

DESENVOLVIMENTOS NO ENSINO DA QUÍMICA A CEGOS E A GRANDES AMBLÍOPES

FLORBELA PEREIRA, JOÃO AIRES DE SOUSA,
PAULINA MATA, ANA M. LOBO *

Neste artigo apresenta-se uma metodologia para o ensino de um curso universitário introdutório de Química a cegos e grandes amblíopes, que utiliza preponderantemente as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Foram concebidos neste âmbito um protótipo de um editor molecular, uma representação tabular das reacções químicas e a sonificação de espectros de Infravermelho.

INTRODUÇÃO

Porquê ensinar química a cegos?

Em Portugal, os alunos cegos são maioritariamente afastados das ciências e aqueles, poucos, que conseguem prosseguir estudos no ensino superior são encaminhados para as áreas de humanidades ou música. Em 2001, a percentagem de deficientes visuais em Portugal que completava o nível de ensino superior era inferior a 1% (0,9%), mas na população geral este valor subia para 10,8% [1,2]. Na União Europeia a proporção de pessoas de 16-64 anos, sem qualquer incapacidade, que completaram o nível superior de ensino em 1996 foi de 18%, o dobro da percentagem das pessoas com deficiência severa (9%) que terminaram o mesmo nível de ensino [3]. Nos Estados Unidos da América, em 2004, a percentagem de licenciados na área de Matemática/Engenharia/Ciência computacional era de 4,7% para a população deficiente e de 9,3% para a população sem deficiência [4]. Em 2005, 99% dos indivíduos com a atribuição do grau de doutor não apresentavam qualquer deficiência e apenas 1% com este grau apresentavam uma ou mais deficiências. Dos indivíduos com deficiência a quem foi atribuído o grau de doutor em 2005, 8,8% eram cegos ou amblíopes [5]. Estes valores demonstram que Portugal tem ainda um longo caminho a percorrer para se aproximar destes padrões.

O conhecimento químico, e em particular da Química Orgânica, abre novos horizontes ao indivíduo, permite que este possa ter uma maior consciência do mundo em que vive e uma melhor compreensão dos diferentes fenómenos do quotidiano. O conhecimento científico é fundamental no mundo actual e o deficiente visual não pode ser excluído desse conhecimento. Contudo, hoje como ontem, as maiores barreiras não são físicas mas sim de atitude e mentalidade. Existe uma percepção errada e amplamente difundida de que indivíduos com deficiência visual têm dificuldades praticamente inultrapassáveis no prosseguimento de carreiras científicas. A melhoria do acesso dos alunos com deficiência ao ensino superior, e em particular dos cegos e grandes amblíopes, terá de futuro enormes repercussões na melhoria das suas condições de vida e na sua realização pessoal. Estas pessoas poderão ainda servir como “modelo de comportamento” para todos os outros alunos cegos que se resignam com a sua condição, demonstrando que é possível realizar os seus sonhos e aspirações. Existem de facto já muitas pessoas cegas ou amblíopes nos Estados Unidos da América que são licenciadas, mestres e doutores na área das ciências [6,7]. Aos alunos que pretendem frequentar um curso superior de ciências, mesmo que não de Química, são exigidos conhecimentos de Química do Ensino Secundário. Para além disso, os *currículos* dos cursos universitários em áreas científicas como a Engenharia, a Biologia e a Física incluem cursos de Química, frequentemente com conte-

údos de Química Orgânica. A Química Orgânica utiliza representações da informação numa linguagem muito específica, de forte pendor gráfico, que criam obstáculos de acessibilidade por parte de invisuais. São exemplos destas dificuldades a interpretação e produção de estruturas moleculares, ou a análise de espectros e cromatogramas. O desenvolvimento de metodologias para o ensino de conteúdos de Química a cegos e grandes amblíopes é assim um contributo para o seu acesso a uma variedade de possíveis percursos educacionais em ciências.

Limitações do Braille e das figuras em relevo

O sistema Braille é constituído por 63 sinais que resultam da combinação de 6 pontos em relevo, agrupados em duas filas verticais e paralelas de três pontos cada uma, cujo conjunto é denominado sinal fundamental. O espaço por ele ocupado chama-se célula Braille [8]. Estes 6 pontos, são numerados de cima para baixo e da esquerda para a direita como indicado na Fig. 1.

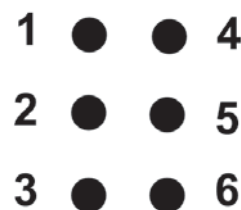


Figura 1 Célula Braille

Assim, a escrita Braille é estritamente linear, não existindo índices, nem expoentes ou acentos por cima das letras. Desta forma ao passar da escrita

* REQUIMTE/CQFB, Grupo de Trabalho ECEGAM, Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa 2829 Monte de Caparica, Portugal www.dq.fct.unl.pt/qoa/ecegam.htm

vulgar para a escrita Braille é necessário adoptar regras de transição mais ou menos complexas consoante o caso.

Para transcrever em Braille a simbologia química pode recorrer-se aos símbolos que correspondem a certas letras acentuadas ou a certos sinais de pontuação, alguns destes com significado matemático, mas que nunca serão usados como tal no contexto da química. Pode ainda recorrer-se a algumas letras do alfabeto que não correspondem a nenhum elemento químico. Estas letras e outros sinais não são numerosos, contudo combinando-os em sinais compostos permitem resolver a maioria dos problemas de transição química [9-11].

Alguns problemas surgem na representação da fórmula de estrutura de compostos cíclicos, tais como o benzeno, molécula planar de fórmula molecular C_6H_6 . O benzeno representa-se graficamente por um hexágono regular com um átomo de carbono em cada um dos vértices representado pelo símbolo C. A cada um dos vértices liga-se um átomo de hidrogénio, representado pelo símbolo H (Fig. 2A). O benzeno pode ser representado na teoria de valência pelos dois híbridos de ressonância com 3 ligações duplas conjugadas alternadas com ligações simples (Fig. 2A, I e II). Os híbridos de ressonância são estruturas que, por si só, não representam a molécula, sendo esta representada pelo seu conjunto. Habitualmente usam-se representações simplificadas (de acordo com um conjunto de convenções) como as representadas na Fig. 2B, I e II.

Pode representar-se graficamente o benzeno ainda de forma mais simplificada com um círculo no meio de um hexágono regular, indicando o sistema π conjugado (Fig. 2C). O benzeno representa-se em Braille pelos seis pontos da célula (1,2,3,4,5,6) [9-11], (Fig. 2D). Nesta representação a informação sobre o sistema π conjugado encontra-se de forma implícita, ao contrário do que acontece em qualquer das representações gráficas (Fig. 2A, B e C), em que esta é apresentada explicitamente.

Em alternativa à representação referida, poderão ser usadas fórmulas de

estrutura impressas em relevo para uso de alunos cegos. Contudo, estas impressões são ainda bastante dispendiosas e apresentam a dificuldade do tacto não permitir a percepção mental em perspectiva de modo fácil.

(que converte texto em voz) e a linha Braille (dispositivo electromecânico que reproduz caracteres Braille, usualmente pela elevação de pequenas barras através dos buracos existentes numa superfície plana). Uma meto-

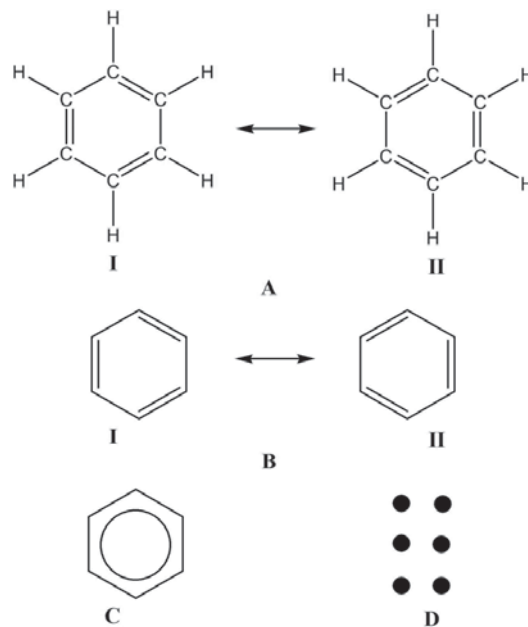


Figura 2 Diferentes representações do benzeno

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A *Educação para Todos*, enunciada pela primeira vez na Conferência de Salamanca, organizada pela UNESCO em 1994 [12], mudou drasticamente a concepção da educação dos indivíduos com necessidades educativas especiais. Foi aí preconizada a *Escola Inclusiva*, que necessita do desenvolvimento de metodologias que disponibilizem à população cega e grande amblíope as mesmas oportunidades educativas da população em geral. De forma a promover o ensino superior das ciências a indivíduos cegos ou com dificuldades visuais graves, pretende-se tornar acessível a percepção das estruturas moleculares dos compostos orgânicos, bem como dos conteúdos e conceitos de Química Orgânica, utilizando para tal as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Estas tecnologias são hoje um auxiliar precioso amplamente utilizado em inúmeras actividades de invisuais. Existem várias interfaces não visuais para computadores e outros aparelhos electrónicos, sendo as mais importantes o *software* texto-voz

dologia para o ensino de Química a cegos e grandes amblíopes tem forçosamente de incorporar estas ferramentas. Brown desenvolveu o programa *Kekulé* [13] para a navegação de estruturas moleculares por cegos, usando uma interface de voz, sendo que as estruturas moleculares encontram-se no formato CML. No âmbito do projecto em que este trabalho se enquadra, encontra-se em fase de desenvolvimento o programa *Brailchem* [14]. O *Brailchem* é uma aplicação orientada para a *Internet*, constituído por duas sub-aplicações: o editor molecular e a tabela periódica. Este editor molecular permite a navegação de estruturas moleculares usando uma interface de texto e uma base de dados de compostos orgânicos.

Metodologia desenvolvida

A metodologia concebida para o ensino da Química Orgânica baseia-se numa forte relação entre os fenómenos químicos e o quotidiano do aluno cego ou grande amblíope. Desta forma, os princípios e fenómenos químicos são ilustrados com temas de interesse ge-

ral familiares aos alunos. Por exemplo, relacionam-se os princípios e os fenómenos estudados em Química Orgânica com o organismo humano. Nomeadamente, a importância das ligações de hidrogénio na formação da hélice dupla do ADN e na transmissão da informação genética, ou a energia das ligações entre os átomos de carbono e o armazenamento de energia na forma de gordura no corpo humano. Relacionam-se também os princípios e os fenómenos estudados em Química Orgânica com as actividades do dia-a-dia. Por exemplo, na cozinha verifica-se que “igual dissolve igual”, isto é, compostos iónicos, como o sal de cozinha, ou com a possibilidade de estabelecer pontes de hidrogénio múltiplas, como o açúcar, são solúveis em água, mas verifica-se que a manteiga, formada por compostos lipídicos não polares, não o é. Na área da higiene/limpeza, os sais de ácido carboxílico de cadeia longa são utilizados como sabões e detergentes. Por exemplo, o conhecido sabonete *Palmolive* tem como componentes principais os sais de sódio do ácido palmítico e oleico. Na área dos combustíveis relacionam-se os alcanos e compostos aromáticos com o petróleo e seus derivados (gasolina e gasóleo) e o número de octanas da gasolina com a percentagem de iso-octano. Alguns compostos orgânicos têm um cheiro característico, como por exemplo o acetato de octilo que cheira a laranja. Vários pares de enantiómeros podem ser identificados pela sua diferente interacção com os centros olfactivos também eles assimétricos. Os dois enantiómeros da carvona têm cheiros bastante diferentes, pois a *L*-carvona (isómero *R*) cheira a mentol e a *D*-carvona (isómero *S*) cheira a alcarávia, utilizada na culinária como especiaria. Realça-se a relação entre o efeito de estufa e a absorção de radiação de infravermelho por alguns gases atmosféricos com carbono, como por exemplo o dióxido de carbono, o metano e os clorofluorocarbonetos (CFCs), estes últimos com origem na indústria química e responsáveis pela destruição do ozono estratosférico.

A metodologia de ensino desenvolvida permite versatilidade no estudo da Química Orgânica, pois o aluno poderá escolher o seu próprio percurso de

estudo dependendo dos seus conhecimentos anteriores, dos seus interesses e necessidades. Na metodologia de ensino desenvolvida foi dada importância à nomenclatura dos compostos orgânicos, uma vez que esta pode ser usada por todos (normovisuais e deficientes visuais), é fácil de transmitir e pode ser automaticamente convertida em estruturas moleculares através de *software* disponível.

Considera-se que a nomenclatura pode representar um papel importante no ensino da Química Orgânica a cegos no contexto de um ensino inclusivo. Um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento da metodologia de ensino da Química Orgânica a cegos é a definição e explicitação de conceitos de uma forma desligada da experiência visual, apoiando-se preferencialmente na experiência táctil, olfactiva e sonora. Por exemplo, na definição de um composto quiral como aquele que possui a propriedade da quiralidade, deu-se ênfase à não sobreponibilidade das mãos esquerda e direita.

Sugere-se que o aluno coloque as suas mãos lado a lado, em seguida coloque a palma da mão esquerda sobre as costas da mão direita e que desta forma verifique que a mão esquerda não é sobreponível com a mão direita. Só depois disto se diz que a mão direita representa a imagem num espelho plano da mão esquerda e vice-versa. O aluno cego pode então concluir que um composto quiral não é sobreponível com a sua imagem num espelho plano.

Módulos web

A acessibilidade da informação é um dos maiores problemas que os indivíduos cegos enfrentam. De forma a ultrapassar estes condicionamentos elaboraram-se de forma modular os conceitos, exemplos, curiosidades, exercícios e actividades no âmbito de uma disciplina introdutória de Química Orgânica de 1º ano do 1º ciclo do ensino superior.

Os módulos que poderão ficar acessíveis na *web* foram escritos com base em livros de Química Orgânica de referência [15-20]. Os dados espectroscópicos foram compilados também em livros de referência [21,22].

O editor molecular NavMol

De forma a tornar também acessíveis as fórmulas e as estruturas dos compostos orgânicos aos cegos foi concebido um novo protótipo de editor molecular, *NavMol*¹. Com este programa é possível navegar a estrutura molecular, saltando de átomo para átomo e recebendo informação na forma de texto. Em cada momento, o utilizador recebe informação acerca do átomo em que está localizado - o elemento, a carga, o número de vizinhos, os elementos dos átomos vizinhos e o tipo de ligação a átomos vizinhos. Desta forma, o programa permite a construção mental da estrutura química de moléculas simples.

Para além disto, o *NavMol* tem funções para construir e alterar a estrutura de um composto orgânico através de comandos dados no teclado. O acesso a estruturas para interpretação, assim como a exportação de estruturas construídas, são realizados através do formato MDL.mol que é utilizado por praticamente todos os editores moleculares existentes. Assim, é possível a um cego interpretar estruturas desenhadas por um normovisual e construir estruturas que podem ser facilmente visualizadas ou interpretadas.

Na versão actual, o *NavMol* funciona na linha de comando do MS-DOS ou na *shell* do Linux. Apesar de estas parecerem hoje interfaces arcaicas, elas tornam o programa imediatamente compatível com os programas de texto-voz habitualmente usados pelos indivíduos cegos para ler o écran do computador (ex. *Windows-Eyes* [23] e *Jaws* [24]) e também com a linha Braille. O *NavMol* é também compatível com os programas usados para ler e ampliar o écran do computador pelos amblíopes (ex. *ZoomText* [25] e *Supernova* [26]), Fig. 3. Dada a sua compatibilidade com os programas usados para ler e ampliar o écran do computador, o *NavMol* tem uma excelente acessibilidade para cegos e amblíopes. O âmbito de aplicação de um editor molecular para cegos é mais vasto do que o ensino. É uma ferramenta também útil a profissionais químicos que perderam a visão posteriormente à sua formação académica, permitindo-



Figura 3 Interfaces texto-voz e linha Braille são usadas pelo programa *NavMol* para a criação e interpretação de estruturas moleculares

-lhes o manuseamento de estruturas moleculares necessário à sua actividade profissional.

Representação de estruturas com materiais comuns

Para facilitar a percepção de estruturas moleculares e em particular para ultrapassar a limitação actual do programa *NavMol* na representação de estereoisómeros, propôs-se a utilização de materiais de uso corrente para desenhar fórmulas de estrutura dos

compostos (Fig. 4A–H). Os elementos químicos poderão ser escritos em Braille com uma máquina DIMO e fita Dim (máquina e fita habitualmente usadas para etiquetar em Braille), Fig. 4B, e as ligações feitas com palhinhas de beber cortadas que são fixas com gomas adesivas reutilizáveis.

Representação das reacções químicas

Normalmente, as reacções químicas são representadas na forma de equa-

ções químicas, sendo estas representações visuais esquemáticas. Uma seta separa os dois lados da equação. Do lado esquerdo da seta são representados os compostos químicos presentes antes da reacção ter lugar – os reagentes. Do lado direito da seta são representados os compostos químicos obtidos na reacção – os produtos. Em reacções irreversíveis usa-se uma seta apontando para a direita, representando que a reacção se dá no sentido da transformação dos reagentes nos produtos. Em reacções reversíveis usam-se duas setas uma em cada sentido, indicando assim que a reacção se dá nos dois sentidos e que se encontra limitada por um equilíbrio. Se uma seta é mais longa do que a outra, tal indica que a reacção de equilíbrio está deslocada no sentido correspondente. Muitas vezes sobre a seta são descritas as condições reaccionais, tais como temperatura, pressão ou o solvente usado. A leitura das reacções químicas na forma de equações representa obviamente uma dificuldade para os alunos cegos. Optou-se assim pela representação das equações químicas na forma de uma tabela de três ou mais colunas, uma representação acessível e bastante familiar para os indivíduos cegos. Na coluna da esquerda representam-se os reagentes, na coluna do meio o tipo de reacção e as condições reaccionais, na coluna da direita os produtos. Sempre que aplicável, representa-se o rendimento da reacção numa quarta coluna. O acesso à respectiva fórmula química é feita igualmente através do editor molecular, *NavMol*. No caso das fórmulas estereoquímicas e conformacionais, o acesso, nesta fase, é efectuado através de impressões em relevo.

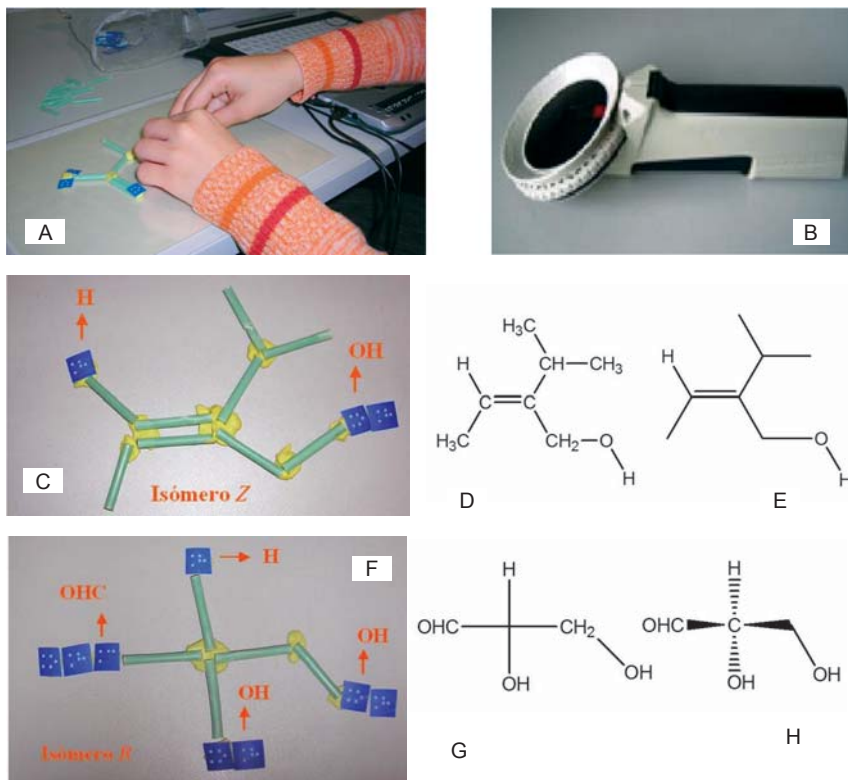


Figura 4 Construção de fórmulas de estrutura por utilizadores com dificuldades visuais:

- A- Aluna cega a construir a estrutura química de um composto orgânico;
- B- Máquina DIMO usada para etiquetar em Braille;
- C- Construção da estrutura do isómero geométrico, Z-isopropil-but-2-en-1-ol;
- D- Fórmula de estrutura do isómero geométrico Z-isopropil-but-2-en-1-ol;
- E- Fórmula estrutural reduzida do isómero geométrico Z-isopropil-but-2-en-1-ol;
- F- Modelo molecular da projecção de Fischer do enantiómero R-2,3-di-hidroxiopropanal;
- G- Projecção de Fischer do enantiómero R-2,3-di-hidroxiopropanal;
- H- Representação em 3D do enantiómero R-2,3-di-hidroxiopropanal

No que diz respeito às fórmulas estabeleceram-se quatro níveis de complexidade que serão usados de acordo com as necessidades e se encontram explicitados nas Figuras 5B a 8B: nível I—fórmulas moleculares, nível II—fórmulas de estrutura, nível III—fórmulas estereoquímicas e nível IV—fórmulas conformacionais. Desta forma, no que diz respeito às fórmulas,

podemos escolher diferentes níveis de pormenor e consequentemente de informação.

Assim na Fig. 5A temos a representação da reacção de equilíbrio entre o ácido clorídrico e o ião acetato para originar ácido acético e ião cloreto. A representação tabular na Fig.5B utiliza fórmulas moleculares.

Na reacção de nitração do benzeno, indicada na Fig.6A, as fórmulas do benzeno e do nitrobenzeno são fórmulas de estrutura.

Na reacção de bromação do ciclohexeno, indicada na Fig. 7A, apresentada na página seguinte, as fórmulas dos produtos da reacção são fórmulas estereoquímicas.



Equação Química 1: Reacção Ácido-Base do Ácido clorídrico com o Ião acetato, Nível I

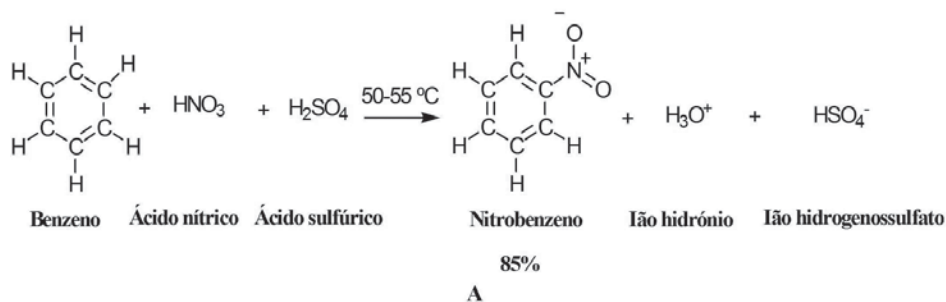
Reagentes	Tipo / Condições	Produtos
Ácido clorídrico (HCl) Ião acetato (CH ₃ COO ⁻)	Reacção reversível. A seta direita é maior que a seta esquerda.	Ácido acético (CH ₃ COOH) Ião cloreto (Cl ⁻)

B

Figura 5 Reacção ácido-base do ácido clorídrico com o ião acetato:

A—Representação normal da reacção química;

B—Representação para estudantes invisuais da reacção química, nível de complexidade I



Equação Química 2: Reacção de Nitração do Benzeno, Nível II

Reagentes	Tipo / Condições	Produtos	Rendimento (%)
Benzeno ^a Ácido nítrico (HNO ₃) Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Reacção irreversível. 50-55 °C.	Nitrobenzeno ^a Ião hidrónio (H ₃ O ⁺) Ião hidrogenossulfato (HSO ₄ ⁻)	85

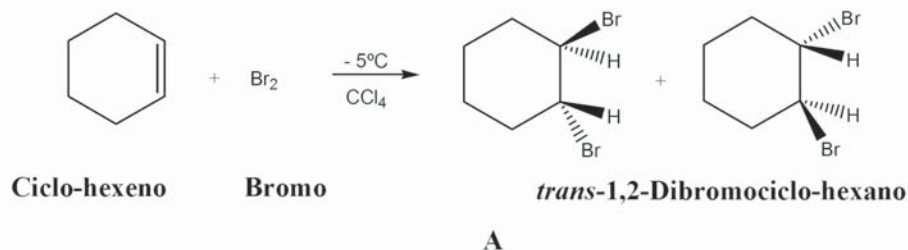
^aÉ colocado o nome do ficheiro no formato .mol e o acesso à respectiva fórmula de estrutura é efectuado através do editor molecular, *NavMol*.

B

Figura 6 Reacção de nitração do benzeno:

A—Representação normal da reacção química;

B—Representação para estudantes invisuais da reacção química, nível de complexidade II



Equação Química 3: Reacção de Bromação do Ciclo-hexeno, Nível III

Reagentes	Tipo / Condições	Produtos
Ciclo-hexeno ^a Bromo (Br ₂)	Reacção irreversível. - 5 °C. Tetracloroeto de carbono (CCl ₄).	(1R,2R)-1,2-Dibromociclo-hexano ^b (1S,2S)-1,2-Dibromociclo-hexano ^b

^aÉ colocado o nome do ficheiro no formato .mol e o acesso à respectiva fórmula de estrutura é efectuado através do editor molecular. NavMol.

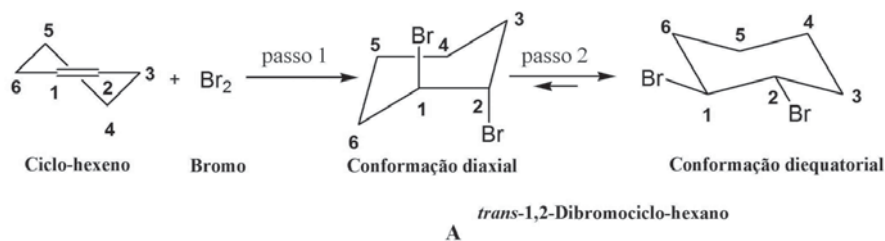
^bÉ colocado o número do esquema táctil e o acesso à respectiva fórmula estereoquímica é efectuado através de impressão em relevo.

B

Figura 7 Reacção de bromação do ciclo-hexeno, com informação sobre a estereoquímica dos produtos:

A–Representação normal da reacção química;

B–Representação para estudantes invisuais da reacção química, nível de complexidade **III**



Equação Química 4: Reacção de Bromação do Ciclo-hexeno, Passo 1 – Nível IV

Reagentes	Tipo / Condições	Produtos
Ciclo-hexeno ^a Bromo (Br ₂)	Reacção irreversível.	<i>trans</i> -1,2-Dibromociclo-hexano ^b – conformação em cadeira diaxial

Equação Química 4: Reacção de Bromação do Ciclo-hexeno, Passo 2 – Nível IV

Reagentes	Tipo / Condições	Produtos
<i>trans</i> -1,2-Dibromociclo-hexano ^b – conformação em cadeira diaxial	Reacção reversível. A seta direita é maior que a seta esquerda.	<i>trans</i> -1,2-Dibromociclo-hexano ^b – conformação em cadeira diequatorial

^aÉ colocado o nome do ficheiro no formato .mol e o acesso à respectiva fórmula de estrutura é efectuado através do editor molecular. NavMol.

^bÉ colocado o número do esquema táctil e o acesso à respectiva fórmula conformacional é efectuado através de impressão em relevo.

B

Figura 8 Reacção de bromação do ciclo-hexeno, com informação sobre a conformação em cadeira dos produtos:

A– Representação normal da reacção química;

B– Representação para estudantes invisuais da reacção química, nível de complexidade **IV**

Por outro lado, na Fig. 8A, indica-se novamente a reacção de bromação do ciclo-hexeno. Contudo, as fórmulas dos produtos da reacção são agora fórmulas conformacionais.

Representação dos dados espectroscópicos

No âmbito dos conhecimentos de Química Orgânica a ministrar, pretende-se que os alunos com dificuldades visuais sejam capazes de identificar a estrutura de um composto orgânico com base em quatro técnicas espectroscópicas: Espectroscopia de Visível/Ultravioleta (Vis/UV), Espectroscopia de Infravermelho (IV), Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de Protão e Carbono-13 (RMN ^1H e ^{13}C) e Espectrometria de massa (EM).

Todos eles dão origem a registos que são normalmente representações visuais, como a representação na Fig. 9. De forma a permitir que os alunos cegos possam apreender a informação espectral de um dado composto orgânico, fez-se uma listagem dos dados espectrais sob a forma de tabela (Tabela 1).

Os dados espectrais foram retirados da *Spectral Database for Organic Compounds SDBS* [27].

Em termos práticos, os alunos cegos não perdem informação com a transformação de um dado espectro em dados espectrais tabulares, mas carecem de um perfil geral do espectro. Por exemplo, no caso dos espectros de IV, o perfil visual do espectro pode imediatamente identificar a presença de um grupo funcional no composto orgânico. De forma a poder transmitir o perfil dos espectros de IV procurou atribuir-se às frequências espectrais frequências auditivas, de modo a que um cego pudesse por exemplo identificar facilmente na gama de sons ouvidos, a frequência de, por exemplo, um grupo carbonilo.

Os dados espectrais de IV de um dado composto são listados numa folha de cálculo (de uma forma semelhante à Tabela 1), seguidamente os dados são convertidos num documento de formato CSV e por último as frequências espectrais são transformadas em frequências auditivas pelo programa *Sonification Sandbox version 4.2.1*

[28,29]. Os resultados revelaram-se promissores, mas o trabalho está ainda numa fase preliminar (Fig. 10).

Tabela 1 Dados espectrais de IV da guanina em KBr [23]

Posição do pico (cm^{-1})	% Transmissão	% Absorvância
3322	32	68
3116	33	67
2991	52	48
2909	43	57
2851	50	50
2698	52	48
1699	4	96
1676	7	93
1637	58	42
1565	55	45
1552	62	38
1477	42	58
1463	60	40
1418	66	34
1376	38	62
1263	58	42
1216	70	30
1174	62	38
1120	66	34
950	88	12
884	66	34
861	66	34
840	77	23
788	70	30
780	66	34
703	70	30
690	72	28
646	79	21
606	66	34
593	79	21
559	70	30
542	77	23
537	81	19
508	79	21
502	79	21

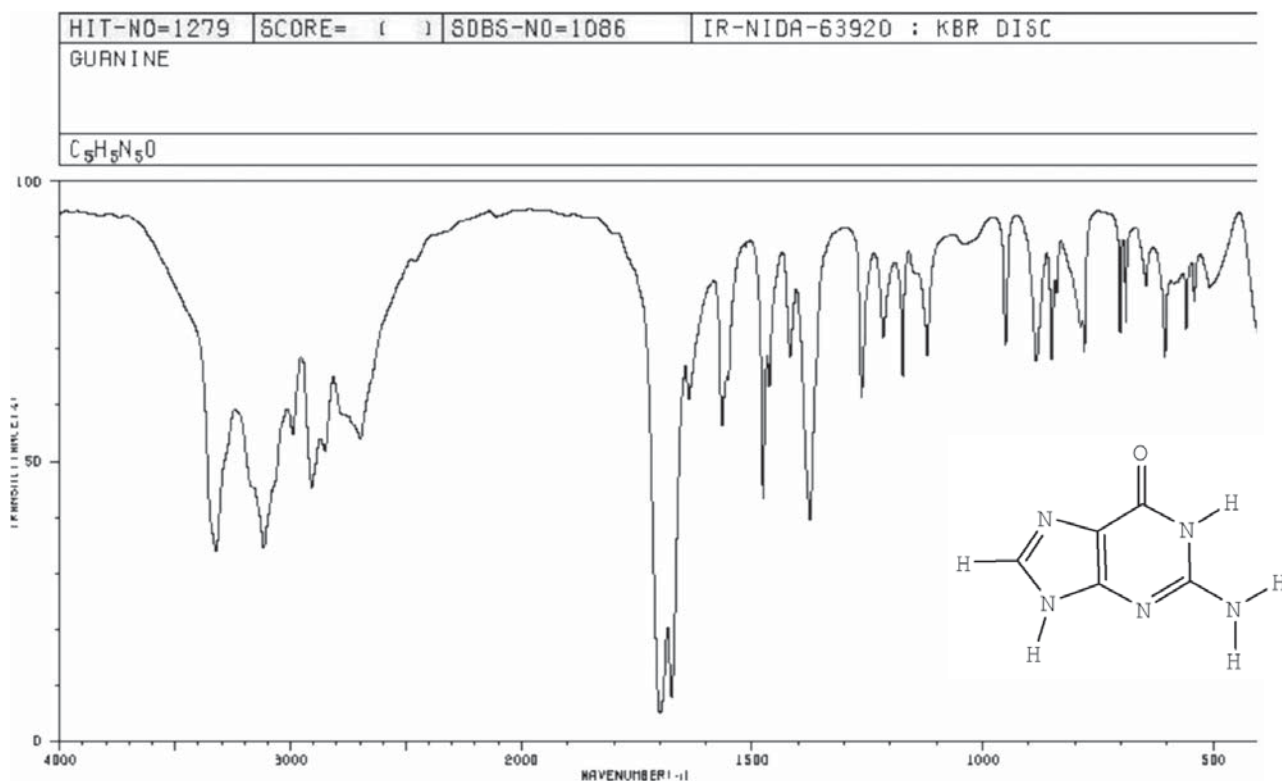


Figura 9 Espectro de IV da guanina em KBr [23] e fórmula de estrutura da guanina

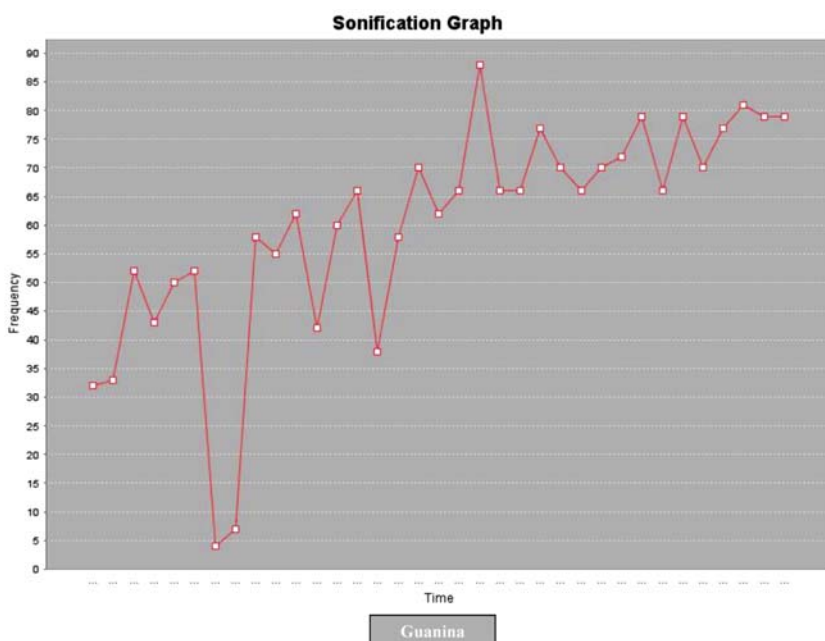


Figura 10 Representação gráfica do espectro de IV sonificado da guanina

CONCLUSÕES

Um projecto que visa facilitar o ensino da Química Orgânica a cegos e grandes amblíopes constitui um desafio simultaneamente aliciante e complexo. As maiores dificuldades encontradas prendem-se com:

- i) a transmissão de conceitos fortemente ligados a visualização a alunos cegos tais como geometria tetraédrica, quiralidade e estereoisomerismo;
- ii) a necessidade de um esforço adicional pelo aluno cego para conseguir mentalmente conceber a informação 2D e 3D sobre uma molécula orgânica e estabelecer a ligação entre a respectiva estrutura e reactividade química.

As estratégias usadas para ultrapassar estas dificuldades incluem:

- i) a pesquisa e uso de experiências não visuais que possam facilitar a transmissão de conceitos normalmente ancorados em dados visuais;
- ii) o desenvolvimento de um protótipo de editor molecular para utilizadores com dificuldades visuais, o *NavMol*;
- iii) o desenvolvimento de actividades que permitam que o aluno cego possa adquirir e reter mentalmente a estrutura molecular e o mecanismo da reacção, relacionando estas noções com a conectividade e tridimensionalidade de uma dada estrutura química [6, 30].

AGRADECIMENTOS

Agradece-se aos colaboradores Ana Sofia Antunes, Eduardo Sanca e Sofia Santos pela participação nas actividades propostas, nos testes da metodologia desenvolvida, dos módulos *web* e do *software NavMol*. Agradecemos ao Projecto n.º 168025 LEONARDO DA VINCI da UE e à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa pelo suporte financeiro. Um de nós (F. P.) agradece também à UE pela concessão de uma bolsa de pós-doutoramento [14].

NOTA

¹ O editor molecular, *NavMol*, foi desenvolvido no contexto do projecto europeu "ICT as a Gateway to Scientific Education of Blind and People with Visual Disabilities". Em breve será disponibilizada uma versão do *NavMol* livremente em *website*.

REFERÊNCIAS

- [1] SNR (1996) *Inquérito Nacional às Incapacidades, Deficiências e Desvantagens – Resultados Globais, Secretariado Nacional de Reabilitação*, Caderno n.º 8. <http://www.inr.pt/content/1/1117/infor->

macao-estatistica (acedido em 24-09-2008).

- [2] INE (2002) *Resultados Definitivos Censos 2001 – Portugal, Instituto Nacional de Estatística*, Lisboa, 3 e 402-424.
- [3] Comissão Europeia (2002) *Health Statistics – Key Data on Health 2002 – Data 1970-2001, Theme 3 – Population Social Conditions*, 149-152.
- [4] U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics, *National Postsecondary Student Aid Study*, 2004, Table D-9.
- [5] National Science Foundation, Division of Science Resources Statistics, *Survey of Earned Doctorates, 1997-2005*, Table F-13 e F-14.
- [6] C. Supalo, *Future Reflections* **21** (2002) 26-29. <http://www.nfb.org/images/nfb/publications/fr/fr8/frsf0210.htm> (acedido em 24-09-2008).
- [7] C. Holden, *Science* **282** (1998) 37.
- [8] *Apontamentos de Grafia Braille da Língua Portuguesa* – Direcção Regional de Educação de Lisboa: Centro de Recursos da Deficiência Visual de Lisboa. Ano lectivo 2003/2004. <http://www.gesta.org/braille.htm> (acedido em 24-09-2008).
- [9] R. G. Carpentier, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química* (1981) 3-7.
- [10] Comissão Braille (1993) *Grafia Química Braille*, Porto, 1-15.
- [11] The Royal National Institute for the Blind (1989) *Braille Science Notation-Braille Authority of the United Kingdom Science Committee*, 15-35.
- [12] UNESCO (1994) – *Declaração de Salamanca e enquadramento da acção na área das necessidades educativas especiais*- Adaptado pela Conferência Mundial da UNESCO sobre necessidades educativas especiais. Edição do Instituto de Inovação Educacional, Lisboa, 1-49.
- [13] A Brown, S. Pettifer, R. Stevens, Proceedings of The 6th International ACM SIGCAPH conference on assistive technologies (2004) 40-47.
- [14] ICT Web: <https://ict.brailcom.org/index> (Página do projecto europeu ICT, accedido em 24-09-2008).
- [15] J. McMurry, *Organic Chemistry*, 5th ed.; Brooks/Cole, 2000.
- [16] T.W.G. Solomons, C.B. Fryhle, *Organic Chemistry*, 8th ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, 2004.
- [17] J. March, *Advanced Organic Chemistry*, 4th ed.; John Wiley & Sons: New York, 1992.

- [18] G. Burton, J. Holman, G. Pilling, D. Waddington, *Salter's Advanced Chemistry: Chemical Storylines*, 1st ed.; Oxford: Heinemann, 1994.
- [19] G. Burton, J. Holman, G. Pilling, D. Waddington, *Salter's Advanced Chemistry: Chemical Ideas*, 1st ed.; Oxford: Heinemann, 1994.
- [20] G. Burton, J. Holman, G. Pilling, D. Waddington, *Salter's Advanced Chemistry: Activity Sheets*, 1st ed.; Oxford: Heinemann, 1994.
- [21] R.M. Silverstein, G.C. Bassler, T.C. Morrill, *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 5th ed.; John Wiley & Sons: New York, 1991.
- [22] D.H. Williams, I. Fleming, *Spectroscopic Methods in Organic Chemistry*, 4th ed., rev.; MacGraw-Hill: London, 1989.
- [23] *Windows-Eyes*. Disponibilizado pela Windows. GW Micro, Inc., Fort Wayne, Indiana, U.S.A., 1995–2008.
- [24] *Jaws*. Disponibilizado pela Freedom Scientific. Freedom Scientific, Inc., St. Petersburg, Florida, U.S.A., 1995–2008.
- [25] *ZoomText*. Disponibilizado pela Synapse Adaptive. Synapse Adaptive, San Rafael, Califórnia, U.S.A., 2005–2008.
- [26] *Supernova*. Disponibilizado pela Dolphin. Dolphin Computer Access, Ltd., Worcester, U.K., 1996–2008.
- [27] SDBS Web: http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi (*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*, acessado em 24-09-2008).
- [28] Sandbox Web: <http://sonify.psych.gatech.edu/research> (Sonification Sandbox version 4.2.1, acessado em 24-09-2008).
- [29] T. Delatour, *Computer Music Journal* **24** (2000) 48–68.
- [30] C. Supalo, *Journal of Chemical Education* **82** (2005) 1513–1518. <http://jchemed.chem.wisc.edu/Journal/Issues/2005/Oct/PlusSub/V82N10/p1513.pdf> (acessado em 24-09-2008).

ACTUALIDADE CIENTÍFICA

NANOROBOTS DE DOIS BRAÇOS

Químicos da Universidade de Nova Iorque (NYU) e da Universidade de Nanjing, China, desenvolveram um dispositivo nanorobótico munido com dois braços, capaz de manipular e construir moléculas a partir de blocos estruturais constituintes de macromoléculas de ADN. Este dispositivo foi descrito recentemente num artigo publicado na revista *Nature Nanotechnology* (doi:10.1038/nnano.2009.5).

O professor de Química da NYU, Nadrian Seeman, um dos co-autores, afirma que “o objectivo da nanotecnologia consiste em colocar espécies específicas, atómicas e moleculares, no local onde as queremos e quando as queremos nesse local. Este aparelho é uma unidade programável que possibilita aos investigadores a captura e manipulação de estruturas a uma escala sem precedentes.”.

As dimensões do dispositivo são aproximadamente 150x50x8 nanómetros. Esta criação consiste num aperfeiçoamento do trabalho anterior de Seeman – um nanorobot de um braço apresentado em 2006, que possibilitou pela primeira vez aos investigadores a aplicação de um aparelho nanotecnológico funcional em estruturas de ADN. O novo dispositivo aplica técnicas de modelação molecular de ADN (também designada

por ADN origami), um método desenvolvido em 2006, que usa algumas centenas de cadeias curtas de ADN para formar uma única cadeia muito longa, manipulada de modo a adoptar qualquer forma desejada. Estas formas de aproximadamente 100 nm de diâmetro, são 8 vezes maiores e 3 vezes mais complexas do que qualquer forma passível de ser criada a partir de simples estruturas cristalinas de ADN.

Tal como na anterior criação de Seeman, o dispositivo robótico possibilita a construção de novas estruturas de ADN, tornando-se, deste modo, um recurso potencial para a montagem de blocos estruturais de novos materiais. A aplicação destas capacidades poderá conduzir a avanços em áreas tão diversas como o desenvolvimento de novas fibras sintéticas e a encriptação de informação, entre outras.

O aparelho nanorobótico possui dois braços que se justapõem, e que possibilitam a captura de moléculas para a formação de uma sequência de ADN.

Os investigadores verificaram que o dispositivo permite uma eficiência de desempenho de 100%.

Testes anteriores revelaram uma capacidade de captura das moléculas pretendidas em apenas 60 a 80 % das tentativas. No entanto, a alteração das

condições operatórias, nomeadamente, o aquecimento do dispositivo na presença de compostos adequados possibilitou um aumento da sua eficiência para 100% de tentativas bem sucedidas.

A confirmação dos resultados foi realizada por microscopia de força atómica, que permite visualização à escala de alguns nanómetros.

Os restantes co-autores do trabalho são Hongzhou Gu, um estudante de pós-graduação no Departamento de Química da NYU, Jie Chao e o Professor Shou-Jun Xiao, ambos da Universidade de Nanjing.

(adaptado de *ScienceDaily* www.sciencedaily.com/releases/2009/02/090215151807.htm, acessado em 15/02/2009)

Paulo Brito