

António Cachapuz

Departamento de Didáctica e Tecnologia Educativa - Universidade de Aveiro - 3800 Aveiro - Portugal

Recebido em 6/7/94

We defend a teaching of chemistry based as much as possible on research in education. We characterize briefly teaching perspectives in the scope of constructivist didactics which we adopt as an emergent interdisciplinary paradigm. We also stress the importance of a permanent and highly regarded dialog between chemical knowledge and student's knowledge. We discuss in detail recent examples of research in chemical education, at secondary level as well as at the level of higher education (e.g., thermodynamics). Three important areas for action are considered: i) the development of experiments aiming at changing student's conceptions; ii) the language of teaching manuals and alternative conceptions of students regarding central chemical concepts; iii) the teaching of problem solving in chemistry. Research is suggested to establish a better link between research in chemical education and the teaching in the classroom. We stress the idea of teachers investigating their own teaching.

Keywords: chemistry teaching; constructivism; research in education.

"Para aprender a evitar tanto quanto possível os erros, temos que aprender precisamente com eles".

Karl Popper

1 - LÓGICA DO ESTUDO

Como em qualquer outra área do saber, a investigação em Didáctica da Química desempenha um papel fundamental no avanço do nosso conhecimento, neste caso particular sobre o que e o como do ensino da Química (qualquer que seja o nível de ensino) tendo em vista a excelência da aprendizagem. Sem o contributo da investigação didáctica, parece difícil conceber, sustentar e avaliar um processo permanente de inovação que se não restrinja a modificações pontuais e dispersas, fruto de intuições do momento, mas sim encarando o ensino da Química como um processo (tanto quanto possível) racionalmente preparado (não confundir com programado). Na falta de uma teoria global que dê sentido, unidade e coerência a conceitos, fenómenos e circunstâncias relativas ao ensino da Química é precisamente no cruzamento da investigação didáctica com a epistemologia das práticas dos professores que se devem gerar matrizes inovadoras de ensino. E a profundidade da inovação será tanto maior quanto mais íntimo for o sinergismo entre essas duas valências.

O argumento é tanto mais pertinente quanto temos boas razões para pensar que a qualidade das aprendizagens em Química (qualquer nível de ensino) estão longe de corresponder à justificada importância que é dada ao estudo da disciplina (e das Ciências em geral) nas sociedades modernas. Os indicadores a este respeito provindo dos professores são elucidativos. Por exemplo, num estudo envolvendo 521 professores de Química (ensino não superior) de todos os distritos de Portugal Continental¹, só 45,5% dos docentes consideraram que a preparação em Química dos alunos no final do ensino básico (9º ano de escolaridade) é adequada e 1,5% muito adequada. A deficiente formação em Química está, como sabemos, longe de se circunscrever ao nível básico ou secundário. Tenha-se em conta a persistência mesmo a nível do ensino superior de: (i) aprendizagens rotineiras de conceitos

centrais da Química; (ii) operativismo na abordagem de situações problema subvertendo uma perspectiva de trabalho científico; (iii) imagens reduccionistas sobre a natureza e construção do projecto científico esquecendo que, em última análise, a Química/Ciência é feita por homens e para homens. Tais indicadores são preocupantes. Em jogo está a possível contribuição do estudo da Química como parte integrante de uma educação científica visando uma melhor compreensão do mundo natural e, através dela, promover o desenvolvimento intelectual dos jovens, capacitá-los para lidar com confiança situações problema, tomar decisões e estarem à vontade com a incerteza e a mudança. Nas palavras de Claxton², "...you cannot be born these days, in the industrialised world, without the aid of science, nor can you die" (p. 1). Em jogo está também a compreensão dos processos de desenvolvimento científico/tecnológico das sociedades modernas, das suas vantagens e limitações, facilitando deste modo a inserção responsável dos jovens nessas mesmas sociedades. Se é certo que só uma minoria deles serão químicos, não é menos certo que os que usarão a Química como meros consumidores estarão em melhores condições não só de se adaptarem à mudança mas também de compreenderem melhor a natureza do projecto científico, argumento importante para a construção de sociedades tecnologicamente evoluídas que se querem abertas e democráticas. As razões para um tal estado de coisas são múltiplas e complexas. Não sendo minha intenção desenvolver aqui tal questão, refira-se desde já que elas não se esgotam (longe disso) nos alunos, mas estão sobretudo a montante, isto é, na Escola que temos e na sua dificuldade de absorver a actual aceleração da mudança, quer a nível dos saberes quer a nível dos valores. Veja-se por ex., o que se passa frequentemente a nível dos currículos actuais da Química (ensino não superior), em que se privilegia a apresentação de conceitos como meras possibilidades lógicas, i.e., desinseridos de uma rede de razões, e não como resultantes de um diálogo fascinante entre o homem e o mundo natural. Mas porque guardo uma perspectiva optimista (embora crítica) sobre o ensino, as preocupações acima referidas são também um desafio.

No meu entender, o desafio envolve uma profunda e partilhada análise crítica sobre pressupostos, rotinas e prioridades de ensino da Química, reflexão que deve ter sempre por substracto um conhecimento adequado da Química, voltada para a acção e assistida por referenciais provenientes da investigação didáctica (o que

* Conferência proferida na 17ª Reunião Anual - SBQ, Caxambu, maio 1994.

implica que os produtos desta sejam acessíveis e disponíveis aos professores). É esta a lógica em que o presente estudo se insere. Como conceito unificador e estruturante tendo em vista apoiar uma tal reflexão crítica, defende-se a pertinência de recriar o ensino da Química numa perspectiva de trabalho científico (ver ref. 3). A expressão trabalho científico é aqui usada no sentido de sublinhar uma orientação do ensino da Química visando desenvolver harmonicamente: a aprendizagem dos seus conceitos, competências diversas (por ex.: controlo de variáveis, colocar questões sobre a sua própria aprendizagem i.e. aprender a aprender, espírito crítico...), e uma visão pós-positivista sobre a natureza da Ciência. Por isso mesmo, pareceu-me útil chamar a atenção dos professores para duas importantes condições subjacentes a uma tal orientação:

- Ver a Química através dos olhos do aluno.
- Ensinar os alunos a estudar situações problema.

Tais aspectos constituem outras tantas propostas de mudança no ensino da Química, embora a sua exploração em diferentes níveis de ensino deva naturalmente fazer-se segundo modalidades distintas, adaptadas a diferentes contextos de realização e maturidade dos alunos.

No que se segue, tentar-se-á ilustrar ainda que sumariamente o sentido de cada uma dessas propostas através de contribuições recentes de estudos de I & D nomeadamente no âmbito da Termodinâmica. A ênfase dada a aspectos relativos à Termodinâmica Química deriva de ser esta uma área cronicamente considerada como difícil quer a nível do ensino quer a nível da aprendizagem, sendo frequente encontrar dificuldades em estudantes do ensino superior análogas às identificadas em alunos mais jovens. Pela própria natureza da investigação disponível, dar-se-á privilégio (que não exclusivo) a estudos sobre o ensino não superior da Química. Em si mesmo, tal decisão indicia já uma lacuna onde é importante concentrar esforços.

2 - VER A QUÍMICA ATRAVÉS DOS OLHOS DO ALUNO

O modo como concebemos e desenvolvemos o nosso ensino da Química é fortemente condicionado pelo conhecimento químico que temos, pela natureza da formação que pretendemos para os alunos e pelo nosso posicionamento teórico sobre o processo de ensino/aprendizagem. No que respeita a este último, a metáfora subjacente ao título do capítulo pretende realçar a ideia de que, no processo de transposição didáctica, é vital a negociação entre os saberes da Química e os saberes do aluno (enfoque construtivista). No fundo, não é mais do que reconhecer que ensinar conceitos correctamente não é sinónimo de aprendizagem e de que, no que respeita à qualidade de ensino, "...standards are not measured by what is done to the student (lecturing on topic X) but by what the student can do"⁴.

Em termos metodológicos, um tal enfoque implica uma outra maneira de planear o nosso ensino, bem mais exigente quer ao nível da formação em Química quer (sobretudo) ao nível da formação Didáctica. Na verdade, a estrutura do assunto não se esgota agora na estrutura da disciplina perdendo assim o seu carácter de exterioridade em relação ao aluno. Para usar um exemplo bem conhecido, quando do estudo da extensão das reacções químicas, o enfoque tradicional implica discutir um tal conceito de acordo com a estrutura lógica da disciplina, isto é em termos da noção de constante de equilíbrio para um dado sistema em estudo e, eventualmente, até abordando a distinção entre constante de equilíbrio termodinâmica e estequiométrica... Seguir um percurso de ensino em que o professor tenta "ver" a Química através dos olhos do aluno, significa também isso; mas significa mais do que isso. Na verdade, sendo previsível que haja alunos que equacionem extensão com rapidez das reacções — uma conhecida concepção alternativa dos alunos (ver ref. 5), caso típico de raciocínio linear causal em que um só sub-sistema (reacção directa) é

considerado — é importante que o professor intencionalmente alerte o aluno para a eventualidade de uma tal confusão e explore cuidadosamente contra-exemplos do tipo, dissolução do ácido acético em água (pelo menos sob certas condições de pH). Do mesmo modo, e antecipando-se a previsíveis analogias mecanicistas do equilíbrio químico, tem todo o sentido explicitar aos alunos o significado químico de $K_c = 1$.

As dificuldades em adoptar um tal enfoque construtivista de ensino derivam sobretudo da inexistência de uma adequada teoria da instrução que ordene, preveja e explique "factos didácticos", i.e. o carácter pre-paradigmático da Didáctica da Química. Até que um tal quadro teórico possa emergir e, simultaneamente, tendo em vista apoiar a sua construção, é importante a investigação avançar com pistas de trabalho tentando ajudar os professores a dar respostas ainda que tentativas a dois grupos de questões:

- natureza e razões possíveis para concepções alternativas (CA's) dos alunos;
- modelos de trabalho com potencial para rectificar em tais CA's.

A lógica da primeira questão é de que a busca das razões do erro é, em geral, um processo formativo. Quanto à segunda, um exemplo de modelo para o tratamento didáctico de CA's usado com sucesso por Mitchell⁶ no estudo da estequiometria das equações de reacção (e tendo por base os trabalhos teóricos de Hewson⁷), pode esquematizar-se através de duas fases intimamente articuladas:

fase 1: Explicitar antecipadamente aos alunos a natureza de eventuais CA's pertinentes para o tema em estudo (referidas na literatura e/ou experiência profissional do docente), esclarecendo contradições em relação à versão científica.

fase 2: Desvalorizar tais CA's com a ajuda de contra-exemplos e/ou contra-argumentos e/ou demonstrações experimentais simples, de modo a realçar a sua discutível utilidade face à versão científica em estudo.

No essencial, trata-se portanto de demonstrar ao aluno (e que ele o assuma) que as suas CA's são menos fecundas (úteis) do que a versão científica como condição charneira para a mudança conceptual poder ter lugar. No que se segue, apresentam-se sumariamente exemplos de estratégias possíveis de ensino explorando um tal modelo de trabalho e tendo em vista o tratamento didáctico de três CA's na área da Termodinâmica Química. Tais estratégias não devem pois ser entendidas no sentido prescritivo. A escolha dos exemplos teve em conta diferentes razões (dominantes) para o aparecimento/reforço de tais CA's bem como a sua pertinência para diferentes níveis de ensino.

Caso 1: Estudo de combustões/ensino básico

A origem dominante da CA referida no Quadro 1 é a saliência de aspectos fenomenológicos observados pelo aluno (a chama). É pois uma CA perceptualmente orientada tipicamente encontrada em alunos do ensino básico (ver ref. 8). Envolve uma falta de percepção global do sistema reaccional (papel/O₂), privilegiando uma lógica de atributos (do papel) e não uma lógica de relações (noção de sistema reaccional). Por isso mesmo, e segundo aqueles autores, tal CA aparece frequentemente associada à ideia de um "reagente principal" nas reacções químicas, isto é, em que o reagente que se vê sofrer uma transformação no decorrer da reacção (o papel neste caso) teria uma função mais importante ("reagente principal") do que o reagente invisível (o O₂). De referir que quando na fase 2 (Quadro 1) se refere "deixar discutir", significa dar uma oportunidade aos alunos através do trabalho de grupo (não confundir com trabalho em grupo) de explicitarem outros exemplos de interpretações sobre situações análogas do seu conhecimento (por exemplo, "estalinhos" de Carnaval), ajudando-os a reflectirem sobre a sua própria aprendizagem (metacognição). O professor deve tomar nota de tais exemplos tendo em vista alargar o seu repertório sobre situações problemáticas de aprendizagem (o argumento é válido para os casos 2 e 3 a seguir tratados).

Quadro 1. Tratamento didático de CA: exemplo do ensino básico.

Situação de ensino: estudo de combustões (por ex.: papel)

CA: Numa reacção de combustão envolvendo iniciação com chama, a chama que se observa durante a reacção provém do agente iniciador por transferência mecânica para o sistema.

Fase 1:

- Questão: “De onde vem a chama que se observa no papel a arder?”; ou “Alguns de vocês talvez pensem que foi a chama do fósforo (agente iniciador) que passou para o papel”.
- Esclarecer que a função do agente iniciador é simplesmente elevar a T do sistema papel/O₂ (versão científica).

Fase 2:

- Contra-exemplo de combustão do papel iniciada com a ajuda de uma placa eléctrica. Discutir (e deixar discutir) a utilidade relativa das duas versões (CA e científica).
- Novos exemplos para ilustrar a fecundidade da versão científica. Por ex.: iniciar a combustão do papel com a ajuda de uma lupa.

Caso 2: Estudo da energia de reacções/ensino secundário

A dificuldade (bem conhecida dos professores) dos alunos diferenciarem os conceitos de energia e temperatura (ver Quadro 2) tem sobretudo a ver com suas intuições do mundo natural construídas desde cedo através de experiências do dia a dia e reforçadas pela linguagem comum, nomeadamente por associações entre energia e calor. É o caso de expressões como “fluxo de calor”, “calor de um corpo” ou “está calor”, em que a noção de calor aparece como propriedade intrínseca dos corpos e não como um processo de transferência da energia entre sistemas a temperaturas diferentes.

A exploração na fase 2 da reacção entre NH₄Cl(s)/H₂O(l) em sistema isolado (ver detalhes na ref. 9), gera facilmente situações de conflito cognitivo, já que a observação da diminuição de T é agora dificilmente explicável pelos alunos (ao contrário da reacção em sistema aberto, fase 1), em termos da energia que teria passado para o exterior (modelo de dissipação).

Quadro 2. Tratamento didático de CA: exemplo do ensino secundário.

Situação de ensino: estudo da energia de reacção

CA: Não diferenciação dos conceitos energia e temperatura

Fase 1:

- Sistema (aberto) NH₄Cl(s)/H₂O(l); questão: “porque é que a T diminui?” ou “Quem é que pensa que a diminuição de T é devida à energia (calor) que saiu para fora da solução?”
- Esclarecer diferença entre T (cinética) e componentes da energia interna (E_c + E_p).

Fase 2:

- Mesma reacção em sistema isolado (célula reaccional com tampa, o todo dentro de recipiente de esferovite). Mesma pergunta. Confronto entre CA e versão científica. Articular diminuição da T com transformações ao nível microscópico da E_c (média) em energia potencial de ligação (sistema final). Discutir a conservação da energia interna em termos de modelo de transformação da energia.
- Comparação com sistemas físicos. Estudo de interacções térmicas entre sistemas metal (variar a quantidade de substância) e H₂O(l) que se encontram a T diferentes. Discutir conservação da energia em termos de modelo de transferência da energia.

Como explicações alternativas dos alunos, os autores referem por ex.: “...a energia que existia entre as moléculas de água foi absorvida pelas novas ligações formadas” (o que explicaria a diminuição de temperatura!). De realçar não só a persistência da ideia de substancialização da energia (calórico) mas também de interpretações mobilizando somente processos de transferência de energia e não de transformações ao nível microscópico da energia cinética (média) em energia potencial de ligação, ainda que a energia interna permaneça constante.

Caso 3: Estudo da noção de entropia de reacção/ensino superior

A questão que aqui se aborda (Quadro 3) está naturalmente longe de esgotar todas as dificuldades dos alunos na aprendizagem do conceito de entropia. Serve simplesmente como um exemplo de como a linguagem pode promover/reforçar CA's dos alunos. Indo mais longe, o professor deve estar alerta de que há aspectos da linguagem que tendo sido úteis para o progresso da Química podem criar problemas à aprendizagem dos alunos. No caso da noção de entropia, e no entender de Johnstone¹⁰, embora a ideia de aumento de “desordem” possa ser útil para ilustrar o aumento de entropia, “...this however may be extended to the point where a haphazard array of tumbled building bricks is accorded ‘greater entropy’ than the original ordered array simply because the array is more disordered!” (p. 250). A dificuldade dos alunos conceberem a conotação científica de desordem — em termos de arranjos permutacionais (microestados) possíveis — leva-os a frequentemente considerarem que a energia de uma substância (qualquer substância) seria sempre superior ao de uma substância no estado sólido (estado mais “ordenado”), independentemente da quantidade de substância. A insistência em exemplos de ensino envolvendo transformações com mudança de estado, nomeadamente em contextos da Física, não ajuda o aluno a esclarecer os limites de utilização do termo “desordem”, levando-o a privilegiar aspectos relativos à “desordem de posição” (em particular

Quadro 3. Tratamento didático de CA: exemplo do ensino superior.

Situação de ensino: estudo da noção de entropia de reacção

CA: Entropia como medida da “desordem” é restrita às suas conotações comuns de: “caos”, “fora do sítio”, “confusão”...

Fase 1:

- Esclarecer que a metáfora da entropia como “desordem” não se limita à componente “desordem de posição” embora se preste bem no estudo das mudanças de estado: Ex.: $\Delta S^{\circ}_{\text{vap.}}(\text{H}_2\text{O}) \approx + 109 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ e $\Delta S^{\circ}_{\text{vap.}}(\text{C}_6\text{H}_6) \approx + 87 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$.
- Diferenciação da noção de “desordem”, envolvendo também a componente “desordem de energia”. Ex: $2\text{Mg(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{MgO(s)}$; ($\Delta S^{\circ}_s < 0$).

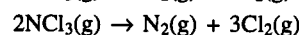
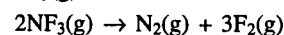
Fase 2:

- Estudo de contra-exemplos em que não há mudança de estado e $\Delta n = 0$:



Limitação da noção de “desordem de posição” (em particular a relativa à translação).

- Fecundidade da versão científica: estudo da estabilidade relativa de NF₃(g) e NCl₃(g):



Não há mudança de estado e em ambos os casos $\Delta n = 2$. “Desordem de energia” e suas implicações na estabilidade relativa ($\Delta H^{\circ}/\text{NF}_3 = + 240 \text{ kJ mol}^{-1}$ e $\Delta H^{\circ}/\text{NCl}_3 = - 515 \text{ kJ mol}^{-1}$).

aspectos translacionais). A elegância e coerência na explicação aos desvios à regra de Trouton em substâncias com ligações do tipo “ponte de hidrogénio” (intermoleculares) não faz senão reforçar a ênfase em tais aspectos da “desordem de posição”. Os contra-exemplos propostos na fase 2 (Quadro 3) em que não há mudança de estado visam precisamente ajudar os alunos a confrontarem-se com as limitações acima referidas (outro contra-exemplo possível é a síntese do HCl(g)).

Como conclusão, dois pontos são de assinalar. Em primeiro lugar, é o melhor conhecimento das razões subjacentes a uma dada CA que pode dar úteis pistas de trabalho ao professor. Para uma dada CA, tais razões são certamente múltiplas, cruzando-se e reforçando-se mutuamente (embora possa haver razões dominantes). Em segundo lugar, o tratamento didáctico aqui feito não pretende ser o único possível, muito menos ser infalível. Em particular, o seu sucesso depende em boa parte dos alunos terem competências metodológicas adequadas que lhes permitam iniciar percursos de mudança conceptual (ver desenvolvimento no Capítulo 3). As estratégias de trabalho propostas e sobre que existem sinais encorajadores em estudos em curso¹¹, representam simplesmente uma maneira possível da investigação didáctica ser útil aos professores de Química, ajudando-os no processo de transposição didáctica a terem em conta diferentes fontes de conhecimento dos alunos e também a promoverem uma maior responsabilização destes pelas suas próprias aprendizagens.

3 - ENSINAR OS ALUNOS A ESTUDAREM SITUAÇÕES PROBLEMA

A Química (e as Ciências) devem ser ensinadas (qualquer que seja o nível de ensino) simultaneamente como um produto e como um processo. Não é só uma mais adequada imagem do projecto científico que está em jogo. Na verdade, a mudança conceptual referida no capítulo anterior só pode ter sucesso se acompanhada por mudanças do foro metodológico dos alunos, isto é, envolvendo competências cognitivas e metacognitivas e de que alguns exemplos foram referidos no Capítulo 1.

Pela importância que a resolução de problemas* (RP) em Química pode justamente ter numa perspectiva de integração de conteúdos/processos e, dado o frequente operativismo com que os alunos (qualquer nível de ensino) abordam a RP, é importante dar pistas de trabalho aos professores de Química que lhes facilite orientarem o seu ensino de RP numa perspectiva de trabalho científico. No caso de problemas numéricos, o operativismo dos alunos consiste segundo Brookhart¹², “...*problem solving is an important skill for chemists; unfortunately, problem solving is reduced to an exercise in which the correct algorithm needs to be plugged in, and the answer calculated to the correct number of significant figures*”. Trata-se portanto de minimizar a precipitação do aluno sobre o dado numérico e no aplicar “a fórmula”, e sim promover uma reflexão crítica envolvendo a elaboração de um plano de resolução potencialmente promissor (com o estatuto de hipótese de trabalho) permanentemente avaliado na sua execução, e em que faça sentido porque é que se fazem cálculos.

A investigação recente sob RP (ver por ex. ref. 13 e 14), sugere algumas pistas de trabalho com potencial interesse para os professores reorientarem o seu ensino de RP em particular, as chamadas aulas teórico-práticas. Assim, por exemplo, no Projecto 2061 proposto pela American Association for the Advancement of Science¹⁵, “*learning to solve problems in a variety of subject-matter contexts, if supplemented on occasion by explicit reflection on that experience, may result on the development of a*

generalised problem-solving ability that can be applied in new contexts; such transfer is unlikely to happen if either varied problem-solving experiences or reflection on problem solving is missing” (p. 283). Uma maneira que considero útil de integrar tais propostas dispersas é através do modelo de trabalho, aqui designado por “RP como trabalho científico” e que a seguir é sumariamente descrito (Fig. 1).

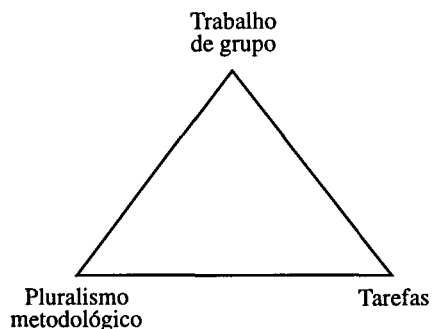


Figura 1. A RP como trabalho científico.

É importante que estas três valências não actuem isoladamente mas sim no quadro de uma estratégia de ensino concertada permitindo explorar potenciais sinergismos entre elas. Só desse modo é possível melhorar o nosso ensino de modo a que os alunos não só resolvam problemas mas sobretudo que aprendam com eles. Assim, e em termos práticos, parece importante uma organização do ensino da RP de modo a:

- (i) Privilegiar a análise e discussão qualitativa dos fenómenos/situações no quadro de estratégias do tipo “reflexão/acção” e não de “repetição e prática” (como é frequentemente o caso), ou seja, pôr os alunos a “falar com as fórmulas”.
- (ii) Não orientar as aulas de RP no sentido de resolver muitos problemas (frequentemente exercícios rotineiros) mas sim estudar em profundidade alguns problemas com potencial heurístico. Nesse sentido, e tendo em vista promover um posicionamento crítico dos alunos sobre as suas próprias estratégias de resolução, estas últimas devem ser consideradas como objecto de estudo, analisando em particular: pressupostos de partida, pontos de entrada do problema, quais as hipóteses de estratégias de resolução mais promissoras que foram testadas, critérios usados na avaliação qualitativa dos resultados (parcial/final), erros típicos.
- (iii) Explorar o trabalho de grupo como estrutura de aprendizagem cooperativa e lugar privilegiado para desenvolver a intersubjectividade; após a tentativa individual de cada aluno para resolver a situação problema (e portanto ter tido a oportunidade para evidenciar suas próprias dificuldades), a discussão entre alunos (3 a 4 alunos/grupo) sobre estratégias de resolução seguidas deve permitir que eles próprios levantem questões sobre as suas estratégias de trabalho (ver exemplos de pontos críticos em ii).
- (iv) Transformar problemas numéricos no sentido de facilitar a análise referida em (i); construir novos problemas (experimentais/não experimentais) de abertura e complexidade variável. A questão não é deixar de resolver problemas numéricos mas sim de encontrar um mais adequado balanço entre diferentes formatos de tarefas. Como refere Johnsey¹⁶, “*If the problems we set require the students to make choices then we can be assured that they are thinking for themselves*”.

Uma maneira útil (em particular no ensino não superior) de sistematizar diferentes tipos de tarefas é apresentada na Fig. 2, segundo duas dimensões: a abertura relativa (existência de diferentes processos de resolução e/ou soluções) e relativo

* No seu sentido lato, problema deve ser entendido como qualquer obstáculo para atingir um dado objectivo identificado. No campo educacional tal definição engloba pois situações de índole experimental ou não, embora sejam estas últimas as que aqui são privilegiadas.

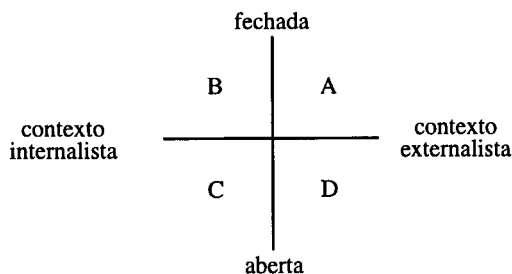


Figura 2. Um exemplo de categorização de problemas. Todos os quadrantes são importantes.

carácter académico. Os exemplos para cada um dos quadrantes e relacionados com a Termodinâmica foram adaptados das referências 17 e 18.

— **Quadrante A:** Porque é que o vapor de água ($T = 373^{\circ}\text{K}$) produz em geral queimaduras mais graves do que $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ à mesma temperatura? Justifique a sua resposta apresentando os cálculos que eventualmente efectuou. Discuta as aproximações feitas.

— **Quadrante B:** Na determinação experimental do ΔH para a reacção, $\text{S}_8(\text{s}) + 8\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 8\text{SO}_2(\text{g})$, colocou-se uma determinada massa m de enxofre num calorímetro em que havia um excesso de oxigénio gasoso. A capacidade calorífica específica do calorímetro é conhecida e a variação de temperatura foi de $9,55^{\circ}\text{C}$. Tem o aluno informação suficiente que lhe permita determinar o ΔH da reacção? Em caso negativo que dados adicionais necessita?

Nota: O problema numérico original (ver ref. 18) foi adaptado de modo a: não dar todos os dados necessários para a resolução do problema em particular os relativos à H_2O (o que implica uma apreciação do aluno de como funciona um calorímetro); transformar dados numéricos em dados literais de forma a minimizar a precipitação dos alunos sobre os primeiros.

— **Quadrante C:** Determinar experimentalmente, e usando materiais caseiros, qual o valor aproximado da energia (kJ) libertada pela combustão de uma noz. Qual a natureza das aproximações feitas?

Nota: O princípio da análise de dados é basicamente o mesmo do exemplo do quadrante B. A abordagem da situação problema não se deve restringir ao simples planeamento da experiência mas, se possível, ser enriquecida pela realização experimental.

— **Quadrante D:** Como construir um dessalinizador de água caseiro? Como saber a quantidade de $\text{NaCl}(\text{s})$ que é possível recuperar de uma dada solução?

Nota: Tal como o anterior este é um problema tecnológico podendo envolver realização experimental. Particularmente adaptado ao ensino básico. Tem a vantagem de permitir ao professor envolver os alunos em percursos de pesquisa e não só realizarem experiências isoladas de sentido confirmatório.

É previsível que a exploração de tarefas privilegiando abertura e/ou contextos não meramente académicos resulte, num primeiro tempo, em dificuldades para os alunos. Assim, na versão académica do exemplo do Quadrante A, os alunos do ensino superior não têm dificuldade em resolver o problema: “Calcule o ΔH° para o processo $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ”. No entanto, os alunos falham frequentemente em apreciarem as condições estratégicas de uso dos conhecimentos e procedimentos que adquiriram quando se faz variar o contexto da tarefa. Assim, no exemplo do Quadrante A são frequentes respostas do tipo mecanicista, mesmo de alunos universitários (ver ref. 19); “...as moléculas de H_2O no estado gasoso têm mais energia cinética do que as moléculas no estado líquido, portanto em contacto com a pele queimam mais”; ou ainda, “...então sabe-se que as ligações do vapor de água são do tipo Van-der-Walls (fracas portanto) enquanto as

ligações da água são do tipo pontes de hidrogénio que são ligações fortes. Assim é esta a razão porque o vapor de água produz queimaduras mais graves. As ligações são mais fracas e as moléculas introduzem-se mais profundamente na pele pois estão mais separadas e entram mais facilmente para o interior da pele, enquanto a água em ebulição, apesar de estar à mesma temperatura tem ligações mais fortes ficando assim mais ao nível da epiderme pois é mais difícil a sua dissociação” (ibidem).

A médio prazo, o ensino da RP numa perspectiva de trabalho científico muito pode beneficiar se na avaliação da aprendizagem os professores valorizarem a conceptualização da tarefa proposta, isto é, a representação da tarefa e o processo de resolução tentado, e não só o resultado certo (como é frequente). O mesmo é dizer que, a nível do formato das tarefas, são de privilegiar questões estruturadas e não de múltipla escolha. O mesmo é dizer também que, a nível do processo de avaliação, deve-se facilitar ao aluno o acesso a documentos de apoio de modo a minimizar o papel da memória e valorizar o do raciocínio.

4 - CONCLUSÕES

Os contributos da investigação didáctica aqui apresentados ilustram o modo como esta pode ser uma fonte de propostas de mudança no que respeita ao ensino da Química.

Não chega no entanto formular simplesmente propostas, ainda que inovadoras, para implementar mudanças a nível das práticas pedagógicas. Destaco três condições:

- (i) Transferir para o ensino atitudes que os docentes têm em geral para com as suas próprias aprendizagens. Tal significa que devemos sujeitar o nosso ensino da Química a um maior escrutínio. Trata-se de reflectirmos criticamente sobre o nosso ensino (processo de auto-formação), já que é bem sabido que uma boa parte do conhecimento sobre como ensinamos Química permanece ao nível de saberes tácitos que só se tornam explícitos quando somos levados a contruir uma explicação justificando uma dada decisão. Trata-se também de expôr nossas experiências inovadoras de ensino ao escrutínio público. Será na medida em que o ensino da Química se torne cada vez mais uma actividade pública, que ele será mais facilmente criticado e portanto susceptível de melhoramentos.
- (ii) Ajudar os alunos a aprender a aprender. A perspectiva de trabalho científico que se defendeu neste estudo para o ensino da Química, implica também uma outra maneira de estar dos alunos. Em particular, acarreta uma sua maior responsabilidade e protagonismo (nomeadamente no ensino superior) nos processos de aquisição do conhecimento. A razão é simples: “...because there is no mechanical scientific method, students have to realize that they need to think, to be critical, to build cases, to amass different sorts of evidence”²⁰. Trata-se pois de eles reconhecerem e assumirem o pluralismo metodológico como instrumento estratégico de apreensão do saber.
- (iii) Finalmente, o impacto educacional da investigação didáctica passa pela própria natureza das suas propostas. É pois importante que os professores de Química possam delas formar uma representação coerente e útil. A questão é complexa passando porventura por adaptações a nível do próprio modelo dominante de investigação didáctica, como se sabe de racionalidade técnica. Em termos futuros, é importante envolver cada vez mais professores no processo de identificação de questões de investigação, isto é reforçando a articulação com a epistemologia das práticas. Em segundo lugar, envolver cada vez mais professores de Química em equipas de investigação de modo a privilegiar a investigação centrada na sala de aula. Em terceiro lugar, e no que respeita à metodologia de investigação, valorizar estudos ideográficos em que os alunos sejam considerados como indivíduos e não como meras amostras estatísticas. Desde que encaradas seriamente tais medidas por

certo que ajudariam a melhorar o impacto educacional da investigação em didáctica da Química.

REFERÊNCIAS

1. Cachapuz, A. et al.; O ensino-aprendizagem da Física e Química: resultados globais de um questionário a professores. Monografia, Universidade de Aveiro, Portugal, 1989.
2. Claxton, G.; *Educating the inquiring mind*; Harvester Wheatsheaf, New York, 1991.
3. Gil, D.; Carrascosa, J.; *Eur. J. Sci. Educ.*, (1985), 7, 231.
4. Frazer, M.; The future of science education. Comunicação apresentada na reunião anual da BAAS, University of East Anglia, Norwich, 1984.
5. Driscoll, D.; *Aust. Sci. Teach. Journal*, (1966), Nov., 7.
6. Mitchell, J.; Gunstone, R.; *Res. Sci. Educ.*, (1984), 14, 78.
7. Hewson, P.; *Eur. J. Sci. Educ.*, (1981) 3, 383.
8. Cachapuz, A.; Martins, I.; Misconceptions in high school chemistry: how in a chemical reaction some reactants may be more important than others. Comunicação apresentada à 10th Biennial Conference on Chemical Education, University of Purdue, USA, (1988).
9. Martins, I.; Cachapuz, A.; *School Science Review*, (1990) 71, 83.
10. Johnstone, A.; MacDonald, J.; Webb, G.; *Physics Education*, (1977), 12, 248.
11. Cachapuz, A.; Martins, I.; *Bol. Soc. Port. Química*, (1991) 46, 13.
12. Brookhart, C.; *J. Res. Sci. Teaching*, (1993), 30, 649.
13. Berg, K.; Treagust, D.; *J. Res. Sci. Teaching*, (1993), 30, 871.
14. Woods, D.; What's new about teaching problem solving? Proceedings of the 10th International Conference on Chemical Education, University of Waterloo, Canada, 75, (1989).
15. Projecto 2061; Benchmarks for Science Literacy; American Association for the Advancement of Science, Oxford Univ. Press, New York, 1993.
16. Johnsey, R.; Problem solving in school science. London, Mac-Donald Educ., 1986.
17. Borgford, C.; Summerlin, L.; Chemical Activities, American Chemical Society, Washington, DC, (1988).
18. Willis, C.; Problem solving in general Chemistry, Houghton Mifflin, Boston, 1977.
19. Cachapuz, A.; De como a aprendizagem da Química na formação inicial de professores pode constituir uma barreira à inovação; Actas do Colóquio "Ensino Superior de Química em Línguas Internacionais de Origem Latina, Pestana, E. e Pereira, M. (ed.), Lisboa, (1991), 114.
20. Phillips, D.; *J. College Sci. Teaching*, (1985), Nov., 95.