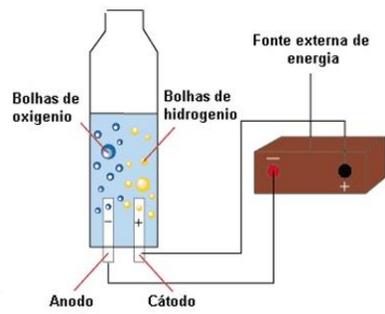


Figura 5 – Esquema e montagem laboratorial da electrólise da água

## Bibliografia

- 1 – Henry Cavendish, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 74 (1784) 119–153
- 2 – M. Kim, *Annals of Science*, 63 (2006) 291–318

## Química na Cozinha

Textos adaptados por Filipa Franco e revistos por Rita Vilas Boas, Faissen Lordeiro, Miguel Almeida

Alunos do Mestrado Integrado em Engenharia Química

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

### “Esparguete colorido”

#### Procedimento experimental:

Num copo de precipitação, começam-se por ferver 300mL de água. Posteriormente juntam-se 2g de ágar-ágar em pó e corante alimentar da cor desejada, agitando sempre o preparado. Depois de um repouso breve, com o auxílio de uma seringa, aspiram-se cerca de 3mL para o interior de um tubo de silicone e mergulha-se o mesmo numa proveta com água e gelo, cerca de 45s, para que a solução arrefeça e gelifique. Por último basta pressionar a seringa e recolher o esparguete para um prato, repetindo-se os últimos passos da gelificação o número de vezes necessária para a quantidade pretendida.

Nos restaurantes gourmet, a técnica usada é semelhante mas, em vez de usarem água, cozem-se vegetais (grelas, espinafres,...). Nesse caso, primeiro forma-se a polpa a partir dos vegetais previamente cozidos e, com o auxílio de um passador, recolhe-se simplesmente o suco e é a este que se junta água e ágar-ágar, levando ao lume de seguida.

Nesta experiência utiliza-se a técnica de gelificação que consiste na formação de um gel, geralmente por descida de temperatura, sendo o gel formado rígido e de formas bem definidas.



## “Espumas doces”

### Procedimento experimental:

Começa-se por derreter 80-100g de chocolate de culinária num copo de precipitação numa placa de aquecimento. Adicionam-se 300mL de água e, após ferver, junta-se uma colher de chá de lecitina, agitando sempre a solução. Deixa-se arrefecer um pouco e coloca-se num recipiente com um diâmetro bastante superior ao de uma varinha mágica. Com o auxílio da mesma faça círculos à superfície do preparado, originando a espuma que deve ser recolhida com uma colher para um copo. Guarde no frigorífico cerca de 5 minutos antes de servir.

As espumas são frequentes nos novos pratos de cozinha vanguardista e devem ser feitas na hora. Os ingleses chamam *vapor* a esta espuma, e os espanhóis, *aire*, para não se confundir com a espuma de sifão que tem, ao contrário desta, consistência de uma mousse. É feita à base de um líquido (sumo, caldo, infusão, etc.) e usa-se lecitina (um pó produzido comercialmente a partir da soja com um efeito emulsificante para impedir que a água e a gordura se separem nos alimentos). Recomenda-se o uso da batedeira de claras apenas com as pontas mergulhadas no líquido para formar espuma. As lâminas da varinha devem ser de metal e não plástico porque este impede a estabilização das espumas.



## “Segredos dos chefes”

- Gelatina + ananás: ligação perigosa!
- Porque fazem as cebolas chorar?

### Gelatina + ananás – ligação perigosa!

A gelatina é extraída de ossos e tecido conjuntivo de animais. Existem produtos com características semelhantes, obtidos de algas ou plantas, mas não são verdadeira gelatina. Analisando a composição da gelatina verifica-se que é essencialmente constituída por proteína (85 a 90%), água (8%-13%) e sais minerais (2%).

No caso da gelatina, a proteína envolvida é o colagénio, formado por três cadeias em hélice, enroladas umas nas outras como numa corda. Quando aquecida acima dos 70°C, esta estrutura desenrola-se, devido à desnaturação do colagénio, obtendo-se as cadeias proteicas separadas, a gelatina. Estas cadeias não voltam a enrolar-se como originalmente mas, se dissolvidas em água quente e depois arrefecidas, ligam-se entre si em algumas zonas formando uma rede tridimensional. Esta rede retém o líquido presente - água ou sumo - o que provoca um espessamento que se mantém estável numa gama variada de temperaturas.

Poucas moléculas de proteína conseguem imobilizar uma grande quantidade de água (10g de gelatina gelificam 5dL de água).

### Sabia que não pode juntar ananás fresco à gelatina?

O ananás fresco impede a gelificação permanecendo a mistura sempre líquida. O ananás contém uma enzima, *bromelaína*, que funciona como uma tesoura que corta as ligações entre alguns dos aminoácidos das cadeias proteicas, impedindo portanto a formação da rede responsável pela formação do gel.

Para fazer uma sobremesa de gelatina e ananás tem de se ferver primeiro o ananás natural para desativar a enzima, ou usar ananás enlatado, que já foi previamente aquecido para se conservar. Outras frutas, como o figo, a papaia e o kiwi, causam o mesmo efeito.



## Porque fazem as cebolas chorar?

A cebola, a que os botânicos chamam *Allium cepa*, é um ingrediente base da cozinha portuguesa. Um dos primeiros passos, da maioria das receitas tradicionais, é um refogado. Todos já repararam que a cebola, antes de ser cortada, não tem um odor muito intenso. Isto deve-se ao facto de os compostos que lhe dão cheiro característico só serem produzidos quando se dá o corte, funcionando como uma defesa da planta contra predadores.

As células que compõem a cebola contêm compostos de enxofre e uma enzima, *alliinase*, que está isolada em bolsas. Quando se cortam os tecidos vegetais, a *alliinase* catalisa a reacção com o derivado do aminoácido cisteína, presente nas restantes células, dando origem a uma série de produtos químicos temporários, responsáveis pelos sabores, odores e cheiros característicos. Um composto formado é o ácido sulfénico, que por ser bastante volátil e instável, dissipa-se pelo ar e eventualmente chega aos olhos, onde vai reagir com a água para formar uma solução muito fraca de ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico irrita as terminações nervosas dos olhos, fazendo-os arder. Em resposta a esta irritação, as glândulas lacrimais entram em acção e tentam diluir o ácido, sendo igualmente responsável pelo ardor na língua quando se ingere cebola crua.

## Como evitar as lágrimas?

Habitualmente as pessoas têm a tendência a esfregar os olhos, o que se torna pior porque ainda há sumo de cebola nas mãos. A maioria dos truques para evitar as lágrimas envolve água, como cortar a cebola debaixo de água, reduzindo assim a quantidade que chega aos olhos, dado que o composto é solúvel em água. Aconselhável é guardar a cebola no frigorífico uma hora antes de a cortar. Desta forma reduz-se drasticamente a actividade da enzima reduzindo também a quantidade do composto volátil produzido. Por outro lado, estando a uma temperatura mais baixa, a evaporação do mesmo também é menor.

## Segredos do refogado?

Os refogados são caracterizados por se querer a cebola transparente e dourada. Para que tal aconteça alguma das substâncias voláteis, que dão o aroma forte, são convertidas em outras mais agradáveis por serem cerca de 50 a 70 vezes mais doces que o açúcar. O químico Martin Lersch descobriu que quanto mais alto for o pH da reacção mais rápido é o processo porque se reduz drasticamente a acidez da cebola. Basta então adicionar um pouco de bicarbonato de sódio no início da confecção.

### **Materiais com memória**

Alberto Ferro

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

Quando se aumenta a temperatura de um material sólido este passa sucessivamente do estado sólido, ao líquido e ao gasoso<sup>\*</sup>. Em condições de equilíbrio, estas transformações de fase (ou estado) ocorrem a temperatura constante, no caso de elementos puros e de certas ligas ou misturas<sup>†</sup>. No caso geral das ligas e misturas estas transformações ocorrem em intervalos de temperatura.

Os metais, no estado sólido, são em regra cristalinos e podem ser descritos por uma ou mais fases cristalinas<sup>‡</sup>. No estado sólido podem também ocorrer transformações de fase correspondentes à substituição de uma ou mais fases por outra ou outras.

As ligas com memória de forma que vamos experimentar são as chamadas NITINOL. Estas ligas com ~50%at Ni -50%at Ti foram descobertas no N.O.L (*Naval Ordnance Laboratory*) nos USA em 1962. Contudo, o efeito de memória de forma já era conhecido anteriormente em ligas Au-Cd (1932) e Cu-Zn (1950).

As ligas com memória baseiam-se em soluções sólidas ordenadas que apresentam duas fases solidas distintas, uma a alta temperatura (austenite) e outra a baixa temperatura (martensite) que se transformam reversivelmente uma na outra por efeito da temperatura.

Contrariamente ao senso comum, a fase de baixa temperatura é dúctil, podendo ser facilmente deformada, enquanto a fase de alta temperatura é muito mais rígida, sendo muito difícil deformá-la de forma permanente.

Nas ligas NITINOL, a temperatura a que esta transformação ocorre pode ser controlada através de pequenas variações da composição química. No nosso caso a liga tem 55,3%at.

---

<sup>\*</sup> Considerando que o material não se decompõe.

<sup>†</sup> Ligas ou misturas são materiais constituídos, à escala atómica, por dois ou mais elementos químicos. A designação liga é geralmente reservada para o caso dos materiais metálicos.

<sup>‡</sup> Uma fase sólida cristalina é idealmente uma região com uma única estrutura cristalina e composição química.

Ni e a sua temperatura de transformação é  $\sim 50^{\circ}\text{C}$ . Numa liga com 56%at. Ni a temperatura de transformação é  $-14^{\circ}\text{C}$ .

### ***Mas afinal o que é o efeito de memória de forma?***

Primeiro deforma-se a liga no estado martensítico, abaixo da sua temperatura de transformação. Depois, se se aquecer esta liga acima da temperatura de transformação (por exemplo com um secador de cabelo), ela transformar-se-á em austenite. À medida que se transforma, vai adotando a forma inicial que tinha antes de ter sido deformada: adquire literalmente a mesma forma! Ao arrefecer de novo, para voltar ao estado martensítico, não ocorre mais nenhuma mudança de forma<sup>§</sup>. Este processo pode repetir-se vezes sem conta. Nestas ligas muito especiais, o processo de deformação plástica no estado martensítico e a transformação de fase austenite $\leftrightarrow$ martensite usam o mesmo mecanismo físico a que se dá o nome de maclagem.

Apesar de terem sido, durante algumas décadas, não mais do que uma curiosidade laboratorial, as ligas com memória de forma são hoje incontornáveis no campo dos biomateriais para aplicações em medicina e ortodontia. Estes materiais encontram também aplicação crescente como dispositivos termomecânicos para aplicações especiais ou de uso doméstico como sejam as torneiras de temperatura constante.

---

<sup>§</sup> É ainda possível “treinar” estas ligas de modo que tenham uma forma no estado martensítico, a baixa temperatura, e outra no estado austenítico, acima da temperatura de transformação. A este efeito chama-se Efeito de Dupla de Memória de Forma.

## A borracha e a temperatura

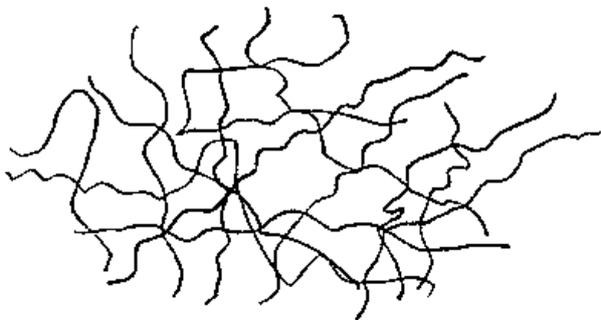
Amélia Almeida

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

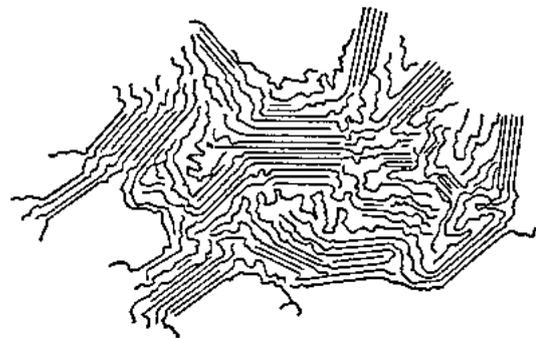
### O que é a borracha?

A borracha é um material polimérico, i.e. constituído por moléculas de compostos de carbono, ligados por ligações covalentes (fortes) formando longas cadeias que se encontram ligadas entre si por ligações secundárias (fracas). Por este motivo, as borrachas são muito flexíveis à temperatura ambiente, apresentando enorme elasticidade (podem ser extensamente deformadas sem se danificar, pois a deformação é recuperada logo que a força deixa de ser exercida: comportam-se como um *elástico*).

A nível de estrutura, a borracha (como os outros polímeros) pode assemelhar-se a um prato de esparguete (onde cada fio de esparguete corresponde a uma cadeia molecular) cujas cadeias se encontram emaranhadas e desordenadas. Diz-se, assim, que se trata de um *material amorfo* (desorganizado, sem ordem) por oposição a um *material cristalino* em que os seus constituintes (moléculas, átomos ou iões) se encontram organizados de forma regular.



Modelo de estrutura de polímero amorfo (desordenado).



Modelo de estrutura de polímero com zonas parcialmente cristalinas (ordenadas).

Fonte: [http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-Shrinkage\\_in\\_plastics.html](http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-Shrinkage_in_plastics.html)

### Quando se aquece a borracha sob tensão...

Quando a borracha é aquecida, ela apresenta um comportamento diferente da maioria dos outros materiais. A maioria dos materiais expande-se quando aquecida. Por exemplo, um fio metálico de cobre aumenta de comprimento quando a sua temperatura aumenta. O aumento

de temperatura causa um aumento na vibração dos átomos ou moléculas e um maior afastamento das suas posições normais, que se traduz num aumento de volume. Essa dilatação (expansão) dos metais verificada por aumento da temperatura é o princípio de funcionamento dos termómetros, dos termostatos bimetálicos etc.

No entanto, mesmo num metal, é também possível que o seu aquecimento cause contração (diminuição de volume). Se o aumento de temperatura for suficiente para causar uma mudança na forma de organização dos átomos ou moléculas (estrutura cristalina), pode ocorrer dilatação ou contração do material, dependendo do volume ocupado em cada uma das formas organizadas.

A borracha é um polímero constituído por longas cadeias de moléculas entrelaçadas (é um elastómero de cadeia longa) que tendem a alinhar-se quando a borracha é colocada sob tensão. Quando a borracha é aquecida, as regiões centrais das cadeias individuais vibram mais intensamente, puxando as cadeias adjacentes e causam a contração da borracha.



As longas cadeias moleculares na borracha não esticada e esticada (sob tensão)

Fonte: <http://revisionworld.co.uk/a2-level-level-revision/physics/force-motion/solid-materials/rubber>

### **Quando se arrefece a borracha...**

A borracha e outros polímeros apresentam uma propriedade designada "**Temperatura de Transição Vítrea**" ( $T_g$ ), que é a temperatura abaixo da qual o material apresenta comportamento rígido e frágil (como um vidro) e acima da qual se comporta como um material flexível e dúctil.

À temperatura ambiente as borrachas apresentam um comportamento flexível, sendo facilmente deformadas sem se danificar, pois estão acima da sua  $T_g$ . Quando aplicamos uma tensão as cadeias poliméricas alinham-se e podem até deslizar facilmente umas sobre as outras. Quando mergulhamos a borracha em azoto líquido (cuja temperatura de ebulição é cerca de  $-190^\circ\text{C}$ ) esta fica a uma temperatura muito baixa, inferior à sua  $T_g$ , e passa a comportar-se como um material rígido. Quando a borracha rígida é submetida a um esforço

de impacto, por exemplo, não se consegue deformar, pois as cadeias moleculares têm mobilidade muito reduzida a essa temperatura e não deslizam umas sobre as outras, e fratura.

Estes comportamentos da borracha em função da temperatura podem ser utilizados em diversas aplicações industriais. Uma das aplicações mais conhecidas que tira partido da fragilidade da borracha a baixa temperatura é a reciclagem de pneus.

### ***Aplicação industrial - Reciclagem de pneus (Valorização energética)***

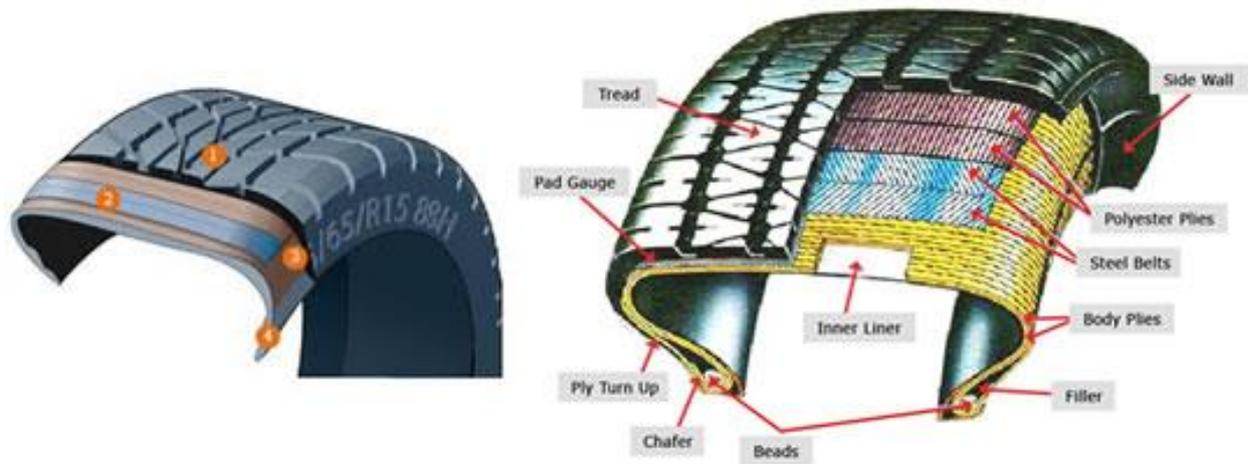
(Fonte: <http://www.valorpneu.pt/Reciclagem>)

Os pneus são constituídos por borracha vulcanizada (endurecida com enxofre), tecido (poliéster, nylon, etc.) e aço. Os recicladores utilizam pneus usados como matéria-prima, que processam de modo a obterem como produtos finais: tecido, aço e granulado de borracha com diferentes granulometrias, os quais são vendidos para diversas aplicações.



*Estrutura da borracha vulcanizada com enxofre.*

Fonte: <http://www.tunisia-sat.com/vb/showthread.php?t=2238933>



*Estrutura e materiais constituintes de um pneu.*

Fonte: [http://www.biotyre.com/en/industries\\_rubber-tyre.php](http://www.biotyre.com/en/industries_rubber-tyre.php)

Os processos utilizados na reciclagem de pneus consistem na trituração/moagem para separação dos materiais constituintes dos pneus e pode ser efetuada por:

- **processo mecânico** – que consiste na trituração mecânica dos pneus. A borracha é fragmentada numa série de trituradoras e moinhos, sendo o aço retirado por separação magnética e o tecido separado por diferença de densidade. No final do processo, o granulado de borracha é crivado e dividido em várias gamas, consoante a sua granulometria.
- **processo criogénico** – em que é utilizado azoto líquido para fragilizar a borracha à temperatura aproximada de  $-160^{\circ}\text{C}$ , num túnel criogénico, o que permite a fragmentação da borracha e a produção de granulado de borracha fino. Os pneus são submetidos a uma trituração mecânica prévia sendo, em seguida, os seus fragmentos transportados para o túnel criogénico, onde a temperatura de entrada do azoto é de aproximadamente  $-192^{\circ}\text{C}$  e a temperatura de saída da borracha é cerca de  $-80^{\circ}\text{C}$ . Após a passagem pelo túnel criogénico e pelos martelos pneumáticos, o aço e o tecido são separados da borracha por separação magnética e por aspiração, respetivamente.

Os produtos obtidos na reciclagem dos pneus são aço, tecido e granulado de borracha, que são depois utilizados como matéria-prima no fabrico de outros produtos. O aço é vendido a empresas de processamento de metais (reciclagem); o tecido (até há pouco tempo depositado em aterro) é atualmente passível de valorização energética; o granulado de borracha é usado,

por exemplo, no fabrico de pavimentos desportivos, nomeadamente para campos de futebol, pistas de tartan, recintos desportivos diversos e parques infantis. Os granulados mais finos podem ser incorporados no fabrico de asfalto (BMB – Betume Modificado com Borracha) para construção ou reparação de estradas.

Mais informações:

<http://www.valorpneu.pt/Reciclagem>

[www.recipav.pt/artigo.php?id=5&sid=12](http://www.recipav.pt/artigo.php?id=5&sid=12)

[www.recipav.pt/artigo.php?id=5&sid=13](http://www.recipav.pt/artigo.php?id=5&sid=13)

[www.biosafe.pt](http://www.biosafe.pt)

[www.recipneu.com](http://www.recipneu.com)

## Química do Supermercado

Sílvia Chaves

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



Neste tema optou-se por fazer uma abordagem da química utilizando produtos de uso corrente, facilmente adquiridos em supermercados. Nas prateleiras e expositores de um supermercado é possível encontrar desde alimentos e temperos até artigos para variadas aplicações tais como cosmética, desinfecção, higiene pessoal e habitacional. Todos estes diferentes produtos incluem na sua composição compostos químicos, quer sejam de origem natural, tais como os antioxidantes que o vinho tinto, o chá e os frutos vermelhos possuem, quer estejam sob a forma de aditivos tais como corantes (em gomas, gelatinas, doces, champôs), aromatizantes (em géis de banho, amaciadores de roupa, aromatizadores de ambiente), estabilizadores (em caldos concentrados, biscoitos, sumos), espessantes (em pudins, iogurtes), edulcorantes (em sumos, Canderel) ou reguladores de acidez (em pão, compotas). Muitos dos aditivos alimentares são mesmo constituintes naturais do organismo, tais como o ácido cítrico (antioxidante e regulador de acidez) e o ácido láctico (regulador de acidez), ou estão presentes em plantas e frutos, tais como as antocianinas (pigmentos fenólicos responsáveis pelas cores vermelha, azul, violeta), a lecitina (antioxidante, estabilizador e espessante) e a goma-arábica (espessante, estabilizador) excretada pela casca das acácias africanas, enquanto outros são obtidos através de um processo de síntese artificial em laboratório. Porém, todos os aditivos utilizados comercialmente estão sujeitos a uma legislação rigorosa que regula a sua autorização, utilização e rotulagem.

Este módulo de experiências foi concebido pois com o intuito de aproveitar a grande diversidade de compostos químicos disponíveis nos supermercados, tendo sido delineadas experiências em que serão aplicados testes de análise qualitativa e quantitativa baseados em reações colorimétricas, sem recorrer a equipamento laboratorial sofisticado.

Este tópico inclui as seguintes experiências:

- Revelação “sangrenta”
- Detecção de açúcares redutores

- Doseamento de vitamina C nos alimentos
- Reação relógio.

### Revelação “sangrenta”

O açafrão (*za'ferân*, do persa) é uma especiaria, originária da Grécia e do sudoeste asiático, que é utilizada desde a Antiguidade para confeccionar aves, caldos, massas e *risotos*. Há também indicações do seu uso como corante ou com fins medicinais, nomeadamente no tratamento do cancro (ensaios *in vivo* e *in vitro* mas não testes clínicos), de estados depressivos (estudos clínicos preliminares) e como anti-séptico.

O açafrão contém mais de 150 compostos voláteis e responsáveis pelo seu aroma final, muitos deles sendo carotenóides. A sua avaliação é normalmente feita com base na determinação laboratorial dos teores em alguns componentes, tais como a crocina (cor), a picrocrocina (sabor) e o safranal (aroma).

A curcumina é um outro composto existente no açafrão que, para além de ser responsável pela sua cor amarelada, é também um indicador ácido-base. Com efeito, em meio ácido, a cor apresentada é amarela, enquanto em meio básico o açafrão passa a vermelho. Com base neste comportamento ácido-base, decidiu-se preparar uma experiência (revelação “sangrenta”) que envolvesse um papel embebido em açafrão.

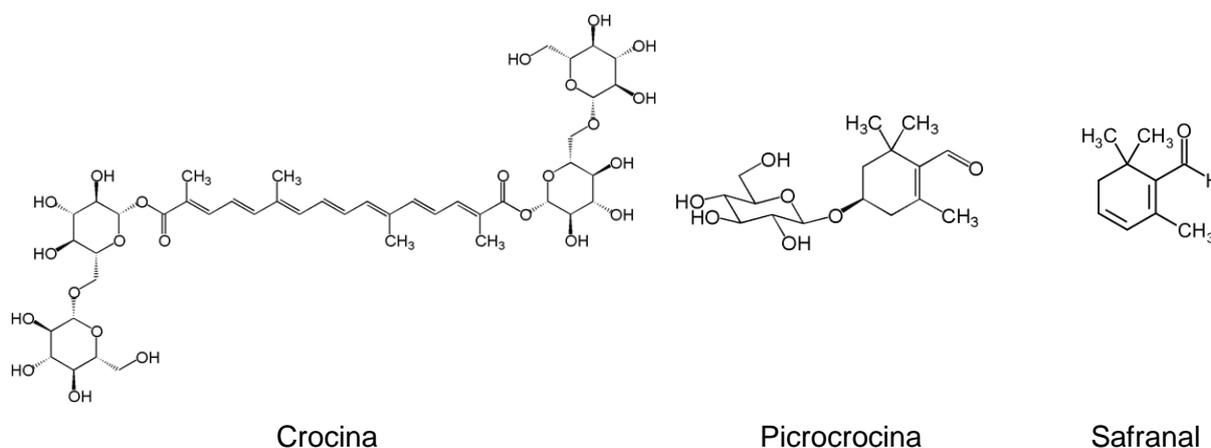


Fig.1 – Estruturas de alguns compostos representativos da constituição do açafrão.

O papel começa por ser pintado com uma solução aquosa de açafrão sendo posteriormente seco em estufa. Fica deste modo apto a fazer uma revelação a vermelho (“sangrenta”) de qualquer coisa que lhe toque e que esteja em meio básico (usando solução de bicarbonato de sódio).

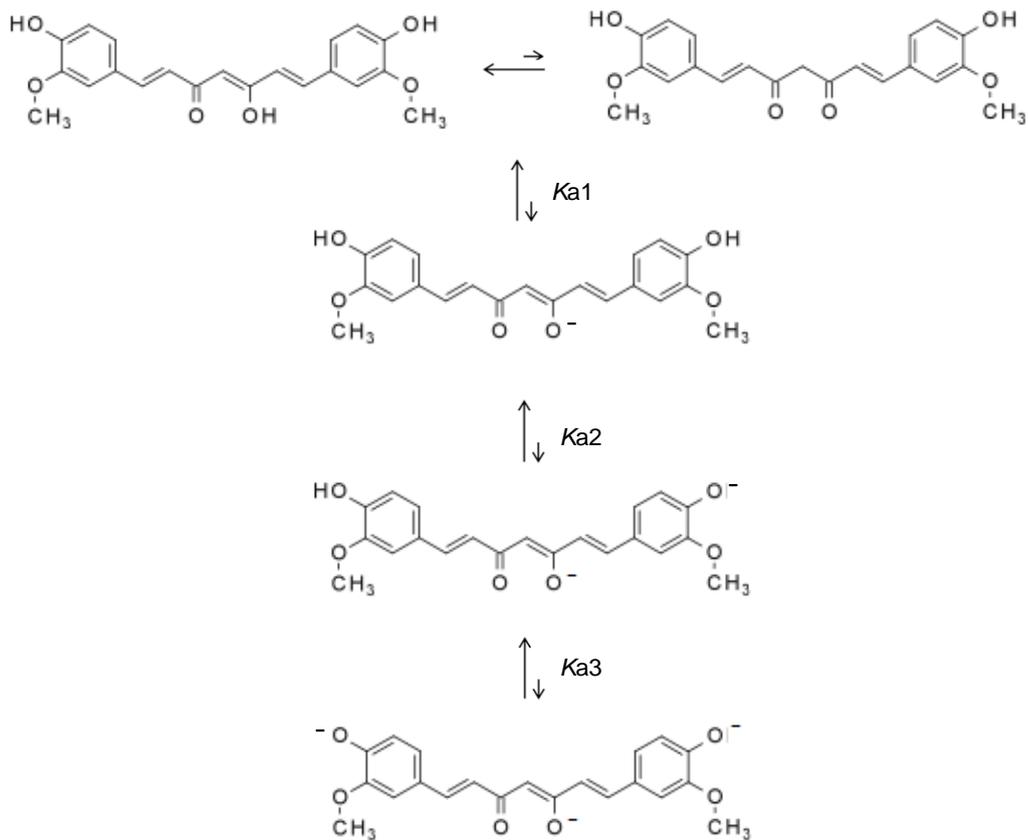


Fig. 2 – Equilíbrios ceto-enólico e ácido-base da curcumina.



Fig. 3 – Revelação ácido-base, usando papel impregnado de açafrão.

### Deteção de açúcares redutores

Os hidratos de carbono, e os açúcares em particular, são a principal fonte de energia para o corpo, mas também desempenham um papel importante no prazer que sentimos quando nos alimentamos. Eles adicionam sabor doce, aroma e textura a uma larga variedade de alimentos

que, de outra forma, não se conseguiria ingerir. Os hidratos de carbono produzem também 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 de bebidas e alimentos. Consoante o grau de refinação utilizado, podem-se distinguir diferentes tipos de açúcares: açúcar refinado (cor branca e cristais finos), açúcar de confeitiro (obtido por moagem de açúcar refinado e adição de amido para evitar agregação de cristais), açúcar cristal (não passa por alguns passos de refinação e tem cristais maiores) e açúcar mascavado (não refinado, cor castanha).



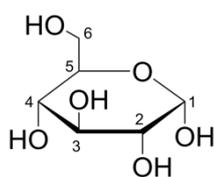
<http://www.lilasflorais.com.br/venenos-brancos-a-trilogia-leite-acucar-e-farinha/>



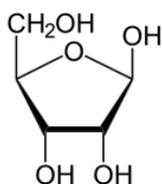
<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/cana-de-acucar/tipos-de-acucar-2.php>

Fig. 4 – Tipos de açúcar.

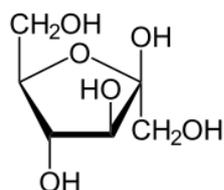
Os açúcares podem ser não hidrolisáveis, ou seja, monossacarídeos (glicose, ribose, frutose), ou hidrolisáveis, tais como os dissacarídeos (sacarose, maltose, lactose), que originam 2 moléculas de monossacarídeos por hidrólise, e os polissacarídeos (amido, glicogénio, celulose), que sofrem hidrólise produzindo vários monossacarídeos. Os polissacarídeos normalmente estão presentes no talo e folhas de vegetais bem como nas camadas externas de revestimento de grãos.



Glicose



Ribose



Frutose

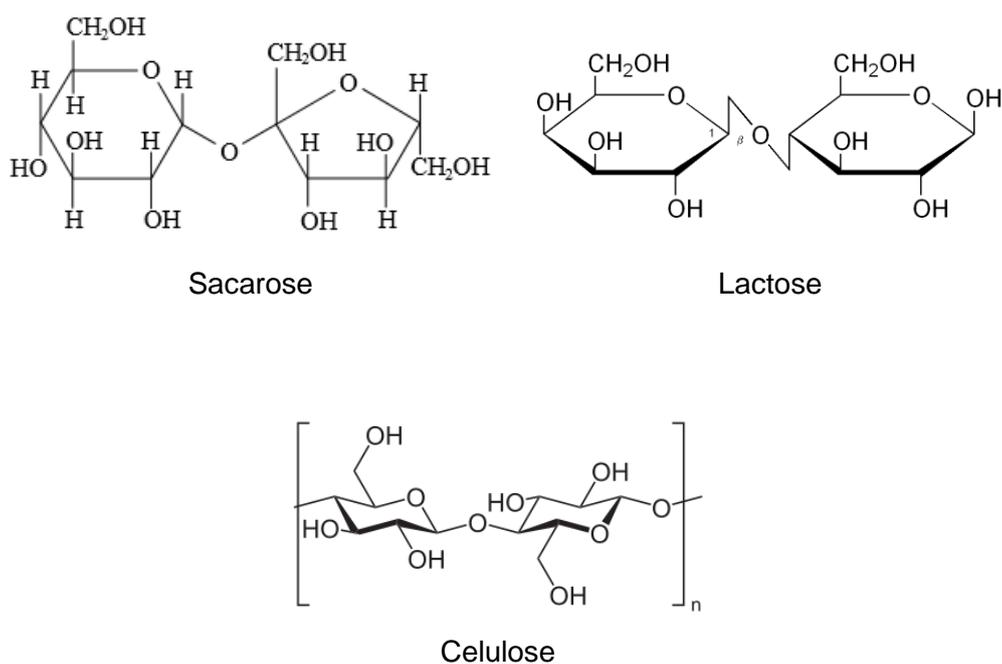
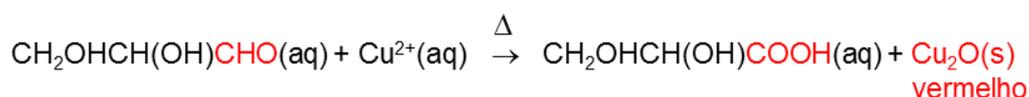
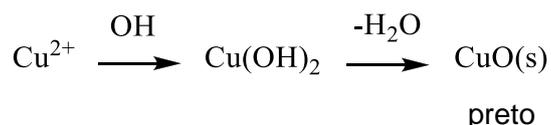


Fig. 5 – Exemplos de monossacarídeos, dissacarídeos e polissacarídeos.

Os açúcares que possuem um grupo OH livre na posição C-1 são bons agentes redutores e designam-se açúcares redutores. Estes são capazes de reduzir iões metálicos em solução alcalina sob aquecimento, como ocorre no teste de Benedict [1], que se baseia na redução de iões  $\text{Cu}^{2+}$  a  $\text{Cu}^+$ , com formação de um precipitado vermelho de  $\text{Cu}_2\text{O}$ .



Neste teste é adicionada uma amostra (açúcar de pacote, sumo, bolacha) a uma mistura de uma solução A (citrato em meio básico) e de uma solução B (solução aquosa de sulfato de cobre), levando-se, em seguida, a um banho de água fervente. Após cerca de 2-3 minutos, o desenvolvimento de uma cor vermelha indica a presença na amostra de açúcares redutores. Para evitar a formação de um precipitado negro de  $\text{CuO}$ ,



que mascararia o resultado final do teste de Benedict, a solução A contém citrato, que garante a presença dos iões  $\text{Cu}^{2+}$  em solução mediante a formação de um complexo com o citrato.

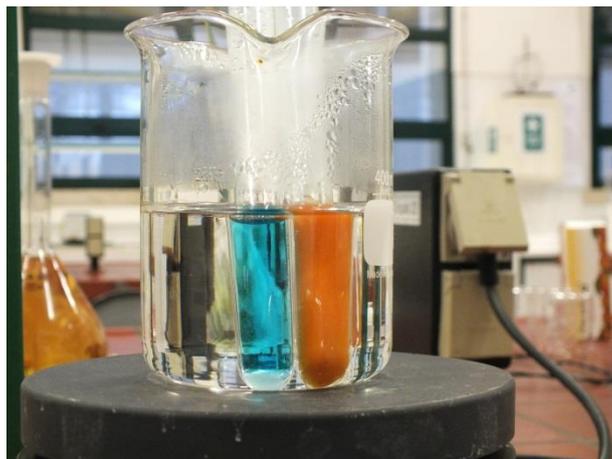


Fig. 6 – Teste de Benedict.

### Doseamento de vitamina C nos alimentos

O ácido ascórbico, ou vitamina C, está envolvido em diversas reações celulares, sendo a sua principal função a hidroxilação do colagénio, proteína que dá resistência aos ossos, dentes, tendões e paredes dos vasos sanguíneos. É também um antioxidante potente (aditivo alimentar E300), responsável por transformar os radicais livres em formas inertes, além de ser usado na síntese de neurotransmissores. A sua falta provoca o escorbuto, uma doença que aparecia frequentemente entre os marinheiros, devido à falta de consumo de fruta e legumes frescos.

Ao pH fisiológico, o ácido ascórbico encontra-se na forma do seu ião ascorbato, uma espécie altamente estável devido a deslocalização eletrónica.

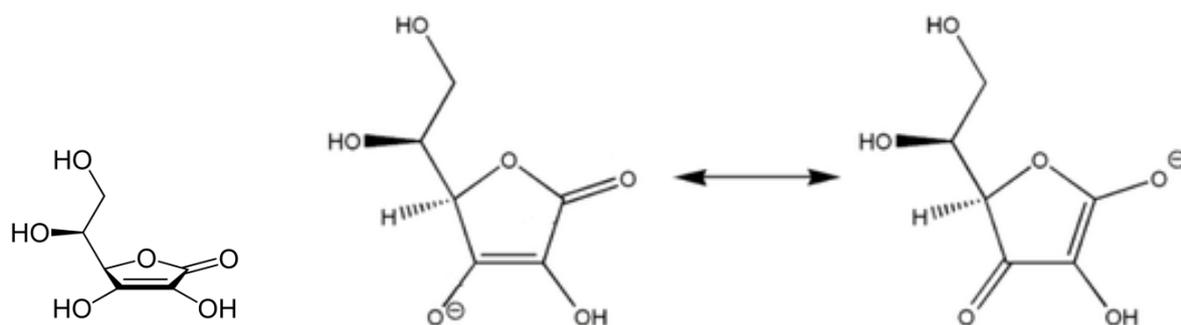


Fig. 7 - Estrutura do ácido ascórbico e deslocalização eletrónica no anião ascorbato.

Nesta experiência é determinado o conteúdo em ácido ascórbico de diferentes alimentos (maçãs, laranjas, limões, bróculos) através de um método iodométrico. A amostra é titulada com uma solução de tintura de iodo dando-se uma reação redox, em que o iodo é reduzido a iodeto através da oxidação do ácido ascórbico a ácido desidroascórbico. Quando todo o ácido

ascórbico é titulado, o excesso de iodo adicionado é detetado a partir da presença do indicador amido e a titulação termina.

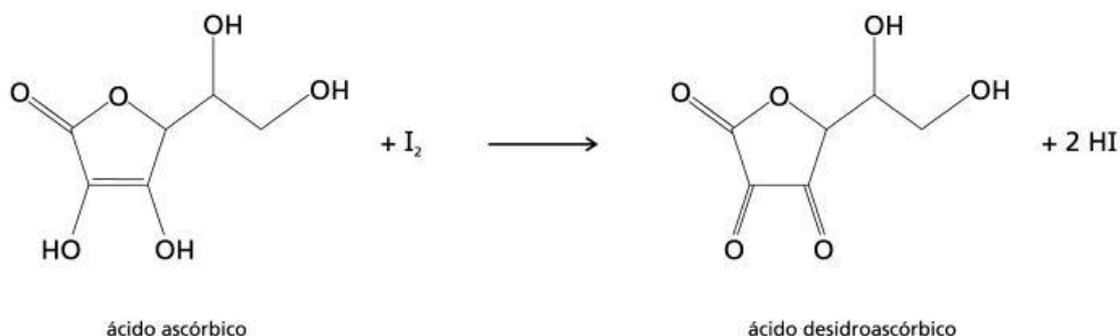
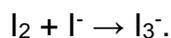


Fig. 8 – Reação do ácido ascórbico com o iodo.

O amido é uma mistura de dois polissacáridos, a amilose (10-20%) e a amilopectina (80-90%). A amilose é uma macromolécula com 250 - 300 resíduos de D-glicose, possuindo uma estrutura helicoidal. Ao adicionar uma solução de iodo ao amido, na realidade está a adicionar-se o anião triiodeto porque, em solução aquosa, tem-se a reacção:



O anião triiodeto fica “aprisionado” no interior das hélices de amilose e aparece uma cor intensa azul acinzentada.

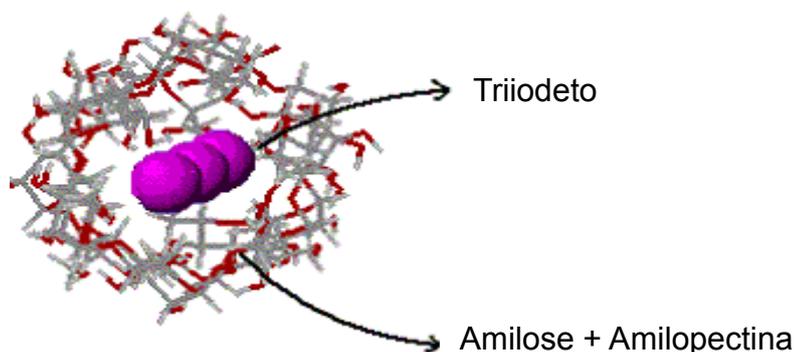
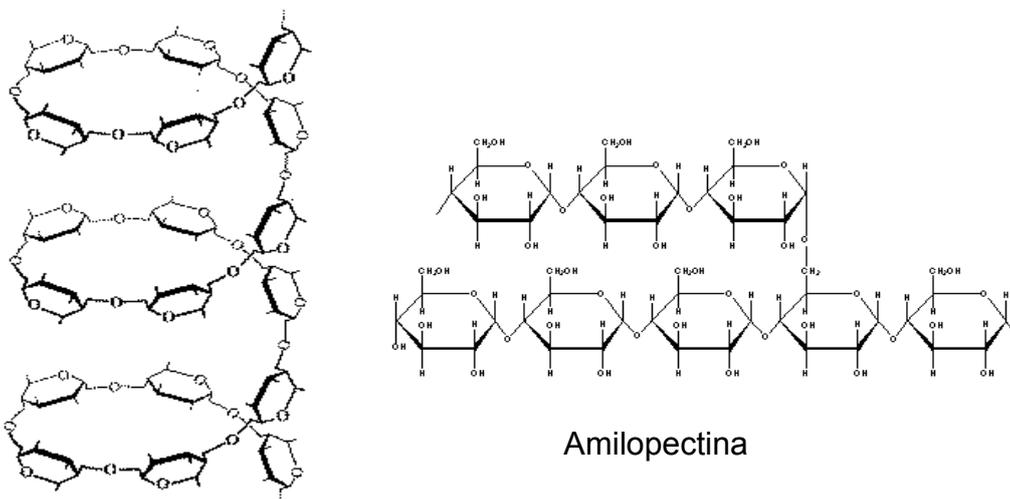


Fig. 9 – Polissacarídeos constituintes do amido e aprisionamento do triiodeto.

É possível determinar a quantidade de vitamina C na amostra (mg vit C / g alimento) através da contagem do número de gotas de tintura de iodo necessárias para aparecer a cor azul acinzentada. A tintura de iodo é previamente calibrada por meio da titulação de 10 mL de uma solução padrão preparada com 1 comprimido de Cécisina (1000 mg/1L).

Massa de vitamina C que reage com 1 gota de tintura de iodo:

$(10 \text{ mL} \times 1000 \text{ mg} / 1000 \text{ mL}) / n^\circ \text{ gotas}$ .

Massa de vitamina C no alimento (mg/g):

$(N^\circ \text{ gotas} / \text{massa alimento}) \times \text{massa vit C por gota de tintura de iodo}$ .



Fig. 10 – Titulação iodométrica para doseamento da vitamina C em alimentos.

### Reação relógio

A velocidade das reações químicas é um assunto importante no ensino da Química. Uma opção interessante para exemplificar conceitos cinéticos é usar uma reação relógio, ou seja, uma reação para a qual o ponto final é assinalado por uma mudança brusca de cor do sistema. A experiência aqui proposta envolve uma reação relógio, que se desenrola em dois passos e na presença de amido, usando vitamina C, tintura de iodo e água oxigenada como reagentes.

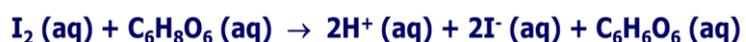
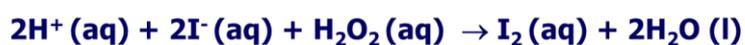


Fig. 11 – Reações redox envolvidas na reação relógio.

Enquanto houver vitamina C ( $C_6H_8O_6$ , ver Fig. 7) por oxidar em solução, ocorre o 2º passo da reação, o que impede a acumulação de iodo no sistema. Quando toda a vitamina C é consumida, a concentração de iodo aumenta formando-se um complexo azul com o amido. Nesta experiência, os alunos constataam, também, que a velocidade desta reação química é tanto maior quanto maior a concentração dos reagentes.



Fig. 12 – Reação relógio da vitamina C em meio reacional mais concentrado (esquerda) e mais diluído (direita).

#### Bibliografia

- [1] [http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas\\_ch/benedict.htm](http://www.fcfar.unesp.br/alimentos/bioquimica/praticas_ch/benedict.htm) (consultado em 16 de Janeiro de 2014).
- [2] Royal Society of Chemistry Global Experiment Chemistry Week 2013, Measuring vitamin C in food. LearnChemistry, RSC, Novembro 2013. <http://www.rsc.org/learn-chemistry/resource/res00001280/global-experiment-instructions-2013> (consultado em 21 de Janeiro de 2014).

# Equipa

## Coordenação

Maria Amélia Lemos  
Cristina Gomes de Azevedo  
Dulce Simão

## Palestras

André Vilelas  
Dulce Belo  
Marta Silva  
Marta Abrantes  
Maria Amélia Lemos  
Francisco Lemos  
Maria João Ferreira  
Maria de Fátima Farelo  
Miguel Rodrigues  
Patrícia Carvalho  
Rui Vilar

## Apoio na Realização

NEQIST  
Isabel Leiria  
Marta Coelho  
Leonel Nogueira

## Apoio Laboratorial

Adriana Marisa Bentes Correia  
Ana Carolina Leote  
Ana Catarina Fernandes de Oliveira  
Ana Catarina Fernandes Paiva  
Ana Isabel Fernandes de Carvalho  
Ana Knittel  
Ana Patrícia Cardoso Cotrim  
Ana Patricia Faria Lourenço  
Ana Rita Gomes  
Ana Sofia Caldas Vieira Gomes Correia  
Ana Teresa Fialho Batista  
André Bernardo Alves  
André Felipe de Jesus Lopes Ruza  
André Filipe Guerreiro Estevão  
André João Ornelas Aguilar  
Andreia Filipa Fonseca Grade Leitão Alves  
Andreia Filipa Rijo Marianito

## Logística

Lurdes Ribeiro  
Rosinda Leite  
NEQIST

## Módulos Experimentais

Alberto Ferro  
Amélia Almeida  
Carla Pinheiro  
Clementina Teixeira  
Dulce Simão  
Faissen Lordeiro  
Fátima Rosa  
Filipa Franco  
Isabel Leiria  
Martim Caldeira  
Miguel Almeida  
Remígio Machado  
Rita Vilas Boas  
Sílvia Chaves

Nuno Simões  
Jorge Teixeira  
Carla Salvador  
Sofia Rocha

Bárbara Pacheco  
Beatriz Ferreira Matafome  
Beatriz Forte  
Beatriz Maria Mira Gonçalves Pereira  
Beatriz Paiva Bento  
Carlos Rafael Faria Lopes  
Carminho Sacadura  
Catarina Alexandra Lopes Tapada  
Catarina Andreia Martins Freire  
Catarina Costa  
Catarina de Jesus Pinto Gonçalves  
Catarina Gil Leitão Ferraz Carreira  
Catarina Inês Miguel Lopes Fernandes  
Catarina Lourenço Delfino  
Catarina Ricardo Oliveira  
Catarina Vanessa Miranda Grilo  
Cláudia Patrícia Gomes de Medeiros

Daniel Guilherme Henriques Vicente  
Daniela Matias da Rocha  
Danylo Panovyk  
David Manuel Paulo Negreiro  
David Manuel Ramos Russo  
Diogo do Espírito Santo Nogueira  
Diogo Filipe Frazão Ferreira Faria  
Diogo Miguel Monteiro Mosteias  
Duarte Miguel da Costa Martins  
Faissen Barbosa Lordeiro  
Filipa Franco  
Filipa Inês de Carvalho Guimarães  
Filipa Marques  
Filipa Martins Gonçalves  
Filipa Mourinho  
Filipe Miguel G. Santos Calapez Xavier  
Francisca de Jesus Freire Dias  
Francisco João Gonçalves Afonso  
Francisco Miguel da Cunha Fitas  
Gonçalo Mendes  
Gonçalo Miguel R. de Sá Pereira Caetano  
Guilherme Nóbrega Carvalho  
Hugo Miguel dos Anjos Carvalho Lapa  
Inês Aniceto de Mendonça Neves Correia  
Inês Filipa Pereira Nunes  
Inês Mano Pires  
Ines Marques Lobo  
Inês Rodrigues Martins  
Isabel Oliveira  
Joana Gonçalves Lourenço  
Joana Raquel Antunes Paulino  
Joana Raquel da Costa Pereira  
Joana Vicente  
João Álvaro Moreno Salteiro Casimiro Malta  
João Augusto Vitorino Pereira  
João Bernardo  
João Maria R. Perlico da Cruz Sabino  
João Pedro Cerdeira Gil  
João Pedro Marques Gomes da Silva  
João Pedro Vilhena de Freitas Moreira  
João Santos Pina Dantas Rodrigues  
José Carlos Ferreira Rodrigues de Moraes  
José Francisco M. B. dos Santos Barradas  
Leonor Monteiro Teixeira Prata  
Leonor Resina  
Lisa Xufre  
Mafalda dos Santos Dias Duque

Manuel Larião de Almeida  
Maria Ana C. Fernandes Mendonça Neves  
Maria de Fátima Calixto Carvalho  
Maria Leonor Resina  
Mariana Caldeira Amaro  
Mariana Devesa Rodrigues  
Mariana Duarte Fino de Oliveira Costa  
Mariana Leitão da Silva Santos  
Mariana Nunes Anastácio  
Mariana Silva  
Mariana Simões Botto dos Santos Oliveira  
Mariya Zaporozhan  
Marta Lemos Ferreira  
Martim Lino da Cruz Caldeira  
Miguel Almeida  
Miguel Castro Oliveira  
Miguel Gonçalo Salgueiro do Paço  
Miguel Marques  
Mónica Patrícia de A. Silva Pereira  
Patrícia Santos  
Paulo Rui Rodrigues de Queirós  
Pedro Oliveira  
Rafaela Zoé Carvalho Tavares  
Raisa Costa Paes Oliveira  
Raquel dos Santos Capelo Ramos  
Raquel Fernandes  
Raquel Marisa Moreira Valente  
Rita Abreu  
Rita Cruz  
Rita Geada Santinho  
Rita Sofia Faria Ribeiro  
Rita Vilas Boas  
Rogério Pedro Brito Guerreiro  
Sara Cardoso  
Sara Daniela dos Santos Sousa  
Sara Patrícia Ferreira Da Silva  
Sofia Fontes Rocha  
Sofia Miguel Assunção da Silva Martins  
Solange Bolas  
Susana Broeiro Bento  
Susana Teixeira Luis Fialho Medinas  
Tânia Batista Corrales  
Tânia Cordeiro  
Tatiana Rodrigues Almeida  
Teresa Romano de Castro Torres  
Teresa Varandas Roque  
Vanessa de Sousa Gomes

## Escolas Participantes

- Escola Secundária Gago Coutinho
- Instituto de Odivelas
- Externato Cooperativo da Benedita
- Colégio Moderno
- Colégio Valsassina
- Escola Secundária D. Filipa de Lencastre
- Escola Secundária Camões
- Escola Secundária D. Pedro V
- Escola Secundária Braamcamp Freire
- Escola Secundária D. Luísa de Gusmão
- Colégio do Sagrado Coração de Maria
- Escola Secundária de Alvide
- Colégio São João de Brito
- Escola Secundária Emídio Navarro
- Colégio do Amor de Deus
- Escola Secundária Madeira Torres
- Escola Secundária de Camarate
- Escola Secundária Fernão Mendes Pinto
- Escola Secundária Romeu Correia
- Escola Internacional de Torres Vedras
- Escola Secundária Stuart Carvalhais
- Escola Secundária Damião de Goes
- Escola Secundária de Amora
- Escola Secundária de Pinhal Novo

- Escola Secundária Dr. António Carvalho Figueiredo
- Escola Secundária do Lumiar
- Escola Secundária da Portela
- Escola Secundária da Azambuja
- Escola Secundária Jorge Peixinho
- Escola Secundária Gil Vicente

## Patrocínios

