



UMA PERSPECTIVA HEURÍSTICA PARA O ENSINO DA QUÍMICA

Com base numa leitura histórica e sociológica da criação e evolução da ciência, apresenta-se um conjunto de metodologias para um ensino da Química perspectivado na inovação e na flexibilidade mental, necessárias para preparar os estudantes numa sociedade em rápida mutação.

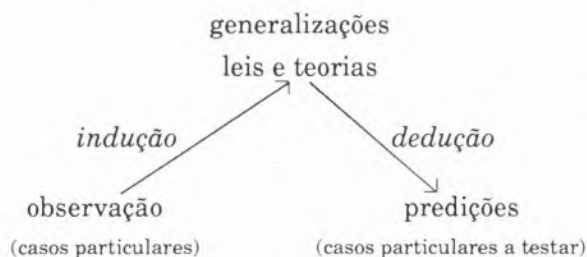
A Química é uma das ciências fundamentais do mundo de hoje, ao proporcionar um conhecimento indispensável para satisfazer as necessidades da sociedade na saúde, no ambiente, na agricultura, na alimentação, nos materiais, etc.. Mas é muito mais do que isto. É uma forma de cultura e um meio de satisfazer os anseios intelectuais do homem, dando respostas a muitas das suas interrogações.

A Química é hoje a ciência de maior progresso. O seu índice de trabalhos científicos e tecnológicos — o Chemical Abstracts — é o maior índice do mundo, segundo o Livro de Records de Guinness [1]. Talvez, como nos diz Sir George Porter [2], num aparente paradoxo, esta ciência vai-se tornando cada vez mais fácil de ensinar, porque vamos descobrindo mais dos seus princípios unificadores. Porém, o desafio que os educadores do nosso tempo defrontam, não é menor do que no passado. Perante a velocidade vertiginosa do progresso que cada vez nos deixa antever menos do caminho à nossa frente, perante a falta de correspondência entre os objectivos de um sistema educativo moldado à nossa geração daqui a 10 ou 15 anos, perante a obsolescência veloz do conhecimento, como educar e formar os jovens, preparando-os para um futuro que nos é desconhecido? Este é, em minha opinião, o grande desafio que se coloca aos professores de ciências, muito em especial, aos professores de química.

O ensino das ciências fornece uma melhor compreensão do mundo, motivação eterna do homem, uma formação metodológica nos "valores" do método científico — honestidade, rigor de pensamento, espírito crítico e objectivo — e uma visão do contexto social, cultural e económico das ciências. Todavia, uma formação para o futuro exige ainda uma melhor preparação na maneira de pensar e de reflectir perante situações novas, motivando os estudantes para o valor dos métodos da ciência no enfrentar e no resolver de tais situações, e o fomentar da imaginação e da criatividade. Como será isto possível?

Julgo que a resposta está na própria ciência, processo *in fieri* que se tem mantido na senda

do progresso há alguns séculos. A proposta heurística que faço aos professores é a de criação de metodologias com base no modo como os cientistas praticam realmente a ciência. Não através da imagem tradicional do que é a ciência,



mas uma imagem que nos seja transmitida por uma leitura histórica, sociológica e até psicológica dos cientistas e da ciência que criam. Estas explorações podem fornecer estratégias para o ensino da química. Temo-las seguido no projecto do ensino de química do Departamento de Química da Universidade de Coimbra — "Química para Ti" — e algumas das ilustrações que irei apresentar decorrem de tais estudos, mas é minha intenção que esta leitura da ciência motive os professores para desenvolverem estratégias de ensino alternativas, com o mesmo objectivo, de "um ensino para o futuro".

LEITURA HISTÓRICA

A observação e o valor do conhecimento científico

A ciência é um sistema lógico que se foi construindo ao longo da história e que se define pelo método que usa para explicar a realidade circundante, na convicção de que a mesma é humanamente compreensível. O método é a arte de interrogar a natureza, ordenando os factos em relações lógicas, coerentes e objectivas que explicam e reproduzem os factos experimentais [3,4].

O homem da ciência foi aprendendo que a natureza é demasiado complexa e variada para ser explorada ao acaso [5]. Daí que, em

ordem a poder colocar uma interrogação clara é necessário ter previamente uma ideia sobre as respostas possíveis ou seja, é preciso posuir, como hipótese, alguma explicação teórica dos fenómenos a indagar. Como nos diz Bachelard [6], os próprios instrumentos são como que teorias materializadas. Donde todo o conhecimento dos fenómenos traz sempre uma marca teórica.

Esta perspectiva da natureza de observação científica [7] poderá parecer pouco familiar. Atentemos porém na figura seguinte



Para nós esta figura representa um avião. Para alguém mais conhecedor da matéria, poderá representar mesmo um dado modelo de avião. Mas para alguém que não saiba o que é um avião, a figura poderá representar uma ave ou apenas uma colecção de pontos. Este exemplo ilustra o facto de o nosso conhecimento depender do conhecimento prévio que possuímos. De uma forma um pouco mais sofisticada, o conhecimento científico que nos é transmitido pelas observações experimentais, depende também do nosso conhecimento teórico.

Examinemos alguns casos históricos que nos ilustram de forma clara este facto. Em várias ocasiões diferentes astrónomos eminentes entre 1690 e 1781 viram uma "estrela" na posição que se julga ser a do planeta Urano. Quando em 1781 Herschel observou o astro pela primeira vez, com um telescópio melhor, viu uma imagem de um disco, não característico das estrelas, e disse que tinha descoberto um *cometa*. Todavia Lexell, após várias tentativas infrutíferas para ajustar as observações experimentais à órbita de um tal cometa, sugeriu que o astro observado devia ser um *planeta*. Claramente a teoria alterou o conhe-

cimento dos astrónomos nesta observação experimental [8].

A mudança de perspectiva de um universo aberto e dinâmico, que Copérnico e Galileu vieram trazer, também alterou o conhecimento do firmamento. Não foi por acidente que onde anteriormente se via um firmamento imutável, se passou a ver e a registar o aparecimento de novas estrelas. Os chineses cujos conhecimentos cosmológicos não impediam as mudanças no firmamento, tinham registos sistemáticos de manchas solares, muitos séculos antes de Galileu as observar [8]. Qualquer observação tem de ser expressa numa linguagem teórica ou conceptual, pelo que a qualidade das observações depende da qualidade da teoria utilizada.

Um conhecimento aparentemente tão objectivo como “o sulfato de cobre anidro tem uma solubilidade de 205 g dm^{-3} a 20° C , em água”, só pode ser feito tendo como pressuposto noções de dissolução, temperatura, hidratação e volume [7]. Este exemplo ressalta mais claro, se remontarmos ao séc. XVIII e à teoria das afinidades químicas — todas as espécies químicas eram corpúsculos mantidos unidos devido a forças de afinidade mútua. Guiados por esta teoria, os químicos viram a dissolução de um sal em água ou do oxigénio em azoto como exemplos de combinações químicas, porque as misturas obtidas eram homogéneas. Vindo do campo da meteorologia, com uma aprendizagem diferente da dos químicos, Dalton via a mistura de gases como um processo de natureza física, onde as “forças de afinidade química” não desempenhavam qualquer papel. E a partir desta nova perspectiva, veio a desenvolver a teoria atómica, que não só veio a racionalizar conhecimentos antigos, como os trabalhos de Ritcher sobre equivalentes e a lei das combinações de Proust, como veio a sugerir experiências novas, como as de Gay-Lussac. Os químicos deixaram de escrever óxidos como contendo, por exemplo, 56% de carbono e 72% de oxigénio em peso; passaram a escrever que nesse óxido 1 peso de carbono se combinava com 1.3 pesos de oxigénio [8].

Os cientistas aprenderam com a experiência, mas esta aprendizagem foi evoluindo. Primitivamente como Francis Bacon procura realçar, o método científico consistia essencialmente em registar o que acontecia no mundo circundante. Daí a importância que tiveram as técnicas e as artes em fornecer o conhecimento empírico primitivo donde arrancou a ciência. Porém, com o evoluir dos conhecimentos e a sede de maior saber, os cientistas compreenderam que não bastava observar passivamente a natureza, havia necessidade de a interrogar [9].

As *teorias* são criações do homem para explicar a realidade e, em muitos casos, nem são *sugeridas*, pelo menos de uma forma directa, pela observação dos factos. Basta reparar no princípio da inércia, enunciado por Galileu, e que está em nítido contraste com as observações directas da experiência. Mas se assim é, qual a objectividade e o valor do conhecimento científico?

Poincaré [10] ilustra muito bem esse aspecto com um exemplo do domínio da mecânica. Qual das seguintes hipóteses tem maior lógica: na ausência de qualquer força, um corpo não altera a sua *velocidade*, a sua *posição* ou a sua *aceleração*? Têm todas igual lógica. Decidir entre diferentes hipóteses ou teorias, como diz Hooykaas [11], “não é uma questão de lógica, mas de acordo com a experiência”. Aqui reside a objectividade da ciência e é este diálogo da *teoria* com a *experiência* que dá valor ao conhecimento científico. O valor do conhecimento científico não resulta do consenso dos cientistas, mas do acordo das ilações teóricas com os factos experimentais.

Estádios de desenvolvimento no conhecimento científico

O desenvolvimento do conhecimento científico, como Piaget nos procura distinguir nos seus estudos de epistemologia genética, “não é revelado apenas por estádios iniciais ou terminais, mas pelo próprio processo das

suas transformações". Essas transformações seguem de muito perto os estádios de evolução cognitiva da criança: sensório-motor ou prático, pré-operatório ou intuitivo, das operações-concretas e das operações formais. No primeiro estágio, o mais elementar, as construções cognitivas efectuam-se com base em percepções e movimentos; no segundo estágio a irrupção da representação simbólica liberta o pensamento do contexto imediato das acções; no terceiro estágio a criança é capaz de realizar operações ditas concretas, na medida em que incidem directamente sobre os objectos e a operação é uma acção mental reversível que se integra numa estrutura de conjunto. Só no último estágio surge a capacidade de raciocinar a partir de hipóteses abstractas [12].

Piaget estudou em detalhe a noção de velocidade de um corpo móvel nas crianças [13]. Dois automóveis de cores diferentes moviam-se com movimento uniforme em linha recta, em diferentes situações: percorrendo a mesma distância em diferentes intervalos de tempo, o mesmo tempo para distâncias diferentes ou ainda, em certos casos, nem a distância nem os tempos eram os mesmos. As crianças reconheciam como mais "rápido" o automóvel que chegava primeiro à meta, ou que ia à frente a maior parte do percurso. Por exemplo, o azul partiu primeiro, mas o vermelho alcançou-o junto à meta. As crianças indicavam o automóvel azul como mais "rápido". Era um "critério ordinal" diferente do que os adultos chamam *velocidade* (critério métrico), mas era consistente. Outras experiências revelavam que as crianças podiam usar um segundo critério; o automóvel vermelho partia muito depois do azul e tinha de ser muito rápido para alcançar o azul. Nesta situação as crianças indicavam o carro vermelho como o mais rápido, porque diziam que "se via". Usavam agora um critério de velocidade a que nós chamamos *velocidade instantânea*.

Consideremos agora um exemplo histórico, do domínio da mecânica, como Kuhn apresenta [14]. Na "Física" de Aristóteles há dois critérios diferentes de velocidade. Na maioria das situações Aristóteles vê o movimento como

uma mudança de posição: a velocidade é igual quando a mesma mudança ocorre no mesmo tempo. A noção implícita é a de *velocidade média*, mas a noção é basicamente ordinal, tal como o critério da criança, da rapidez avaliada pela posição do móvel. Também Aristóteles, como as crianças, refere o critério de velocidade instantânea quando ele se torna evidente pela simples observação. O conceito de velocidade média de Aristóteles e das crianças era adequado para os movimentos suaves, diríamos "quasi-uniformes" e daí não decorriam contradições. Só para movimentos fortemente acelerados o conceito falhava.

Mais através de "experiências imaginadas" do que de experiências reais, e por considerações teóricas sugeridas pela teoria do *impetus* da Idade Média, Galileu veio a eliminar contradições de pensamento que existiam em Aristóteles. As noções mecânicas de Aristóteles correspondiam a um estágio de operações-concretas, intuído de uma forma passiva, de senso comum, das observações correntes. Só numa fase de maior abstracção foi possível a Galileu alcançar o "princípio da inércia". Este princípio não foi intuído da experiência, foi inventado. Também não se pode dizer que tenha sido provado pela experiência; são as consequências do princípio da inércia que são verificadas experimentalmente. Não obstante Aristóteles ser um homem brilhante no pensamento lógico-formal e abstracto, como aliás em muitas outras matérias, perante uma situação nova (a explicação do movimento dos corpos) retrocedeu a um estágio de operações-concretas.

A partir do momento em que a criança pode designar um objecto pelo seu nome, deixa de ser obrigada a vê-lo para ter a impressão de o possuir. O poder da palavra permite-lhe libertar-se do imediato e ter associações muito mais rápidas e representações de conjunto simultâneas. À medida que for acumulando experiências poderá, graças à linguagem, compará-las, combiná-las e multiplicá-las até onde quiser. A linguagem não se limita a enriquecer e a ordenar as novas experiências, exerce também uma influência sobre a percepção do mundo exterior [15].

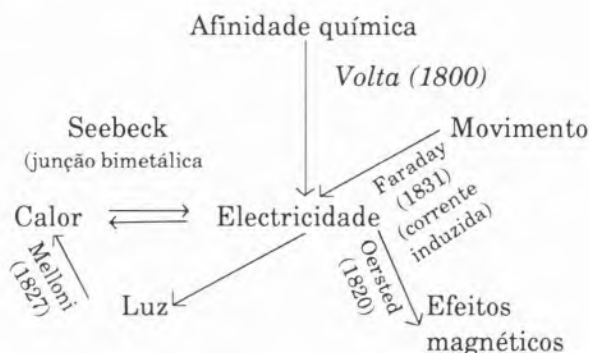
Com alguma liberdade podemos comparar os efeitos cognitivos da criança, com o da aplicação da matemática à ciência. Foi esta a grande revolução de Galileu, que levou ao abandono do empirismo aristotélico. Ao associar a matemática à experiência, “criou um método que utiliza a linguagem matemática para interrogar a natureza e para interpretar as suas respostas”. Substituiu um universo de conhecimento empírico, por um universo racional e quantitativo onde “a medida” é um princípio fundamental e o mais importante [16]. Como Boaventura de Sousa Santos [17] sintetiza de uma maneira clara: “Em primeiro lugar conhecer significa quantificar. Em segundo lugar, o método científico assenta na redução da complexidade. O mundo é complicado e a mente humana não o pode compreender completamente. Conhecer significa dividir e classificar, para depois poder determinar relações sistemáticas entre o que separou”.

Os estudos de Piaget sobre a noção de “conservação da quantidade” na criança [12] são também bastante elucidativos sobre a evolução do conhecimento científico, para um caso histórico já muito posterior à revolução científica de Galileu. Se pedirmos a uma criança para modelar um pedaço de plasticina como uma salsicha ou como um rolo, podemos verificar que a noção de conservação da matéria e das formas evolui com a idade. A criança dos 5-6 anos julga que a salsicha tem mais matéria do que o rolo, porque é mais comprida; dos 6-7 anos admite que a quantidade de plasticina é a mesma nas duas formas, mas julga o peso e o volume diferentes; cerca dos 10 anos reconhece que a quantidade de matéria e o peso são os mesmos, mas o volume é diferente; a conservação do volume só é alcançada por volta dos 11-12 anos.

O conceito de energia é uma aquisição bastante recente da ciência. A invenção deste conceito foi um processo lento de 1800 até meados do século, podendo ser considerada uma “descoberta múltipla”, onde estão nomes como Mayer, Joule, Colding, Helmholtz, Mohr, Groce, Faraday, Liebig e mesmo Carnot, Séguin, Holtzmann, entre outros [18].

A controvérsia filosófica sobre a conservação da “força viva” no séc. XVIII com nomes como Leibniz, Jean e Daniel Bernoulli, Hermann e Châtelet, parece ter pouco a ver com a invenção do conceito de energia [18]. Claro que havia uma predisposição para um princípio unificador da natureza que seria uma “força” indestrutível que estaria na raiz de todos os fenómenos, mas era quando muito uma sensação indefinida.

Tudo terá começado com Volta que em 1800, com a invenção da pilha, produz electricidade através de “forças de afinidade química”. Rapidamente se começaram a estabelecer *relações* sobre factos aparentemente independentes, como se ilustra



Em 1854 Faraday concluía uma série de cinco lições sobre as novas descobertas da química e dos fenómenos galvânicos, afirmando: “não podemos dizer que qualquer destes fenómenos é causa de outros, mas somente que estão todos relacionados entre si e que devem ter uma causa comum”. Mohr em 1839 também afirmava: “para além dos 54 elementos químicos, há um outro agente, chamado “força”, que pode aparecer em várias circunstâncias como movimento, afinidade química, coesão, electricidade, luz, calor e magnetismo, e a partir de um qualquer deste tipo de fenómenos todos os outros se podem alcançar” [18].

Será que estes cientistas já tinham uma ideia intuitiva do que é energia? Estas frases são claras, porque conhecemos o princípio da conservação da energia, mas elas só reflectem a conversão dos fenómenos uns nos outros. Foi

esta a base concreta necessária para a formação do conceito de energia.

Como cada fenómeno pode ser causa de outro e produzido por ele, a igualdade de *causa* e *efeito* requer uma *equivalência uniforme* entre todos os fenómenos; se não houvesse tal equivalência haveria movimento perpétuo.

A impossibilidade do movimento perpétuo veio com a máquina a vapor e a procura de uma maior eficiência dos motores. A necessidade de quantificação vêmo-la se perguntarmos, para um certo trabalho qual o combustível necessário? Novas associações, agora com o conceito de *trabalho*, levam à procura de uma quantificação. Só quando, com Joule, se conseguiu medir em relação a um padrão, se deram realmente os passos finais para a noção da *conservação da energia*.

Atente-se como ainda num livro de texto de 1900 se definia energia: “*energia* de um corpo é a faculdade que este corpo possui de produzir *trabalho*; é o valor do trabalho produzido que mede a própria energia” [19]. Aliás, ainda me recordo de ser ensinado a exprimir sempre o trabalho em *ergs* e o calor em *calorias*; havia uma distinção nas suas medidas, não obstante se conhecer o seu factor de conversão. O que se pressupunha era uma diferença na “qualidade da energia”, um modo de ver muito mais ligado ao conceito de *entropia*.

A noção de conversão da energia, que define a própria energia, foi um processo lento que passou por fases de operações concretas, e que não foi deduzido da “conservação da força viva”, já na época numa fase de operação formal,

conservação da	interconversão de “força”	equivalência uniforme de causa e efeito entre
força viva	fenómenos de diferente natureza	fenómenos

→ impossibilidade de movimento perpétuo	→ quantificação da “força”	→ conservação da energia
---	----------------------------	--------------------------

Estas fases são, afinal, diferentes modos de avaliar a conservação da energia. Tal como na

criança, também todos estes entendimentos não foram conhecidos de uma só vez, evoluindo do mais concreto para o mais abstracto. De facto era psicologicamente impossível ao cientista do início do séc. XVIII alcançar de imediato o conceito de energia ⁽¹⁾, com a naturalidade com que o viram por meados do século.

Estruturas Cognitivas

Nos tempos em que Gutenberg ainda não tinha inventado a imprensa de caracteres móveis, a memória era essencial para transmitir informações na vida corrente. Diz-se que foi o poeta grego Simónides que inventou a arte da mnemónica, ao recordar as coisas difíceis através das que são fáceis de fixar. A arte consistia em escolher locais, em geral monumentos, formar imagens mentais do que se pretendia fixar e armazenar estas imagens em diferentes lugares do monumento. As ideias ancoravam-se às imagens das coisas e a ordem dos lugares preservava a ordem das coisas [20]. Esta técnica de mnemónica já contém, como iremos ver, elementos de teorias modernas da geração do conhecimento.

“O que é importante em ciência é o revelar das relações entre os fenómenos” [21]. Por vezes caminhos errados têm conduzido ao estabelecimento de relações importantes e que permanecem como conhecimento correcto. Carnot estabeleceu o que hoje chamamos a 2.^a lei da Termodinâmica e a noção de entropia a partir da ideia de que o calor é conservado.

Esta perspectiva perdeu-se, mas as primeiras mantêm-se como válidas. O mesmo acontece na Matemática, onde também os padrões de rigor têm variado. Bell mostrou isso, ao notar que os matemáticos do séc. XVIII foram afor-

⁽¹⁾ Thomas Young tinha já mostrado a confusão resultante do uso da “força” por força viva, por vários investigadores. O termo *energia* com o significado preciso foi devido a William Thomson e William Rankine. Aliás foi Thomson que chamou a atenção para os trabalhos de Joule, que já tinha visto dois artigos com os seus trabalhos sobre “energia” rejeitados pela Royal Society.

tunados em não terem cometido mais erros do que aqueles que cometeram: “como é que mestres da análise do séc. XVIII — os Bernouilli, Euler, Lagrange, Laplace — foram capazes de consistentemente obter resultados correctos na maior parte dos seus trabalhos, tanto em Matemática pura como aplicada? O que esses grandes matemáticos tomaram por raciocínios válidos no começo do cálculo, é hoje universalmente considerado como inválido” [22].

Segundo Ausubel [23] o conhecimento evolui se os conhecimentos novos puderem ser ligados ou relacionados (ancorados) com ideias e conceitos claros e estáveis na estrutura cognitiva do indivíduo, isto é, na sua rede de ideias, conceitos e relações mentais. Os conhecimentos que permanecem desligados da estrutura cognitiva são apenas memorizados, mas não interaccionam com os conhecimentos existentes. A evolução do conhecimento depende não só do conhecimento e da situação nova, mas também dos conhecimentos e ideias já assentes.

Reparemos como a noção de energia exigiu pontos de ancoragem que tiveram de ser procurados num estágio de operações-concretas. A noção de conservação da energia não surgiu por ligação à noção conservativa da “força viva”, conceito numa hierarquia de abstracção idêntica à da energia. O regresso a uma fase de operações-concretas parece ter sido necessário para criar as ideias e os conceitos que, do concreto para o abstracto, se vieram posteriormente a ligar à noção de conservação da força-viva que passava, assim, a ser integrada numa nova estrutura cognitiva.

Dogma Científico e Ensino

O valor objectivo do conhecimento científico assenta na sua relação com a realidade experimental. Uma teoria num dado domínio científico, para ser relacionada com a experiência, necessita sempre de ir buscar conceitos, ideias e leis a outras teorias já bem verificadas e mesmo factos experimentais a outros domínios, que constituem as *proposições auxiliares*

da teoria. Os modos como uma teoria se pode relacionar com a experiência podem ser assim classificados [24]:

I — Teoria	II — Teoria	III — Teoria
Proposições auxiliares aceites	??	Proposições auxiliares
Previsão → factos experimentais	Factos experimentais	??

Só numa relação de tipo —I uma teoria pode fazer previsões a respeito de factos experimentais e estas previsões podem ser “verdadeiras”, se estão de acordo com os factos experimentais, ou *falsas* se assim não sucede. Este é o campo de interesse da filosofia das ciências e que permite testar a *validade* de uma teoria.

Os problemas do tipo —II, onde se procuram encontrar proposições auxiliares que expliquem factos experimentais, constituem a maioria dos problemas com que a ciência se defronta. Se uma teoria passou testes do tipo —I e for capaz de resolver muitos “puzzle” do tipo —II, ganha credibilidade e aceitação, podendo ser então utilizada para avaliar das consequências de certas proposições auxiliares em problemas de tipo —III. Se bem que tais problemas sejam de pura índole matemática, são uma fonte de sugestões explicativas e de novas ideias.

Numa comunidade científica os investigadores lêem os mesmos textos e as mesmas revistas científicas, trocam ideias uns com os outros e, em consequência, manifestam um razoável acordo sobre os problemas a investigar, os métodos e as teorias a utilizar. Como em qualquer grupo institucionalizado, a função de uma comunidade é a de transmitir os conhecimentos julgados de valor às gerações vindouras, por uma selecção e depuração de ideias, conceitos, métodos e problemas, que constituem os *paradigmas* da comunidade [5]. Segundo Kuhn [5] os cientistas formam comunidades muito fechadas, disciplinadas e con-

troladas, cuja tarefa normal é descobrir exemplos e soluções novas com os esquemas teóricos já aceites. Os problemas a resolver são os problemas compreensíveis dentro do âmbito dos paradigmas. Igualmente o que é ensinado são os mesmos paradigmas, e os seus problemas e explicações. “Fora de tais esquemas, não há lugar para uma problemática científica ou para um conhecimento científico” [25].

A transmissão dos paradigmas faz-se através de um ensino que é necessariamente *autoritário* e *dogmático*, o que o torna eficaz. É também a existência de paradigmas científicos que assegura a eficiência à investigação e o enorme progresso que a ciência dos nossos dias bem patenteia. Um paradigma diz aos cientistas o que procurar e onde procurar, e assim conseguem ser muito eficientes.

Um paradigma não é apenas um produto da razão e da metodologia da investigação. É também uma construção de uma comunidade científica que o gera e o transmite. A credibilidade dessa transmissão não reside essencialmente na natureza da matéria exposta e na sua racionalidade, mas na autoridade dos textos e no poder do professor, enfim no carácter institucional que a acompanha [26,27]. Quão ineficiente seria a aprendizagem se os estudantes tivessem de aprender dos trabalhos originais de Newton, Einstein, Lavoisier, Dalton, Schrödinger e tantos outros?

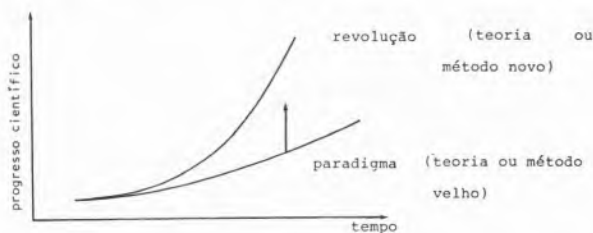
Claro que há um onus nesta eficiência — a resistência dos cientistas à inovação científica [28]. Os cientistas têm um espírito bastante aberto para situações novas, mas são extraordinariamente resistentes a ideias contrárias às bases da sua cultura científica, isto é, aos seus paradigmas. Imensos exemplos se podiam citar, como a recepção dos trabalhos de Kepler por Galileu, a rejeição dos trabalhos de Gay-Lussac por Dalton, de Maxwell por Kelvin, a explicação do efeito fotoelétrico de Einstein por Planck, de Mendel por Nageli, etc.. Contudo uma tal intransigência é necessária. Tal como numa fábrica, só se mudam os meios de produção se houver fortes razões económicas para o fazer, pois também em ciência só se aceitam novas ideias, se a teoria velha deixar por explicar muitos problemas, tiver previsões

erradas, e se a nova teoria se mostrar capaz de um progresso muito maior. A ciência estabelecida é um obstáculo epistemológico à sua própria evolução, mas também contém em si o germe da sua destruição, que é fonte de inovação e de maior progresso.

Inovação e Revolução

A actividade de pesquisa de um cientista não pode ser dissociada do ambiente cultural e científico e da tradição de investigação da sua época. A ligação do indivíduo à sua época não permite, em geral, que o cientista quebre muitos dos laços sociais, e as *inovações* são mais o descobrir de novas relações entre fenómenos, ideias e conceitos, do que o quebrar com todas as amarras racionais do conhecimento da época. Essas novas relações podem conduzir a novas perspectivas para o conhecimento científico e vir a substituir algum paradigma vigente.

Quando uma comunidade científica muda os seus paradigmas, muitas vezes através de um processo lento e de conflito, dá-se uma *revolução científica*, porque a perspectiva que uma teoria ou uma técnica nova dá do mundo, é diferente do conhecimento anterior. A revolução corresponde também a um maior progresso científico, porque só assim há motivação para a mudança,



Em muitas revoluções científicas não há invenção de conceitos. Há apenas relações novas entre conceitos velhos que, através dessa nova relação, ganham uma perspectiva diferente. Por exemplo, a famosa relação de Einstein,

$$E = mc^2$$

estabelece uma relação entre massa e energia, que era desconhecida. Einstein não teve, porém, de inventar os conceitos de massa e energia. Contudo estes mesmos conceitos ganharam um significado diferente com a teoria da relatividade.

Como foi enorme a revolução que Lavoisier introduziu na Química ao interpretar a combustão como uma reacção de combinação com o oxigénio. Lavoisier não descobriu a combustão, nem o conceito de reacção de combinação, nem mesmo o gás desflogisticado. “Apenas” relacionou factos e ideias de um modo diferente. Aqui reside a maior fonte de inovação no nosso mundo.

Mesmo em domínios que são um desprender do pensar de uma época, como foi a revolução quântica, se encontram elementos de forte ligação à cultura da época por alguns dos seus inovadores. Planck considerava a descontinuidade da energia apenas como um método expedito de explicar a radiação dos corpos negros. Por isso entendia que Einstein tinha ido longe de mais, na explicação do efeito fotoeléctrico, ao atribuir realidade material (fótons) aos quanta de energia. Porém, Einstein também se manteve um físico determinístico e nunca aceitou as interpretações da escola de Copenhague.

Método das Hipóteses Múltiplas

Julgo que hoje se reconhece que a ciência não é toda igual. Há ramos do saber onde quase todos os dias há uma descoberta importante e noutros o progresso é muito mais lento. Platt [29] procurou fornecer uma explicação para este facto e encontrou-a na aplicação sistemática do “método das hipóteses múltiplas” ou, como Platt o designa “método de inferência forte”.

Em 1897, um geólogo, T. C. Chamberlin, que veio a ser conhecido por uma hipótese para a origem do sistema solar (hipótese de Chamberlin — Moulton), publicava um artigo para os seus estudantes intitulado “The Method of Multiple Working Hypotheses” [30]. Neste tra-

balho o autor começava por criticar o método corrente de explicação científica, onde se trabalha como uma única hipótese que se procura confirmar:

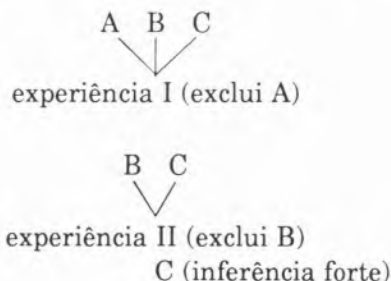
“Há uma pressão sobre a teoria para se ajustar aos factos e uma pressão sobre os factos para se ajustarem à teoria. Quando se formam estes pré-juízos, o processo mental rapidamente degenera em paternalismo...”. “A teoria rapidamente assume uma posição de controlo nos processos mentais e na observação”; “primeiro uma tentativa de teoria, depois uma teoria que se adopta, por fim uma teoria dominante”.

“Se, conscientemente, se adoptar um método de hipóteses múltiplas, em vez de uma única hipótese; o esforço, as honras e a afeição são distribuídas por essas várias hipóteses”.

“Assim se neutraliza ao máximo a parcialidade dos ajuizamentos emocionais e se procede com uma certa verticalidade mental”.

Era o método de hipóteses múltiplas que Chamberlin propunha aos seus estudantes.

Em que consistia este método? Consideremos um problema a resolver e coloquemos várias hipóteses alternativas de solução. Designemo-las, por exemplo, por A, B, C. Planeia-se uma experiência que permita, o melhor possível, excluir uma ou mais hipóteses. Repete-se o procedimento com as hipóteses remanescentes e assim sucessivamente,



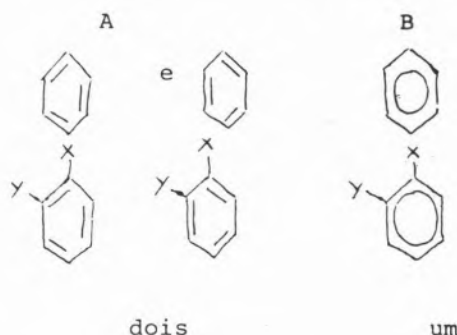
A hipótese seleccionada tem um valor muito forte. Por isso o método é designado por “inferência forte”. Este método talvez não seja apropriado para alguns domínios científicos, mas Platt refere que “desde a sua origem a química orgânica foi a morada espiritual da inferência forte”.

Exemplifiquemos como, utilizando esta metodologia, os químicos orgânicos alcançaram a noção correcta de que no benzeno as ligações carbono-carbono são todas equivalentes, muito antes do advento das técnicas de espectroscopia e raios-X. O quadro seguinte ilustra-o

Hipóteses:

Experiência crucial de
derivados disubstituídos

Número de isómeros
em cada hipótese:



Conclusão: a experiência elimina a hipótese A.

No tocante à maleabilidade de espírito, posso confirmar pessoalmente este facto. Vários artigos de aplicação de uma teoria (Modelo de Intersecção de Estados) que recentemente desenvolvi em colaboração com Prof. António Varandas, têm sido rejeitados para publicação em revistas de química-física, por entrarem em conflito com um paradigma corrente da cinética química. Todavia têm sido aceites em revistas de química orgânica. O efeito do “método das hipóteses múltiplas” no progresso das ciências é assunto que trataremos de seguida”.

O progresso das Ciências

Como referimos anteriormente, o “Guinness Book of World Records” dá como a maior índice do mundo o “Chemical Abstracts” o que atesta bem da importância da Química no mundo de hoje [1]. O progresso é tão evidente que se pode julgar dispensável qualquer análise quantitativa. Todavia algumas conclusões interessantes decorrem desta análise.

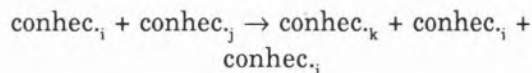
Nos tempos (1750-1950) em que não havia uma política de restrições à criação de revistas

científicas, o seu crescimento foi exponencial, isto é, seguiu uma lei cinética de 1.^a ordem [31]. Esta é a “lei normal” do progresso. Por exemplo, o aumento dos custos e portanto da capacidade, dos espectrómetros de ressonância magnética nuclear segue também uma lei de

1.^a ordem, durante mais de três tempos de vida (Figura 1).

A ciência da informática parece-nos a actividade científica de mais progresso nos últimos tempos, que tudo está a revolucionar. O seu progresso pode ser medido, por exemplo, pelo número de bits por cm² ou de bits por chip. Ambos estes crescimentos são exponenciais desde 1965 até ao presente [32], com um ligeiro decréscimo do último parâmetro a partir de 1979. Todavia o impacto da informática na indústria nos Estados Unidos é ainda mais significativo. Durante cerca de 10 tempos de vida, de 1955 até 1982, o progresso da informática variou de lei cinética, como a figura 2 ilustra até 1965 o progresso do impacto industrial seguiu uma lei de 1.^a ordem e a partir de 1976 segue uma lei de 2.^a ordem.

As estruturas cognitivas não são fixas. Vão crescendo por aumento do número de ideias, conceitos, métodos e técnicas e por aumento das relações entre eles. É este último facto que, quando predomina, pode explicar uma lei de 2.^a ordem. Como se fosse uma colisão entre conhecimentos a produzir conhecimento



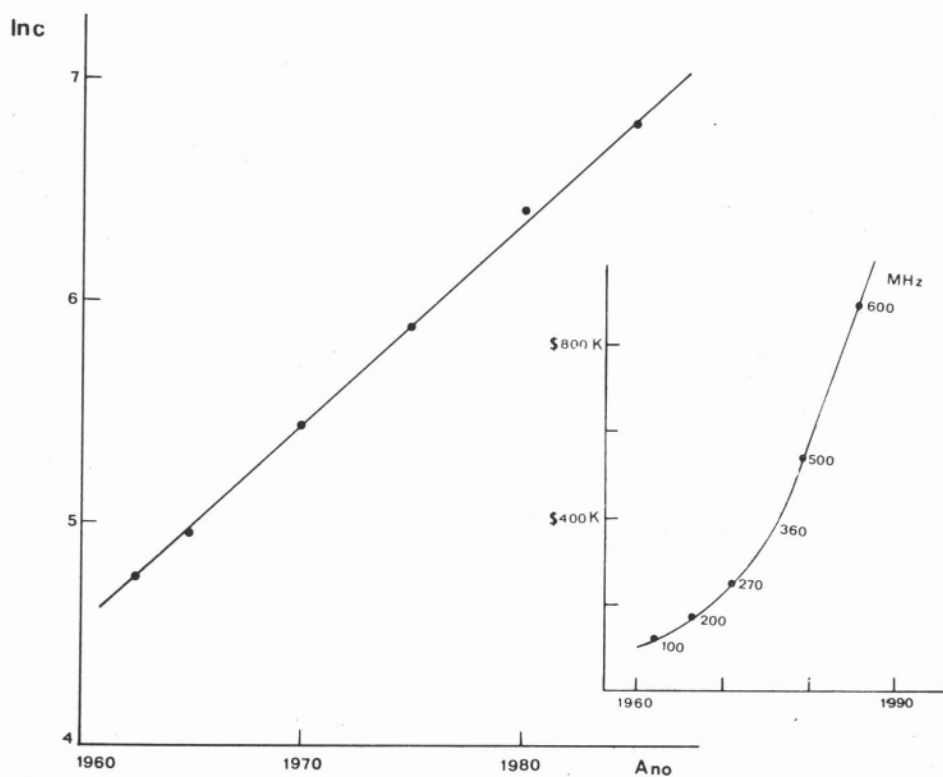


Figura 1

Os custos dos espectrômetros de RMN seguem uma lei de crescimento de 1.^a ordem
(dados da ref. 1)

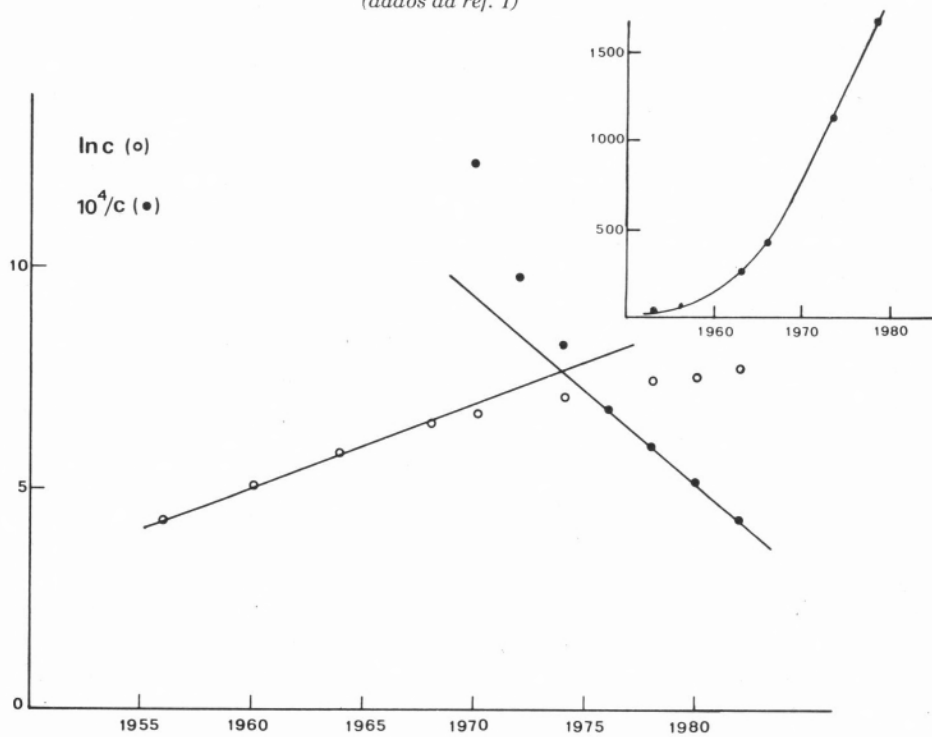


Figura 2

Leis da evolução para a instalação de computadores pesados na indústria dos Estados Unidos

Analisemos, agora, o progresso da química orgânica, através do número de compostos conhecidos. Como a figura 3 mostra durante mais de três tempos de vida, de 1930-1980, o progresso da síntese orgânica segue uma lei de 2.^a ordem!

De há muito que a Química Orgânica atingiu a eficiência máxima na interação dos conhecimentos, não obstante as sínteses mais fáceis já terem sido realizadas há muito. Nesta

nas. A não ser que o homem vá criar uma forte relação entre a sua natalidade e esse mesmo conhecimento [33].

PISTAS METODOLÓGICAS

Evolução histórica de conceitos

A história das ciências mostra-nos que, em todas as épocas, a aprendizagem da humani-

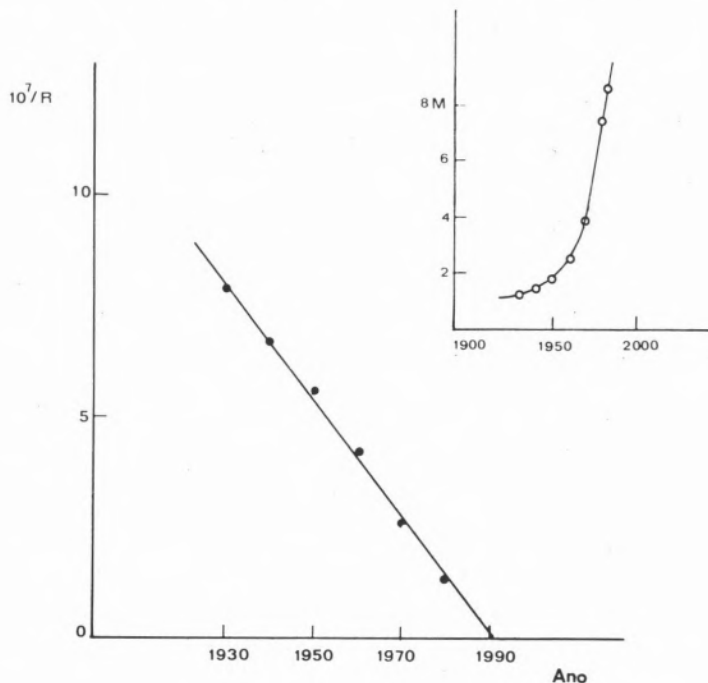


Figura 3

O número de compostos conhecidos segue uma lei de crescimento de 2.^a ordem, desde 1930 (dados da ref. 1 em milhões)

perspectiva de “ordem cinética”, julgo ser o ramo de maior capacidade de progresso da ciência ⁽¹⁾

A possibilidade que a mente humana oferece de ter um crescimento de conhecimentos não-linear de ordem superior ao da natalidade, que é linear, oferece perspectivas promissoras aos que têm sérias preocupações malthusian-

dade dependeu das suas ideias e conceitos e não somente dos fenómenos novos que surgiam. Também o ensino não deve ignorar a estrutura cognitiva do estudante, as suas ideias antes do início da aprendizagem, pois a própria observação depende dos conhecimentos do estudante no início da aprendizagem [34].

Uma acentuada discrepância entre as ideias e os conceitos que o professor pretende ministrar e as ideias do estudante, implica um processo de *revolução* de conhecimentos no estudante [34,35]. As revoluções científicas,

⁽¹⁾ Note-se que não estou a medir o progresso em termos de constantes cinéticas, mas em termos de ordens de reação. As constantes cinéticas dependem de condições exteriores ao domínio científico, como são as oportunidades proporcionais em cada contexto social.

no estudante ou no cientista, são processos lentos e de conflito. Este carácter revolucionário do ensino talvez se possa atenuar, se o professor aproximar as suas ideias às do estudante e com ele caminhar até às novas ideias, num processo evolutivo onde os conhecimentos velhos são mais modificados do que arrancados à força para serem esquecidos.

Hoje já se vão conhecendo algumas dessas ideias primitivas, mais perceptuais que conceptuais, mais baseadas em propriedades que em relações ou interacções, de um raciocínio linear de causas apenas numa direcção preferida, numa indiferenciação de conceitos, etc. [34,36]. Porém em muitas áreas estes pré-conceitos ainda são desconhecidos. Acresce ainda que mesmo perante este conhecimento, pouco se sabe ainda das metodologias para ensinar de acordo com eles [34,35]. Um ensino baseado na perspectiva histórica da evolução das ideias e conceitos parece-me, assim, uma estratégia metodológica a explorar, não só porque tem em conta as ideias velhas como a sua evolução.

Num estudo recente sobre a noção que as crianças têm do processo de solubilização, algumas diziam que quando se mexe (dissolve) açúcar em água, o açúcar torna-se “água”. Para eles “água” significa um líquido transparente. Esta ideia não está longe da noção dos quatro elementos de Empédocles (água, ar, terra, fogo). A diferença surge quando a ideia foi teorizada pelos antigos e elevada ao conceito de “elemento metafísico”.

Há estudantes que vêem o *peso* como uma propriedade dos corpos e não como o resultado da interacção entre o corpo e a terra. Também muitos associam “força” constante a movimento constante, uma noção adequada a um universo de atritos, mas onde a noção de “força” é diferente do conceito newtoniano. Perante esta noção os estudantes podem ter dificuldade numa visão cinética dos gases, porque não entendem bem o movimento das moléculas. O que é que as mantem em movimento e o que as coloca em movimento, em

primeiro lugar? Estas noções de “peso” e “força” eram correntes na antiguidade [36].

Um estágio de operações-concretas leva estudantes a atribuir aos átomos e moléculas as propriedades dos metais. Para eles os átomos aquecem, expandem-se, fundem, etc.. Também entendem que a “energia” desaparece quando um objecto em movimento pára. Confundem a energia com a “força viva”, numa simples percepção que ignora o calor que não se vê. Da mesma maneira julgam que numa combustão a matéria desaparece, por não verem ou sentirem os gases que se libertam [36]. Não foram estas muitas das dificuldades na evolução das ciências?

Do Concreto para o Abstracto

A influência dos estudos de Piaget na psicopedagogia e na didáctica das ciências torna esta recomendação metodológica quase desnecessária. Nomeadamente, tem sido produzida evidência metodológica que um ensino da química que se inicia num estágio de operações-concretas permite sucesso a um maior número de estudantes, do que se adoptar uma abordagem de operações formais [37]. Aliás o retrocesso que um estudante faz a um estágio de operações concretas, quando se encontra perante uma matéria que lhe não é familiar, mais realça a necessidade desta estratégia.

Todo o ensino é uma tarefa de hipóteses múltiplas e há que prestar cuidado ao modo como o estudante observa. Tem de ser conduzido na sua observação e nas inferências que delas extraie, não vá reforçar as suas próprias ideias que são diferentes dos conceitos que se pretendem transmitir [38]. O conceito Copernicano de a Terra se mover à volta do Sol já tinha sido afluído várias vezes na astronomia grega, mas era tão contrário à percepção sensorial. Recordemos ainda o princípio da inércia, também contrário ao senso comum. Estes aspectos realçam a necessidade de um diálogo entre a teoria e a experiência que per-

mite o desenvolvimento do conhecimento num esquema do tipo [35]



O papel da observação

No ensino primário e preparatório a criança é ensinada a observar a natureza e os seres que a habitam. Aprende a distingui-los e classificá-los. Contudo este tipo de observação, adequado para algumas ciências sem um alto desenvolvimento teórico e abstracto, não é a observação científica das ciências físicas e químicas. Neste campo a observação está carregada de teoria e é uma visão global (gestalt) que é necessária. Teoria e observação experimental devem seguir a par e passo, estabelecendo um diálogo entre si, que vai enriquecendo uma e outra. Uma teoria física ou química divorciada dos factos é uma mera especulação abstracta, pois os factos só ganham toda a sua riqueza de entendimento através das teorias. Por isso a observação científica em química requer alguma *planificação* e um *propósito*. Daí que o aluno tenha de ser encaminhado na sua própria observação [7,39].

Quantas vezes um professor diz que “uma experiência não dá”. Esta afirmação só tem sentido dentro de um contexto teórico. A um nível de observação passiva e estritamente empírica, a experiência nunca falha. Enquanto a este nível todos os factos coleccionados são igualmente importantes, a um nível superior de conhecimentos há factos mais importantes que outros e essa importância é conferida pelas teorias. Aliás todos os conceitos estão ancorados a uma teoria e modificam-se quando se modifica a teoria. O mesmo sucede,

em certa medida, com as observações experimentais de um nível mais elevado do conhecimento, dada a sua forte carga teórica. Porém esta realidade não faz com que as ciências experimentais percam a sua objectividade, pois dentro da mesma teoria diferentes observadores podem observar e interpretar a realidade experimental da mesma maneira.

Fomento das relações entre ideias

Num processo de aprendizagem, as novas ideias e conceitos, têm de se ligar às ideias claras e relevantes existentes na estrutura cognitiva do aluno. Algumas dessas ideias de ancoragem podem ser fornecidas através de imagens atractivas, motivadoras e de fácil percepção pelo estudante, com o objectivo de lhes vir a associar posteriormente as ideias e os conceitos da ciência química em estudo. As estruturas cognitivas não são estáticas, mas evolutivas; no consciente e no subconsciente vão-se criando novas relações entre conceitos. Este processo é essencial à evolução do conhecimento, à elasticidade mental do estudante, e à sua capacidade de descoberta e de imaginação. Todo este processo pode ser fomentado através de uma interacção da química com outros domínios do saber. Este processo da “fertilização cruzada” é um meio de geração de ideias novas. Repito, a inovação é fundamentalmente o encontrar de relações entre factos, ideias e conceitos que parecem ser independentes [40].

Fomento da Tolerância Mental

O ensino da ciência, não obstante todas as cautelas que se possam ter, tem uma perspectiva autoritária e dogmática. Esta metodologia, em minha opinião, deve ser mantida, por ser necessária à eficiência do ensino e da própria ciência. Contudo ela pode ser atenuada eficazmente com uma metodologia de hipóteses múltiplas que promove a tolerância mental dos alunos. Se tantas outras razões não o

justificassem, esta bastava para a inclusão do ensino da química orgânica nos currículos do ensino secundário.

Enquanto, correntemente, um facto que não se ajusta a uma teoria é um enigma ou uma anomalia que se desejaria esquecer, para quem utiliza frequentemente o método das hipóteses múltiplas é apenas um fenómeno para o qual não se encontraram ainda as hipóteses explicativas adequadas. A Química orgânica tem os seus paradigmas, como “relações lineares de energia livre”, as regras de Woodward-Hoffmann, etc., mas com que naturalidade são apresentadas relações não-lineares de energia livre e reacções que não obedecem às regras referidas. Tratam-se estes factos à maneira de verbos irregulares. Existem e são mais difíceis de aprender, mas não os ignoramos, ou lhe movemos uma guerra.

EXEMPLOS ILUSTRATIVOS

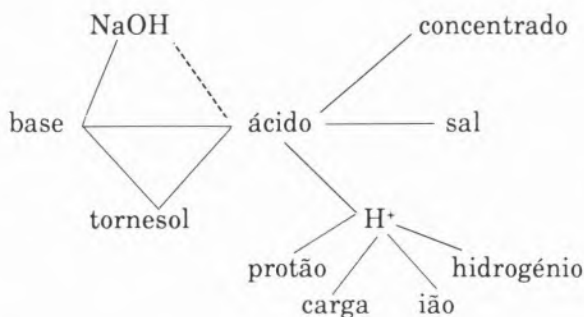
Evolução histórica de conceitos em química

Uma perspectiva histórica na abordagem de conceitos em química, não é o estudo da história da química, que, aliás, me parece, em muitos casos, inapropriado para quem se inicia no estudo desta ciência. É apenas o seguir as etapas de como os diferentes conceitos se foram desenvolvendo, enriquecendo e ganhando maior precisão. Por exemplo, o ensino do conceito de ácido e base, segue geralmente esta perspectiva:

Boyle	→	Arrhenius	Brönsted e Lowry
definição operacional	→	dador H^+	dador de H^+
com indicadores	→	dador OH^-	aceitador de H^+
(concentração)	→	(pH)	(efeito tampão e de ião comum)

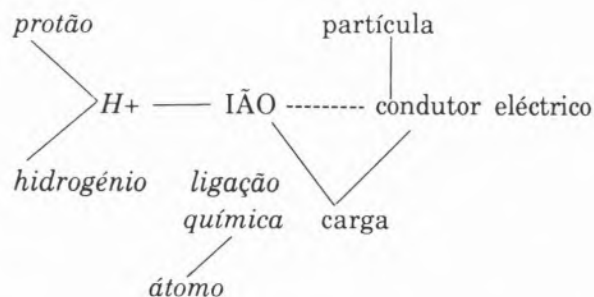
Cada um destes conceitos necessita o seu tempo de amadurecimento (assimilação e acomodação pelo que são apresentados geralmente em anos diferentes do estudo da Química. Cada um destes conceitos fornece perspectivas diferentes para o conhecimento,

na quantificação (pH) ou na interpretação de certos factos experimentais (efeito tampão). O mapa cognitivo que Kempa (41) nos apresenta para o ácido, pode assim desenvolver-se progressivamente.



O desenvolvimento inicial do conceito de ácido-base através de um diálogo de experiência e teoria encontra-se bem ilustrado no capítulo 11 de “Química para Ti” do 8.º ano e cap. 6 do 9.º ano [42,43].

Consideremos agora o conceito de ião. Uma abordagem utilizada com uma certa frequência é apresentar esta noção, após conhecidos alguns aspectos da estrutura atómica. É o caminhar do mais abstracto para o mais concreto. Seguindo a evolução histórica, a noção de ião surge, com Arrhenius, muito antes dos conhecimentos sobre a constituição do átomo. Tal como Arrhenius inferiu esta noção a partir de dados sobre a condutividade de soluções de electrólitos, também ao estudante pode ser apresentado este conceito pela mesma via. Ou melhor ainda através de estudos de electroforese, quando se observa a migração de iões corados. O mapa cognitivo [41] começa assim a ser desenvolvido pela estrutura abaixo indicada.



Do Concreto para o Abstracto

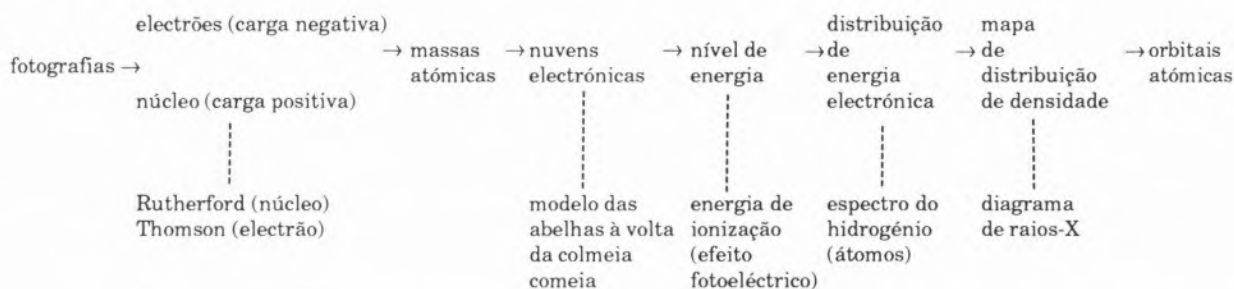
Nem sempre a evolução histórica dos conceitos é aconselhável numa perspectiva metodológica ou porque os conceitos se situam sempre a um nível muito abstracto, ou por demasiado embuída de pistas falsas, ou porque as inferências extraídas da observação experimental são complicadas. Este aspecto pode ser ilustrado com a estrutura do átomo, onde a abordagem histórica não deve ser seguida, porque não permite a linha de rumo do conceito para o abstracto de uma forma simples.

Hoje as fotografias de microscopia electrónica de alta resolução e depois os diagramas de raios-X, permitem “ver” os átomos, o que fornece uma excelente base concreta para os primeiros passos no ensino deste tema. Uma linha de ensino possível, a decorrer em vários anos, é a seguinte,

são as “fotografias de átomos”, enquanto as segundas só têm a base teórica da mecânica quântica.

Dir-se-á, e bem, que com esta abordagem o estudante fica ignorante de como os químicos do século passado puderam alcançar a estrutura atômica da matéria. Esta perspectiva pode ser fornecida, de uma forma breve, através das noções de divisibilidade da matéria que o aluno já conhece e, depois, através de alguma evidência experimental, como a hipótese de Avogadro e a interpretação de Gay-Lussac dos volumes de combinação de gases (ver refs. 42,44).

A observação experimental procura fornecer a base concreta para o início da abordagem de qualquer situação nova. Para além deste aspecto fundamental, a realização de expe-



Trata-se de um tema onde a abordagem histórica não é simples, por se emburhar em várias tentativas falhadas de elevado grau de abstracção. A apresentação de modelos do átomo, como o do “pudim de passas” ou o “modelo de Bohr” não é conveniente. São modelos de abstracção idêntica às dos modelos mais correctos cujo objectivo se pretende alcançar e foram tentativas falhadas. O seu carácter iónico pode ser substituído por um modelo mais apropriado (Figura 4).

Note-se, na linha de rumo traçado, o ensino de mapas de distribuição da densidade electrónica a preceder o das orbitais atómicas, porque o primeiro tem uma base concreta, que

riências é essencial para se estabelecer um diálogo teoria-experiência. Ilustramos este aspecto com a criação da noção de *ligação dupla* (cap. 4, 9.º ano) [43].

Conceito de ligação química → necessidade de compreender mais sobre este conceito através de reações do etileno →

→ preparação → reacção do etileno → por analogia reacção
do etileno com bromo com hidrogénio

comparação →	capacidade →	quanto vale →
das formas	de ligação	ligação dupla
geométricas	do carbono	cada ligação
de etileno		no etileno
e etano		

Para imaginarmos os electrões a girarem a velocidades elevadíssimas em redor do núcleo pensa nas abelhas a voarem com grande velocidade à volta da colmeia. Se fotografássemos o enxame não conseguiríamos imagens nítidas mas desfocadas, porque, devido à velocidade com que voam, cada abelha originaria diversos pontos durante o tempo de exposição do filme fotográfico



Nestas condições, a fotografia do enxame apareceria como uma mancha, *mais escura* nas zonas onde voam *mais abelhas*, isto é, junto à colmeia, e *mais clara* para maiores distâncias da colmeia onde é *menos provável* encontrarmos abelhas.

A imagem dos electrões a girarem a velocidades elevadíssimas à volta do núcleo é parecida com esta fotografia das abelhas à volta da colmeia. Tudo se passa como se os electrões originassem um "nevoeiro" de forma esférica, *mais escuro* onde é *maior a possibilidade* de encontrar os electrões, isto é, junto ao núcleo e *mais claro* onde é *menor a possibilidade* de os encontrar, em zonas mais afastadas do núcleo

Figura 4

O modelo das abelhas à volta da colmeia (ref. 43)

4 Substâncias simples e substâncias compostas

Como sabes dos teus estudos de Ciências da Natureza, os vulcões são manifestações da energia do interior da Terra. Durante uma erupção vulcânica são projectadas no exterior grandes massas de lava cuja temperatura pode atingir 1200°C. Em Agosto de 1883, numa pequena ilha deserta da Indonésia chamada Krakatoa, houve a maior catástrofe vulcânica registada até hoje (Fig. 4.1). Logo no início da erupção, a cratera abriu e o mar precipitou-se no interior do vulcão. Passado pouco tempo houve uma enorme explosão, muito superior à de qualquer bomba atómica. O som da explosão ouviu-se a mais de 5000 km de distância, a ilha que tinha cerca de 10 km² de superfície ficou reduzida a 3 km²; as poeiras resultantes da explosão subiram a mais de 25 km de altura e criaram efeitos no pôr do Sol em toda a Terra, durante 2 anos. A explosão originou ondas altíssimas que causaram a morte a cerca de 36 000 pessoas que viviam nas ilhas vizinhas, especialmente na ilha de Java.

O Fomento da Relação entre Ideias

A Figura 5 reproduz o início de um capítulo referente a um texto (ref. 41 p. 38) que inicia o estudo das substâncias simples e substâncias compostas. É fornecido ao estudante, através de uma história motivadora — vulcões e a explosão do Krakatoa — uma estrutura mental onde o estudante pode ancorar os conhecimentos que lhe vão ser ministrados sobre a decomposição da água por acção do calor. Outro exemplo é uma outra estrutura mental sobre a escrita e o desenvolvimento do alfabeto, como introdução aos símbolos químicos. Nestes dois exemplos, e outros poderiam ser dados, não só o estudante tem uma estrutura mental atractiva para ancorar os conhecimentos que vai adquirir e assim lembrá-los melhor, como vai associar ideias e conceitos de química às ideias e conceitos de outros domínios, nos casos apresentados à Geologia e à História. Fomenta-se-lhe assim uma *visão*

6 Os símbolos e as fórmulas químicas

Desde há muito que os homens comunicam as suas ideias e pensamentos através da escrita. Esta tomou, inicialmente, a forma de figuras de objectos e de animais, a chamada escrita figurativa, como os hieróglifos dos egípcios. Depois, surgiu a escrita ideográfica, onde as figuras de objectos e animais foram simplificadas e adquiriram valor simbólico. É um exemplo deste tipo de escrita a escrita chinesa. Mas todos estes tipos de escrita têm um número elevado de símbolos, o que as torna difíceis e pouco práticas. A grande evolução na escrita veio com a invenção do alfabeto. Em qualquer alfabeto, há um número fixo e restrito de símbolos que representam os sons da linguagem. Estes símbolos são as letras. O nosso alfabeto é o alfabeto romano e tem 23 letras.

Os químicos também sentiram a necessidade de ter uma escrita própria que permitisse, de forma simples e prática, representar todos os elementos existentes e a infinidade de compostos já conhecidos ou que porventura se venham a conhecer. A escrita dos químicos também passou por uma fase ideográfica (Fig. 6.1), mas presentemente baseia-se num alfabeto cujos símbolos representam os elementos químicos. Este alfabeto e a escrita que origina são universais (Fig. 6.2). Nota que a palavra "água" ou a palavra "oxigénio" se dizem e escrevem de muitas maneiras nas várias línguas. Mas em todas essas línguas, a representação química é a mesma: H₂O no primeiro caso e O₂ no segundo.

Figura 5

Estruturas mentais de ancoragem de novos conhecimentos (ref. 42)

dupla, uma associação entre ideias que normalmente ele não relacionaria entre si.

Não é possível fazer justiça aos múltiplos exemplos de relações entre ideias e conceitos de diferentes domínios que os textos de "Química para Ti" contêm e que são uma fonte de inúmeras sugestões, quer em experiências quer nos exemplos ilustrativos e no desenvolvimento da matéria. O Quadro I ilustra este facto no domínio das Actividades que o estudante é solicitado a resolver. A íntima associação entre a Química e a Física torna desnecessária a referência a este tipo de associação e os exemplos no domínio da Matemática referem-se a situações não contempladas nos cálculos em química.

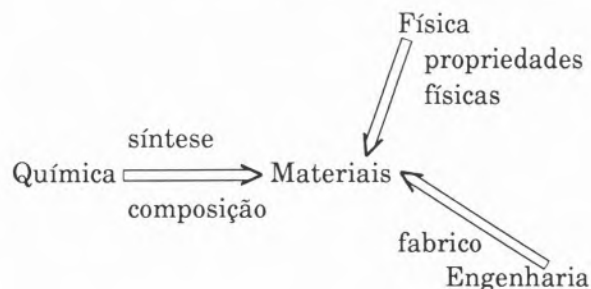
Outras associações se podem estabelecer como, por exemplo, com a Agricultura. Solicitado a escrever uma redacção sobre o papel da Química na Agricultura a nível de 8.º e 9.º anos, um aluno poderá encontrar no projecto "Química para Ti" temas sobre o papel do azoto na produção dos alimentos, adubos, fixação de azoto, ciclo do azoto, proteínas, síntese do amoníaco, sais de amónio como fertilizantes, pH de solos e influência na agricultura, medida de pH dos solos, o ajusto de pH dos solos, acção das chuvas nos adubos, solubilidade de sais em água, etc..

Um outro tipo de relação que se pode estabelecer é entre diferentes domínios da própria

química. Por exemplo, a grafite, composto de carbono é, sob este ponto de vista, um composto *orgânico*, mas tem características metálicas e, nesta outra perspectiva, é um material *inorgânico*. Presentemente os químicos estão a procurar novos materiais orgânico-inorgânicos.

Qual é o mínimo de agrupamento ("cluster") de átomos de metais que têm propriedades metálicas? Nestas perspectivas surgem sínteses de grandes "clusters" metálicos como um de 38 átomos recentemente sintetizado [45]. Com objectivos afins no que respeita à natureza paramagnética/diamagnética se sintetizam grandes "clusters" de carbono, como o *futeboleno* (C_{60}) Figura 6 [46]. Este tipo de compostos que ainda se encontram em estudo, podem abrir novas perspectivas na ciência e tecnologia dos materiais.

A ciência dos materiais é hoje uma aventura conjunta de químicos, físicos e engenheiros,



Quadro I

Relações da Química com outros domínios em Actividades do Projecto "Química para Ti"

	Hist.	Mat.	Biol.	Geol.	Indústria	Saúde	Ambiente	Materiais	Alimentos
8.º ano	8.7 13.8	2.1		11.2 11.10	3.1	2.2 12.8	1.4	2.1	2.7
					3.6		8.7		10.8
							10.8		10.10
							10.9 11.2		11.1 13.1
9.º ano			8.5	5.2	1.4	8.5		5.6 5.13 7.4	
					5.8		7.4		8.4
					7.10				8.6
					8.3				
10.º ano	1.7	2.5	1.2	6.3			3.8	6.3 6.4	
			2.6				5.1		
			8.1						
			8.8						

A evolução no domínio dos materiais orgânicos começou em 1920 com Herman Staudinger que foi o iniciador da química de polímeros, e que por estes seus trabalhos veio a receber o prémio Nobel da Química em 1953. A noção de polímero, apesar de já ter tido precursores como o químico português Agostinho Lourenço em 1859 [47], recebeu forte oposição em 1921 quando um cientista afirmava para Staundinger “meu caro colega, abandone o conceito de moléculas grandes, porque não pode haver



Figura 6

Estrutura da molécula de futeboleno (ref. 46)

isso que diz ser uma macromolécula”. Porém, nos nossos dias a produção industrial de macromoléculas suplantou em muito a produção industrial de cobre e do alumínio e alcançou a do aço. Hoje já se produzem polímeros como polietileno e poli-p-fenileno tereftalamida (kevlar) cuja resistência é idêntica à do aço, mas muito mais leve. Tais plásticos já se usam no fabrico de aviões e até de coletes antibala.

Havendo sérias preocupações no esgotar de muitas reservas exploráveis de metais, especialmente do cobre que é o melhor condutor eléctrico que se conhece, é com júbilo que se vêem os polímeros substituir os metais no campo de condutividade eléctrica. Como a Figura 7 ilustra, conseguem-se hoje produzir polímeros orgânicos com condutividades eléctricas idênticas às do mercúrio e recentemente igual à do cobre, cobrindo toda uma gama desde os isoladores e semi-condutores até aos bons condutores.

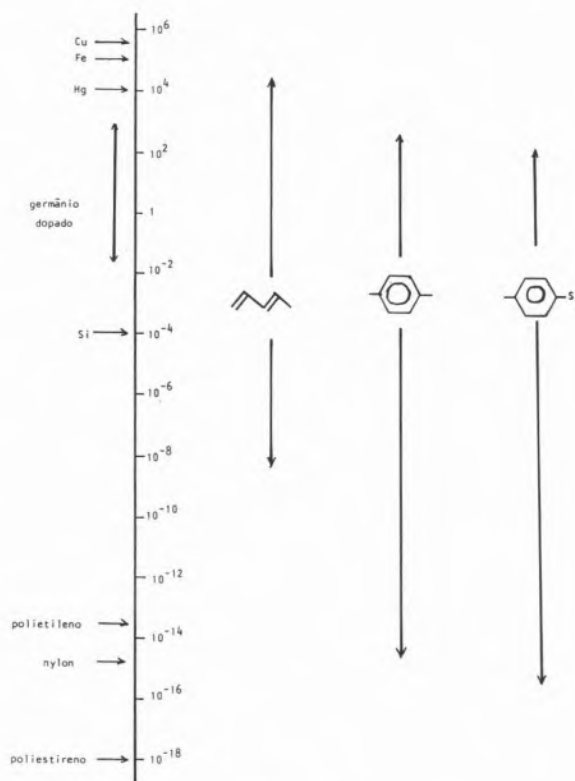


Figura 7

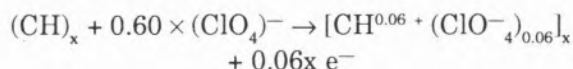
Condutividade de polímeros dopados com AgF_5

O primeiro grande passo para a preparação de polímeros condutores, ocorreu em 1973 quando se descobriu que o polinitreto de enxofre $(SN)_x$ tinha carácter metálico. Isto deve-se à presença de um electrão desemparelhado por cada unidade SN. Este polímero, dado o seu carácter explosivo, não tem aplicações comerciais, mas a sua condutividade pode ser aumentada cerca de 10 vezes se ele for oxidado com bromo e outros reagentes semelhantes. O polímero deixa de ser neutro mas catiónico, contendo na sua rede o anião Br_3^- . A mesma técnica foi aplicada ao poliacetileno que é isolador, e a condutividade aumentou de mais de 1 milhão de vezes. Designa-se esta técnica por *dopagem*, à semelhança do que se passa em física do estado sólido. Realmente é um processo de oxidação-redução. Os electrões de muitos polímeros orgânicos com ligações duplas, podem ser facilmente removidos. A forma catiónica tem uma geometria diferente da forma neutra e é menor a separação entre

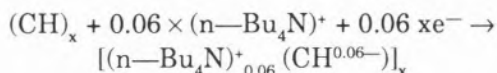
as orbitais ligantes e não-ligantes do monómero e, portanto, entre a banda de valência e de condução do polímero [48].

Também hoje, por uma técnica de dopagem de oxidação e de redução, se conseguem obter pilhas muito leves e de grande qualidade. MacDiarmid e Huger [49] obtiveram uma bateria de 4 mg usando 1 cm² de poliacetileno e produzindo 2,5V e 22mA com perclorato de tetrabutylamónio a 6% de dopagem.

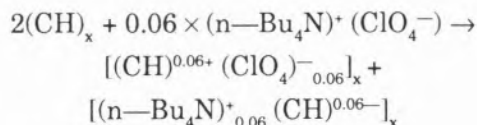
No processo de carga de bateria o ânodo é oxidado e dopado com o agente aceitador de electrões.



e no cátodo o poliacetileno é reduzido e dopado com o dador



A reacção global é



Ao referir baterias, não é possível omitir a contribuição da electroquímica no esforço de produção de baterias de longa duração para aplicações médicas. As baterias de lítio-iodo têm duração de 10 anos e são uma benção para os doentes que usam “pacemakers”. Todos estes exemplos concretizam esta estratégia de relações de ideias e dos sucessos que têm sido alcançados em domínios de grande interesse industrial.

Fomento da tolerância mental no contexto de um ensino dogmático

O “método das hipóteses múltiplas”, que pode fomentar a tolerância intelectual dos estudan-

tes, não deve ser confundido com as perguntas de respostas múltiplas, que têm o objectivo de avaliar da precisão dos conceitos dos estudantes, e que colocam várias hipóteses de respostas, algumas bem semelhantes.

Ilustremos o método das hipóteses múltiplas com mais um exemplo concreto, do domínio de química orgânica. Temos um composto de fórmula molecular C₂H₆O; qual a sua fórmula de

Quando deitaste a primeira gota de solução de nitrato de prata sobre a solução de cloreto de sódio observaste a formação de uma nuvem branca, no sítio onde caiu a gota. A nuvem espalhou-se originando apenas uma ligeira turvação que desapareceu inicialmente. Por adição de outras gotas de solução, a turvação tem tendência a permanecer até originar um sólido que se deposita no fundo do tubo, isto é, precipita. Que sólido se terá formado?

A solução de cloreto de sódio, NaCl, contém os iões Na⁺ e Cl⁻ e a solução de nitrato de prata, AgNO₃, contém os iões Ag⁺ e NO₃⁻. Portanto, as duas soluções contêm os seguintes iões:

<i>solução de cloreto de sódio</i>	<i>solução de nitrato de prata</i>
Na ⁺	NO ₃ ⁻
Cl ⁻	Ag ⁺

O sólido formado a seguir à mistura das duas soluções resulta da associação de iões positivos de uma com iões negativos da outra. As possibilidades são:

- 1.ª hipótese : Na⁺ NO₃⁻
- 2.ª hipótese : Ag⁺ Cl⁻

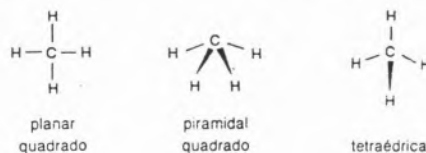
Actividade 12.1

Que sais se formariam nas hipóteses acima consideradas?

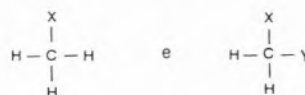
Para examinares estas hipóteses tens de averiguar a solubilidade dos sais: NaNO₃ e AgCl. Que experiência precisas de efectuar para te responder à pergunta de cima?

Actividade 8.9

Considera possíveis as seguintes estruturas para a molécula de metano



Conta o número de isómeros possíveis para um derivado dissubstituído (CH₂XY) do metano. Repara, por exemplo, que para a primeira estrutura são possíveis dois isómeros



Qual das estruturas está de acordo com a observação experimental de que só há um isómero para CH₂XY?

Figura 8

Exemplos ilustrativos da aplicação do método das hipóteses múltiplas no projecto “Química para Ti”

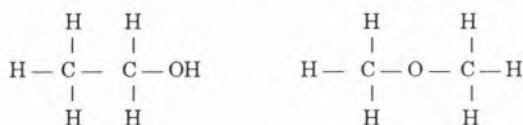
Quadro II

Previsão da existência de compostos dos gases nobres, por exame do Quadro Periódico

PF ₅	SF ₄	ClF ₃	(ArF ₂)	PO ₃ ³⁻	SO ₃ ²⁻	ClO ₃ ⁻	(ArO ₃)
	SF ₆	ClF ₅	(ArF ₄)				
AsF ₅	SeF ₄	BrF ₃	KrF ₂	AsO ₃ ²⁻	SeO ₃ ²⁻	BrO ₃ ⁻	(KrO ₃)
	SeF ₆	BrF ₅	(KrF ₄)				
SbF ₅	TeF ₄	IF ₃	XeF ₂	SbO ₃ ²⁻	TeO ₃ ²⁻	IO ₃ ⁻	XeO ₃
	TeF ₆	IF ₅	XeF ₄	SbO ₄ ³⁻	TeO ₄ ²⁻	IO ₄ ⁻	XeO ₄
		IF ₇	XeF ₆				

Compostos ainda não sintetizados entre parêntesis; ref. 50.

estrutura? O estudante podia considerar as fórmulas de estrutura de um álcool e do éter



Que dado precisava de obter ou que experiência precisava de realizar para excluir uma destas duas hipóteses? Esta resposta depende do contexto do ensino ministrado, mas um dado físico como o ponto de ebulição era esclarecedor, isto é, o estado físico à temperatura ambiente.

A figura 8 ilustra dois outros exemplos retirados do projecto "Química para Ti" [42,44].

Ainda com o objectivo de fomentar a tolerância e o espírito de abertura dos estudantes, há que evitar o dogmatismo desnecessário. Por exemplo, um aluno que se inicia no estudo da química, em nossa opinião, não deve ser penalizado por escrever OH₂ em vez de H₂O. A riqueza de informações que ele transmite com a fórmula OH₂ é muito superior à falta de atenção que revela à convenção actual. Por vezes até é legítima a escrita de OH₂, como na fórmula de um ião complexo como Fe(OH₂)₆³⁺, em que se pretende realçar a ligação do metal ao oxigénio. Aniões como SCN que podem ter dois locais de ligação, Me-SCN ou Me-NCS, são escritos de modos diferentes consoante se pretende indicar uma ou outra das ligações químicas. No mesmo contexto se deveria considerar correcto, por exemplo 1-butanol ou butanol-1, etc..

Muitos dos conceitos em química, sofreram uma evolução histórica sempre enriquecedora e inovadora. A percepção desta realidade, em geral torna pernicioso o uso dogmático de uma definição. Ou o cientista é um génio que consegue produzir uma definição que abarca todos os significados possíveis agora e no futuro, ou a definição é um entrave ao desenvolvimento da própria ciência e da formação de uma mentalidade científica. O mesmo se pode dizer de muitas regras ou de proposições que se assumem como "leis", mas que têm pouco disso. Lembremo-nos de "lei das oitavas", a de "lei de Dulong e Petit", etc..

Em 1933 Pauling previu a existência de compostos de gases raros com base na periodicidade dos elementos como o Quadro II ilustra. Contudo os químicos estavam tão mentalizados pela regra do octeto, que muito poucas tentativas foram feitas para sintetizar tais compostos. Só 29 anos depois das previsões de Pauling foi preparado o primeiro composto de xénon por Neil Bartlett, um químico de uma nova geração, muito menos condicionado pelo espírito que se criou quando a regra do octeto apareceu [50].

Assim é preferível falar de *regularidades* e não de regras, exactamente para não conferir qualquer carácter dogmático a estas ilações teóricas [43]. Pelas mesmas razões preferimos *descrições* de conceitos, que são estruturas mais plásticas e abertas e não *definições* que são formas mais rígidas e limitativas do pensamento.

(Recebido, 7 de Setembro de 1987)

BIBLIOGRAFIA

- [1] "Opportunities in Chemistry", G. Pimentel (ed.) National Academy Press, Washington, 1985.
- [2] G. PORTER, "Growing up with Science", S.S.R., 1985, June, 617.
- [3] A. F. CHALMERS, "What is this Thing Called Science?", Open University Press, Milton Keynes, 1978.
- [4] A. AMORIM DA COSTA, "Introdução à História e Filosofia das Ciências", Europa América (Col. Saber), Lisboa 1986, cap. 6; L. GEYMONAT, "Elementos de Filosofia da Ciência", Gradiva (col. Trajectos), Lisboa, cap. 3.
- [5] T. S. KUHN, "The Structure of the Scientific Revolutions", The University Chicago Press, Chicago, 2.^a ed., 1970, p. 109.
- [6] G. BACHELARD, "O Novo Espírito Científico", Edições 70 (col. O Saber da Filosofia), Lisboa, 1982, p. 16.
- [7] D. HODSON, "The Nature of Scientific Observation", S.S.R., 1986, **68**, n.º 242, 17.
- [8] KUHN, *ibid*, cap. 10.
- [9] L. GEYMONAT, "Elementos de Filosofia da Ciência", Gradiva, Col. Trajectos, Lisboa, p. 28.
- [10] H. POINCARÉ, "Science et l'Hypothèse", Flammarion, Paris, 1909, p. 112-119.
- [11] R. HOOPYKAAS, "L'histoire des sciences, ses problemes, sa method, sob but" em "Selected Studies in History of Sciences" de Hoopykaas, Acta. Univ. Conimbrig., Universidade de Coimbra, 1983, p. 9.
- [12] J. PIAGET e B. INHELDER "La Psychologie de l'Enfant", Presses Univ. France (Col. Que Sais-je?), Paris, 1975.
- [13] J. PIAGET, "Les motions de mouvement et de vitesse chez l'enfant", Paris, 1946, cap. 6 e 7.
- [14] T. S. KUHN, "A function for Thought Experiments", em "Scientific Revolutions", ed. I. Hacking, Oxford, Univ. Press, Oxford, 1985, 1-6.
- [15] K. DIECTRICH, "A Inteligência Aprende-se", Pub. Europa América (Biblioteca dos Pais e Educadores), Lisboa, 1977, p. 59.
- [16] A. KOYRÉ, "Études de l'histoire de la Pensée Scientifique", Gallimard, Paris, 1973, p. 83.
- [17] B. DE SOUSA SANTOS, "Discurso sobre as Ciências", Anuário Univ. Coimbra, 1986, p. 27.
- [18] T. S. KUHN, "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery" em "Critical Problems in the Philosophy of Science", M. Clagett, Univ. Wisconsin Press, Madison, 1959, 321.
- [19] CH. DRION e E. FERNET, "Traité de Physique Élémentaire", Masson, Paris, 1900, p. 27.
- [20] D. J. BOORSTIN, "The Discovers", Penguin Book, Middlesex, 1983, p. 480.
- [21] H. POINCARÉ, *ibid*, p. 4.
- [22] E. T. BELL, "The Development of Mathematics", McGraw-Hill, 2.^a ed., 1945; citado por W. O. HOGSTROM "O Control Social dos Cientistas" em "A Crítica da Ciência", J. DIAS DE DEUS, ed., Zohar, Rio de Janeiro, 1974.
- [23] D. AUSUBEL, "Educational Psychology: a Cognitive View", Rinehard e Winston, Nova Iorque, 1968.
- [24] H. PUMAN, "The Corroboration of Theories", obra cit. ref. 14, p. 60.
- [25] Citado por J. DIAS DE DEUS na Introdução à obra da ref. 22, p. 17.
- [26] B. BARNES, "T. S. Kuhn and Social Change", Mac-Millan Press, Londres, 1982, p. 21.
- [27] J. FORMOSINHO, "As Bases do Poder do Professor", Rev. Port. Pedagogia, 1980, **14**, 301.
- [28] B. BARBER, "Resistance by Scientist to Scientific Discovery", Science, 1961, **134**, 596.
- [29] J. R. PLATT, "Strong Inference", Science, 1964, **164**, 347.
- [30] T. C. CHAMBERLIN, "The Method of Multiple Working Hypotheses", J. Geol. 1897, **5**, 837.
- [31] J. ZIMAN, "The Force of Knowledge. The Scientific Dimension of Society", Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1982, p. 106.
- [32] H. GEROLA e R. E. GOMOVY, "Computers in Science and Technology: Early Indication", Science, 1984, **225**, 11.
- [33] Ver o "Diálogo entre Ordem e Desordem", Boletim Soc. Port. Química, **20**, 11, 15, 19 (1985).
- [34] A. B. CHAMPAGNE, R. F. GUNSTONE e L. E. KLOPPER "Effective changes in Cognitive Structures Among Students", p. 163; J. D. NOVAK "Metaknowledge Strategies to Help Students Learning", p. 189; K. A. STRIKE e G. J. POSNER "A Conceptual Change View of Learning and Understanding" p. 211 em "Cognitive Structure and Conceptual Change", ed. L. H. T. WEST e A. L. PINES, Academic Press, 1985.
- [35] P. J. FENSHAM, "Conceptions, Misconceptions and Alternative Frameworks in Chemical Education", Chem. Soc. Rev., 1984, **13**, 199.
- [36] R. DRIVER, "Restructuring the Physics Curriculum: Some Implications of studies on learning for curriculum development" em "Proceedings of the International Conference on Trends in Physics Education", Tóquio, 1986.
- [37] J. D. HERON, "Piaget for Chemistry", J. Chem. Educ., 1975, **52**, 146.
- [38] J. A. ROWELL and C. J. DOWSON, "Laboratory Counter Examples and the Growth of Understanding in Science", Eur. J. Science Educ., 1983, **5**, 203.
- [39] L. P. JONES, "Observations in science and science teaching", S.S.R., 1986, **68** (n.º 242), 151.
- [40] S. RICHARDS, "Philosophy and Sociology of Science", Blackwell, Oxford, 1983, p. 108.
- [41] R. F. KEMPA, "Education Theories and Chemical Education: Issues and Problems", Cadernos Educ. Química (Coimbra), 1983, **3/4**, 17.
- [42] S. J. FORMOSINHO, V. M. S. GIL, J. J. C. TEIXEIRA DIAS, A. CORREIA CARDOSO, "Química para Ti — 8.º ano", Departamento de Química, Universidade de Coimbra, 1984.

- [43] J. J. C. TEIXEIRA DIAS, A. CORREIA CARDOSO, S. J. FORMOSINHO E V. M. S. GIL, "Química para Ti — 9.º ano", Departamento de Química, Universidade de Coimbra, 1984.
- [44] J. J. C. TEIXEIRA DIAS, S. J. FORMOSINHO A. CORREIA CARDOSO E V. M. S. GIL, "Química para Ti — 10.º ano", Departamento de Química, Universidade de Coimbra, 1984.
- [45] "New Large Bimetallic Cluster Synthesized, Characterized", *Chem & Eng. News*, 1987, Janeiro 12, 21.
- [46] "Ring-current effects in C60", *Nature*, 1987, **325**, 760.
- [47] K. JACOBSON, "Um precursor da Química Macromolecular na Escola Politécnica", *Rev. Port. Química*, 1963, **5**, 101; B. J. HEROLD, "Bernardino Gomes (Pai) e Agostinho Lourenço precursores da Química dos alcalóides e dos polímeros sintéticos" em "História e desenvolvimento da Ciência em Portugal", *Mem. Acad. Ciências de Lisboa*, vol. I, 1986, p. 417.
- [48] J. L. BRÉDAS e G. B. STRELT, "Polarons, Bioparons and Solitons in Conducting Polymers". *Acc. Chem. Res.*, 1985, **18**, 309.
- [49] J. M. ANDRE, "Recent Aspects of the Electronic Structure of Polymers", *Studies Phys. Theor. Chem.*, 1981, **21**, 273.
- [50] R. J. GILLESPIE, "Chemistry — Fact or Fiction? Some Reflections on the Teaching of Chemistry". *Chemistry in Canada*, 1976, **23**, 23.

ABSTRACT

An heuristic perspective for the teaching of chemistry

Methodological strategies for the teaching of chemistry for a rapidly changing world are presented on the basis of historical and sociological analysis of that which we call science.

