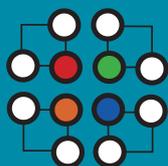


# ENSINO EXPERIMENTAL DAS CIÊNCIAS

(RE)PENSAR O ENSINO  
DAS CIÊNCIAS



eec  
ensino experimental  
das  
ciências



## Ficha Técnica

### *Biblioteca Nacional - Catalogação na Publicação*

Ensino Experimental das Ciências / coord. António Veríssimo, Arminda Pedrosa, Rui Ribeiro; [ed. lit.] Departamento do Ensino Secundário  
3ºv.: (Re)pensar o Ensino das Ciências. - 2001, - p.  
ISBN 972-8417-73-X

I - Veríssimo, António, 1959-

II - Pedrosa, Arminda, 1950-

III - Ribeiro, Rui, 1963-

IV - Portugal, Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário

CDU 5/6

37.02

159.55

**Título:** (Re)Pensar o Ensino das Ciências

**1ª Edição:** Janeiro de 2001

**ISBN:** 972-8417-73-X

**Edição:** Ministério da Educação

Departamento do Ensino Secundário

Av. 24 de Julho, 138, 1399-026 Lisboa

**Coordenação:** António Veríssimo, Arminda Pedrosa, Rui Ribeiro

**Autores:** Ana Almeida, António Mateus, António Veríssimo, João Serra, Jorge Maia Alves, Luís Dourado, M. Arminda Pedrosa, M. Elisa Maia, Mário Freitas, Rui Ribeiro

**Concepção Gráfica:** WM.Produção de Imagem

**Pré-Impressão:** Seleprinter, Lda.

**Tiragem:** 3.500 exemplares

**Depósito Legal nº:** 172926/01

**Impressão:** Seleprinter, Lda.

Publicação financiada pelo Fundo Social Europeu no âmbito do Programa de Desenvolvimento Educativo para Portugal - PRODEP

# ENSINO EXPERIMENTAL DAS CIÊNCIAS

*(RE)PENSAR O ENSINO DAS CIÊNCIAS*

As opiniões expressas nos textos apresentados nesta publicação são da responsabilidade dos autores e não reflectem necessariamente a opinião do Departamento do Ensino Secundário ou do Ministério da Educação

## Ensino Experimental das Ciências (Re)Pensar o Ensino das Ciências

### **Coordenação**

António Veríssimo  
M. Arminda Pedrosa  
Rui Ribeiro

### **Autores**

Ana Almeida  
António Mateus  
António Veríssimo  
João Serra  
Jorge Maia Alves  
Luís Dourado  
M. Arminda Pedrosa  
M. Elisa Maia  
Mário Freitas  
Rui Ribeiro

# Índice

- 7 Nota de abertura
- 9 Introdução: (Re)Pensar o Ensino das Ciências  
António Veríssimo, M. Arminda Pedrosa, Rui Ribeiro
- 11 1. Ensino das Ciências numa Perspectiva Investigativa
  - 13 1.1. Trabalho Prático, Trabalho Laboratorial, Trabalho de Campo e Trabalho Experimental no Ensino das Ciências - contributo para uma clarificação de termos  
Luís Dourado  
Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho
  - 19 1.2. Ensino das Ciências e Trabalhos Práticos - (Re)Conceptualizar...  
M. Arminda Pedrosa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
  - 35 1.3. Mudanças de Práticas de Ensino das Ciências - uma Reflexão Epistemológica  
M. Arminda Pedrosa  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
  - 51 1.4. Educação em Ciências e Trabalho Experimental: Emergência de uma nova concepção  
Ana Maria Almeida  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa
  - 75 1.5. O Trabalho Prático (Laboratorial e de Campo) na Promoção de Áreas Transversais do Currículo (Área Projecto/Projecto Tecnológico)  
Mário Freitas  
Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho
- 89 2. A Importância Educativa das Ciências
  - 91 2.1. A Física: uma Representação da Realidade que nos Cerca  
J. Serra, J. M. Alves  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
  - 97 2.2. Importância Educativa da Química  
M. Elisa Maia  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
  - 107 2.3. Perspectivas actuais da Geologia; sua importância educativa  
António Mateus  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

- 129            2.4. A Biologia no contexto da Educação em Ciências  
                  António Veríssimo, Rui Ribeiro  
                  Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
- 139            3. Educação em Ciências, Cultura e Cidadania
- 141            3.1. Educar em escolas abertas ao Mundo - Que cultura e que condições de  
                  exercício da cidadania?  
                  M. Arminda Pedrosa  
                  Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
                  António Mateus  
                  Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa
- 155            3.2. Educação em Ciências e Cidadania: Porquê, Onde e Como?  
                  António Veríssimo, Rui Ribeiro  
                  Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

# Nota de Abertura

DOMINGOS FERNANDES

*Director do Departamento do Ensino Secundário*

## (Re)Pensar o Ensino das Ciências

A brochura "(Re)Pensar o Ensino das Ciências" faz parte de um conjunto de 5 publicações que o DES faz chegar a todas as Escolas com Ensino Secundário.

As ideias apresentadas nesta brochura pelos autores estiveram subjacentes ao plano de Formação no Ensino Experimental das Ciências - Formação de Acompanhantes Locais das Ciências promovido pelo DES, e constituem uma "reflexão" conjunta que se destina a indicar novos caminhos e perspectivas de actuação dos professores, bem como apoiá-los no desenvolvimento das suas práticas, com o objectivo de alcançar um ensino renovado das Ciências.

Esta brochura expressa uma nova forma de ensinar e aprender ciência que deverá reflectir o processo activo de construção da própria ciência. As actividades de ensino-aprendizagem, experimentais ou outras, devem ser adequadas às capacidades e atitudes que se pretende desenvolver no aluno, não se reduzindo apenas a receitas ou a sequências de instruções a seguir passo a passo. Este modo de actuação deve simultaneamente - e usando a terminologia inglesa habitual - incluir actividades "hands-on" e "minds-on" e fomentar a construção, pelos alunos, do seu próprio conhecimento através de actividades de carácter investigativo e de resolução de problemas. Desta forma, importa que alunos e professores sejam capazes de desenvolver:

- atitudes de curiosidade, dúvida, empenhamento, responsabilidade, respeito pelo outro e de reflexão partilhada;
- capacidades de recolher informação, problematizar, formular e testar hipóteses plausíveis, observar/interpretar, argumentar.

Aos autores desta brochura, bem como aos Acompanhantes Locais das Ciências que empenhadamente se envolveram neste projecto, aqui deixamos, em nome de todos os que dele poderão vir a beneficiar, o nosso maior agradecimento.

# Introdução: (Re)Pensar o Ensino das Ciências

ANTÓNIO VERÍSSIMO, M. ARMINDA PEDROSA, RUI RIBEIRO

Coordenadores

A disciplinaridade e a diversidade de experiências e vivências do Grupo de Trabalho (GT) responsável pelo Programa de Formação no Ensino Experimental das Ciências/1999 terá sido uma das mais-valias com repercussões positivas nos percursos, vivências e reflexões dos professores-formandos envolvidos. A diversidade de formações e pontos de vista dos membros do GT acarretou, obviamente, esforço acrescido e uma limitação incontornável. O esforço acrescido foi, particularmente, o imposto pela vontade na construção de uma linguagem mínima comum, clarificando gírias e conceitos específicos e viabilizando um trabalho em equipa, *i.e.*, em que um resultado conjunto fosse consensual e ultrapassasse a soma dos contributos dos vários membros e/ou subgrupos. A limitação incontornável decorreu da impossibilidade, reconhecida e assumida, de se construírem unanimidades, quer em posicionamentos teóricos, quer na concretização prática dos objectivos e programas de trabalho.

Ditou o pragmatismo que o GT se quedasse, bastas vezes, em soluções de compromisso que não reflectiam mais que um consenso superficial. Certo é que foram enriquecedoras as próprias vivências dos membros do GT, sobretudo no aprofundamento das reflexões individuais sobre a Educação em Ciências, que agora se vêem parcialmente materializadas neste volume "(Re)Pensar o Ensino das Ciências". Este volume assume-se, assim, como um espaço de partilha de reflexões individuais ou em pequeno grupo e não, ao contrário das anteriores, como a memória de consensos, de percursos ou de actividades no âmbito da formação.

No primeiro capítulo, *Ensino das Ciências numa Perspectiva Investigativa*, são apresentadas cinco reflexões, todas elas individuais, quer sobre conceitos associados ao Ensino das Ciências, quer sobre sequências temporais de modelos conceptuais e sua transposição para as sucessivas reformas educativas, quer sobre formação de professores, quer sobre as actividades de natureza investigativa e as suas limitações, implicações e consequências.

No segundo capítulo, *A Importância Educativa das Ciências*, quatro textos apresentam, mais que paradigmas aceitos ou emergentes na construção de cada área disciplinar - Física, Química, Geociências e Biologia -, um conjunto de reflexões sobre a relevância de conceitos e de processos associados na construção/formação do indivíduo enquanto cidadão.

No terceiro capítulo, *Educação em Ciências, Cultura e Cidadania*, de dois contributos em co-autoria, emergem conceitos e palavras-chave incontornáveis e cuja discussão é absolutamente inadiável na Educação em Ciências: *cultura, cidadania, escola, família, igreja, democracia, pseudociência, literacia científica, reformas educativas, trabalhadores do futuro, indivíduos completos, escola-instituição, autonomia e descentralização...*

Consensual que foi, no GT, a urgência de um aprofundamento reflexivo no âmbito da Educação em Ciências, possa este documento contribuir para a emergência consciente e assumida de novas práticas e Novas Instituições.



Ensino das Ciências numa  
Perspectiva Investigativa

# 1.1 Trabalho Prático (TP), Trabalho Laboratorial (TL), Trabalho de Campo (TC) e Trabalho Experimental (TE) no Ensino das Ciências - contributo para uma clarificação de termos

LUÍS DOURADO

Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho

## 1. Introdução

Este texto procura sintetizar alguns aspectos da reflexão que temos efectuado sobre os conceitos de Trabalho Prático (TP), Trabalho Laboratorial (TL), Trabalho de Campo (TC) e Trabalho Experimental (TE) e associações entre eles existentes. Clarificando o critério que define cada um dos tipos referidos, procuramos por um lado explicitar o significado de cada um deles e por outro estabelecer as relações possíveis. Foi também nosso propósito estabelecer algumas possíveis relações entre os tipos de trabalho referidos e as interpretações que são efectuadas pelas diferentes disciplinas científicas (Física, Química, Biologia e Geologia). Por último, realçamos o papel que o TL e TC podem desempenhar no ensino da Biologia, destacando em especial o papel que a realização articulada dos dois tipos de trabalho pode desempenhar.

## 2. TP/TL/TC/TE e suas definições

Embora numa leitura mais superficial pareçam corresponder à mesma realidade, o entendimento que existe sobre os conceitos de Trabalho Prático, Trabalho Laboratorial, Trabalho de Campo e Trabalho Experimental não é consensual. Alguns autores, como Woolnough (1991), consideram que trabalho prático corresponde a trabalho laboratorial. Contudo, como refere Hodson (1992) "existe um certo grau de confusão e de ingenuidade na suposição de que o trabalho prático implica necessariamente trabalho de laboratório". Assim, segundo Hodson (1988), trabalho prático, enquanto recurso didáctico à disposição do professor, inclui todas as actividades em que o aluno esteja activamente envolvido (no domínio psicomotor, cognitivo e afectivo). De acordo com esta definição o âmbito do trabalho prático é mais alargado e inclui, entre outros, o trabalho laboratorial e o trabalho de campo.

Relativamente ao TL e TC a sua implementação, não significa a adopção de metodologias específicas no desenvolvimento das actividades que os constituem. Pelo contrário, na sua realização podem ser implementadas metodologias diversificadas. Os TL e o TC possuem um conjunto de características referidas por Carmen (2000) que os individualizam: a) são realizados pelos alunos, ainda que com um grau variável de participação no seu desenho e execução; b) implicam o recurso a procedimentos científicos com características diferentes (observação, formulação de hipóteses, realização de experiências, técnicas manipulativas, elaboração de conclusões, etc.) e com diferentes graus de aproximação relativamente ao nível dos alunos; c) requerem a utilização de materiais específicos, semelhantes aos usados pelos cientistas, ainda que por vezes simplificados para facilitar a sua utilização pelos alunos; d) decorrem com frequência em espaços diferentes da aula (laboratório, campo), ainda que os trabalhos mais simples possam decorrer na sala de aula; envolvem certos riscos, pois a manipulação de material ou a realização de excursões aumenta o perigo de acidentes, pelo que é necessário adoptar medidas para as reduzir ao mínimo; são mais complexas de organizar do que as actividades habitualmente realizadas, nas quais os alunos se limitam a escutar, ler ou resolver exercícios de papel e lápis.

Assim, e em resumo, o critério principal para assumir uma actividade como laboratorial ou de campo diz respeito ao local onde a mesma se desenvolve. Como refere Hodson (1988), o trabalho laboratorial inclui actividades que requerem a utilização de materiais de laboratório, mais ou menos convencionais, e que podem ser realizadas num laboratório ou mesmo numa sala de aula normal, desde que não sejam necessárias condições especiais, nomeadamente de segurança, para a realização das actividades. O trabalho de campo é realizado ao ar livre, onde, geralmente, os acontecimentos ocorrem naturalmente (Pedrinaci, Sequeiros & Garcia, 1992).

Como é óbvio, o desenvolvimento de actividades que implicam envolvimento activo do aluno (e portanto a realização de TP) não se esgota na realização de TL e TC. Assim são também consideradas como TP a pesquisa de informação em diferentes fontes, o desenho de uma estratégia de resolução de problemas (Pro, 2000), actividades de resolução de problemas de papel e lápis, de pesquisa de informação na biblioteca ou na *internet*, de utilização de simulações informáticas, etc (Hodson, 1988).

Trabalho experimental (TE) constitui outro termo que é usado de uma forma indiscriminada e que suscita interpretações diferenciadas. Determinadas actividades são inadequadamente consideradas TE, quando na realidade não o são. Existe em nossa opinião alguma confusão na utilização dos termos "experimental" e "experiência". A sua não clarificação pode, em nossa opinião, estar na base de algumas confusões e conduz a que invariavelmente a realização de qualquer experiência seja considerada como trabalho experimental.

Assim, e como a realização de experiências não corresponde sempre à realização de trabalho experimental, torna-se pertinente a clarificação do critério que permite classificar uma dada actividade como trabalho experimental. Partilhando a opinião de Leite (2001), consideramos que Trabalho Experimental inclui actividades que

envolvem controlo e manipulação de variáveis. Assim, apenas as experiências que cumpram com este critério são consideradas TE.

Em síntese, e recordando os critérios que permitem distinguir cada um dos tipos de trabalho, temos que o critério de distinção do TP de outros recursos didáticos corresponde ao envolvimento que os alunos têm na realização de actividades; o critério que distingue TL e TC de outros TP corresponde ao local de realização das actividades e o critério que permite distinguir o TE de trabalho não experimental centra-se na metodologia utilizada, especificamente nos aspectos referentes ao controlo e manipulação de variáveis. Verificamos assim que o critério utilizado na distinção dos diferentes conceitos não é da mesma natureza, o que conduz a que, entre eles, não ocorram situações de absoluta exclusão. Assim, se TP corresponde a um "território" mais amplo que inclui todos os outros tipos de trabalho, verifica-se que relativamente ao TL, TC e TE, embora existam "territórios" específicos (definidos pelo critério distintivo), estes não são exclusivos. Assim existem actividades de TL que são TE e outras que não o são; existem actividades de TC que não são TE e outras que o podem ser. Neste último caso as condições oferecidas pelo local de realização da actividade (campo) dificultam o controlo e manipulação de variáveis. Para terminar queremos ainda realçar que a realização de TE não se esgota nas actividades de TC e TL. Existe outra actividade de TP que pode assumir características de TE.

### 3. Os conceitos de TP, TL, TC e TE na perspectiva das diferentes disciplinas científicas - algumas reflexões

No âmbito das diferentes disciplinas científicas, os conceitos de TP, TL, TC e TE assumem características, papéis e complexidades particulares. Não pretendemos com as nossas referências esgotar as leituras possíveis, mas apenas dar o nosso contributo.

Assim se TL e TC são facilmente associadas a actividades desenvolvidas no âmbito da Biologia e da Geologia (o TC em particular por esta última), o recurso ao TC não é uma prática muito comum na Física e na Química. Tradicionalmente, estas disciplinas valorizam mais a componente TL e, em especial, do tipo TE. Por sua vez TE corresponde a um conjunto de actividades que tradicionalmente são associadas com alguma dificuldade à Geologia. Não queremos com isto dizer que não se desenvolva TC em Física e Química, nem que não se realize TE em Geologia. São cada vez mais os exemplos desta natureza.

Alguns autores, Beaufils & Larcher (1999), consideram que o conceito de TE assume características e complexidades diferentes para as diferentes disciplinas científicas. Assim, para a Física, o domínio experimental está praticamente sempre presente e corresponde a uma realidade que permitiu o seu desenvolvimento como Ciência. A Física procura isolar os fenómenos elementares e pode realizar experiências laboratoriais onde certos parâmetros são fixados de modo a reduzir a fenomenologia àquela que se quer estudar. Estas experiências mantêm-se pertinentes, pois as leis da natureza, delas decorrentes, são postuladas como invariáveis num largo domínio espacial e temporal e independentes da história do sistema. Estas características permitem que diversos fenómenos (queda dos graves,

por exemplo) sejam estudados de uma forma independente do espaço e do tempo. Em Biologia e na Geologia existem algumas questões que não podem ser abordadas através da realização de TE na sala de aula. A complexidade dos sistemas que impede a sua redução a uma amostra de laboratório ou um desenvolvimento à escala temporal humana, os constrangimentos ligados ao estudo dos seres vivos introduzem uma especificidade nestas disciplinas.

O que acabamos de afirmar não significa que não se desenvolva TE no âmbito da Biologia. De facto, nem todos os biólogos têm uma mesma atitude perante o estudo dos fenómenos biológicos. Como referem Veríssimo & Ribeiro (2000), existem os biólogos que assumem uma atitude que se pode classificar de tomista ou reducionista. Esta perspectiva interessa-se pelo órgão, pelos tecidos, pela célula, pelas moléculas, e procura descrever as funções a partir das estruturas. O biólogo tomista valoriza a unidade de composição e de funcionamento que observa através da diversidade dos seres vivos, e perscruta nas realizações dos órgãos a expressão das suas reacções químicas. O importante, é isolar os constituintes do ser vivo e encontrar as condições que permitam o seu estudo no laboratório. Variando as condições, repetindo incessantemente as experiências, precisando cada parâmetro, este tipo de biólogo tenta controlar o sistema e eliminar-lhe as variáveis. A sua finalidade é decompor a complexidade, tão minuciosamente quanto possível, de tal modo que possa examinar os elementos com o ideal de pureza e precisão que só a física e a química permitem. Procuram realizar experiências em condições tais que as tornem invariáveis num largo domínio espacial e temporal e independentes da história do sistema. O TE que é executado possui características muito semelhantes ao que é desenvolvido pela Física e pela Química. Tal como acontece nestas disciplinas, este tipo de TE, devido às suas exigências metodológicas, só é possível de realizar no laboratório (corresponde portanto a TL). Para estes biólogos falar de TE e TL acaba por ter o mesmo significado.

Ainda, segundo Veríssimo & Ribeiro (2000), temos biólogos que defendem uma outra atitude que pode ser qualificada como integracionista. Nesta visão, o organismo é indissociável dos seus constituintes e frequentemente ele é considerado como um elemento de um sistema de ordem superior, o grupo, a espécie, a população, a família ecológica. Um biólogo deste tipo recusa considerar que todas as propriedades de um ser vivo, o seu comportamento e as suas realizações se podem explicar a partir das suas estruturas moleculares.

A necessidade de contemplar todos os aspectos da realidade complexa que se lhes depara (impossível de reduzir a uma amostra e variável no espaço e no tempo) impede-os de desenvolver um TE com as características atrás referidas. Na tentativa de compreender a globalidade dos fenómenos não podem desenvolver a sua actividade apenas no laboratório. O TC assume um papel fundamental e complementar do TL. Desenvolvem preferencialmente TL e TC, podendo por vezes realizar algumas actividades de TE.

Sem querermos confundir o trabalho realizado pelo biólogo, pelo químico, pelo geólogo e pelo físico com a actividade que é desenvolvida pelo professor da disciplina científica correspondente, consideramos que, embora não possa ser feita uma transferência completa entre o trabalho executado pelos primeiros para o

trabalho desenvolvido pelos segundos, as premissas que enunciamos anteriormente são válidas para o desenvolvimento de TL, TC e TE no contexto educativo. Somos de opinião que é possível implementar nas Escolas as diversas modalidades de Trabalho (TL, TC e TE). Se nalguns casos se torna mais simples, noutros as exigências são maiores, o que dificulta a sua implementação. Por exemplo, as exigências de equipamento e de formação que a implementação de TE com as características enunciadas implica conduzem a que seja implementado muito raramente.

#### 4. TL e TC: proposta de abordagem integrada no ensino das Ciências Naturais

Como referimos no ponto anterior, quando o biólogo/professor de biologia pretende abordar os fenómenos biológicos na sua globalidade, realiza preferencialmente TL e TC.

Pretendemos agora abordar alguns aspectos relacionados com a implementação destes dois tipos de trabalhos práticos no ensino da biologia. Mais do que uma abordagem isolada de cada um deles, é nossa intenção apresentar uma proposta que concretiza a inter-relação que entre eles se pode estabelecer. Assim, abordaremos os papéis que os trabalhos de laboratório e de campo podem desempenhar no processo de ensino/aprendizagem da Biologia, focando a nossa atenção na inter-relação que ultrapassa a mera dependência de um tipo de trabalho relativamente ao outro, como por exemplo o papel restrito que por vezes o trabalho de campo assume, concretizado, normalmente, apenas no fornecimento de materiais para análise no laboratório. A nossa proposta assume o paradigma de que as actividades desenvolvidas no campo e no laboratório podem ser auto-influenciadas. O que se faz no campo pode ser continuado no laboratório (através de ensaios complementares impossíveis de realizar no campo ou através de simulações) e os trabalhos laboratoriais podem condicionar as actividades a realizar no campo. Para que esta interdependência seja concretizada consideramos fundamental assumir que a realização destas actividades deixe de ter um carácter esporádico e que sejam criadas condições essenciais de trabalho como por exemplo a disponibilidade de laboratórios escolares suficientemente equipados, o apoio de um técnico de laboratório, bem como a existência de espaços, não necessariamente sofisticados e longínquos, que permitam o desenvolvimento de actividades de campo. Por vezes pensa-se que a realização da aula de campo implica grandes deslocações para espaços específicos, quando o campo pode estar próximo da escola ou mesmo no recinto escolar.

Este modelo assume que os dois tipos de trabalho (laboratorial e de campo) devem desenvolver-se em torno de problema global comum e as diferentes actividades preconizadas em cada um deles são interdependentes. Assim, na preparação do trabalho de campo, para além da planificação de actividades características do campo, são também perspectivadas outras essenciais aos desenvolvimento de actividades posteriores no laboratório. Deverá ser elaborado um plano de trabalhos de laboratório onde são contempladas actividades específicas do laboratório e as actividades essenciais a desenvolver no campo e que terão continuidade no laboratório. A etapa seguinte corresponde ao desenvolvimento das actividades de campo, durante as quais serão recolhidos materiais e realizadas anotações sobre o que se observa, sobre as dúvidas que surjam e sobre possíveis

sugestões de prosseguimento do trabalho. Após as necessárias actividades de sistematização do trabalho de campo serão realizadas as actividades de laboratório previstas no plano que, em função dos trabalhos desenvolvidos, poderá ser sempre reformulado. As actividades de laboratório poderão corresponder a ensaios complementares do trabalho de campo, a actividades específicas que contribuam para a resolução do problema global, e corresponder ainda a actividades de simulação de processos que ocorrem no campo. Estas últimas implicam a observação com registo sistemático das mesmas e os resultados assim obtidos serão confrontados com as observações registadas no campo e poderão sugerir o desenvolvimento de outras actividades. Finalmente serão desenvolvidas actividades complementares de generalização, com o objectivo de aprofundar alguns aspectos do trabalho, que serão condensados num registo final e individual.

#### Referências:

Beaufils D. & Larcher C. (1999) *L'experimental dans la classe. Aster, recherches en didactique des sciences expérimentales*, 28, 3-8.

Carmen, L. (2000). *Los trabajos prácticos*. In Perales J. & Cañal P. (Org.). *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy: Editorial Marfil

Hodson, D. (1988). *Experiments in science teaching. Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66

Hodson, D. (1992). *Redefining and reorienting practical work in school science. School Science Review*, 73(264), 65-78.

Leite, L. (2001). Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. In Caetano, H. V. et Santos, M. G. (Orgs). *Cadernos Didácticos de Ciências 1*. Lisboa: Departamento do Ensino Secundário, 79-97.

Pedrinaci, E., Equeiros, L. & Garcia, E. (1992). *El trabajo de campo y el aprendizaje de la Geología*. Alambique, 2, 37-45.

Pro, A. (2000). *Actividades de laboratorio y enseñanza de contenidos procedimentales*. In Sequeira M. et al. (Orgs). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho, 109-124.

Veríssimo, A. & Ribeiro R. (2000). *Os Conceitos de Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências - uma visão oriunda da Biologia*. In Sequeira M. et al. (Orgs). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho, 139-142.

Woolnough, B. (1991). *Setting the scene*. In Woolnough, B. (Ed.), *Practical science*. Milton Keynes: Open University Press.

**Nota:** o ponto 4 deste texto foi extraído do texto Dourado, L. (2000). A inter-relação entre trabalho de campo e trabalho laboratorial no ensino da Biologia. In Sequeira, M. et al. (Orgs). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho, 143-152.

## 1.2 Ensino das Ciências e Trabalhos Práticos – (Re)Conceptualizar...\*

M. ARMINDA PEDROSA

Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

### 1. Introdução

Concepções de ensino e de aprendizagem das ciências (eac) influenciam e condicionam as de trabalhos *prático, laboratorial e experimental*, sendo, por seu turno, influenciadas e condicionadas pelas de *natureza das ciências*. O entrosamento de concepções epistemológicas com as de eac e, conseqüentemente, com pontos de vista acerca de actividades requeridas e adequadas à sua implementação, repercute-se nos de trabalhos *prático, laboratorial e experimental*. Estabelecem-se, pois, múltiplas e mútuas interdependências entre estes pontos de vista e aquelas concepções de tal modo que indefinição, falta de clareza e/ou coerência nelas traduzir-se-ão necessariamente em propósitos, méritos e deméritos de actividades de ensino e de aprendizagem específicas, repercutindo-se, pois, em propósitos, méritos e deméritos de trabalho *prático, laboratorial e experimental*. Assim, prevê-se correlações entre concepções de eac e de construção e desenvolvimento científicos, em geral, ou de alguma(s) ciência(s), em particular, sendo que diversidade nas primeiras induzirá de algum modo diversidade nas segundas, reflectindo-se em trabalho *prático, laboratorial e experimental*, para que se utiliza, ou deve utilizar, *porquê e como utilizá-lo*.

O entrosamento conceptual e epistemológico já referido remete, naturalmente, para questões mais amplas, destacando-se *para quê* educação em ciências nos diferentes níveis de escolaridade, o que, por seu turno, aponta para outras discussões, como as da sua pertinência e relevância, como factor cultural, e/ou para exercícios informados e fundamentados de cidadania. Algumas destas questões abordam-se no capítulo 3.1 onde, no contexto de reformas educativas

\* Este texto resulta de reformulação de "Trabalho Prático em Química - Questionar, Reflectir, (Re)Conceptualizar", publicado pela autora em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 481-496.

contemporâneas, se discutem conceitos englobados na designação *literacia científica* e suas implicações para a educação em ciências, com ênfase para a formação contínua de professores. No capítulo 1.3 discute-se aspectos epistemológicos e de eac pertinentes e relevantes para *promover literacia científica de crianças e jovens* que convergem (também) na identificação e discussão de carências formativas de professores.

Aqui, considerando estudos de investigação e o conteúdo dos capítulos 1.3 e 3.1, analisam-se aspectos críticos e problemáticos de trabalho *prático, laboratorial e experimental*. Aborda-se e discute-se aspectos controversos destas actividades e sugere-se (re)orientações promissoras de melhores aprendizagens de ciências- assim o cremos-, com ênfase em química. Refere-se orientações inovadoras de trabalho prático emergentes de investigação em didáctica das ciências e, aflorando tendências relativas a inter-relações CTS (Ciências-Tecnologia-Sociedade), aponta-se para a necessidade de, nas actividades de ensino e aprendizagem englobadas na designação abrangente *trabalho prático*, incluir também trabalho de campo nas diferentes ciências escolares.

## Olhares Críticos sobre Actividades Práticas no Ensino das Ciências

Trabalho prático (*tp*) tradicional tem vindo a ser questionado, discutido e criticado, designadamente com base na pobreza e limitação dos seus contributos para aprendizagens dos alunos, em contraste com tempos longos requeridos para envolvimento destes nas suas diferentes fases, mormente na de execução (e.g. Hodson, 1993; García Barros *et al*, 1998). Questionamento e críticas têm incidido nos seus efeitos nas aprendizagens dos alunos, que aparentemente se reflectem em problemas de cultura científica (e.g. Rop, 1999).

A convergência de movimentos de reforma educativa, na generalidade dos países ocidentais, em literacia científica como propósito para educação em ciências (ver capítulo 3.1 da presente publicação) terá necessariamente repercussões em questionamento, críticas e debates desejáveis em comunidades científico-educativas, em torno das ciências que se ensinam e que se deveriam ensinar (ver capítulo 1.3 da presente publicação). Um(a) (críticas) e outros (debates), por força da importância que genericamente se reconhece a actividades práticas no eac, têm de as incluir, sejam quais forem as concepções epistemológicas que lhes subjazem (ver, por exemplo, capítulo 1.4 da presente publicação). Estas, dependendo de concepções e pressupostos epistemológicos frequentemente implícitos, reflectir-se-ão nos propósitos, orientação, ênfases e graus de envolvimento dos alunos em actividades práticas, isto é, em graus de transformação daquelas actividades de ensino em actividades de aprendizagem efectiva.

Mas a diversidade de conceptualizações de *trabalho prático, trabalho experimental e trabalho laboratorial* - designações abundantemente utilizadas, com significados mesclados, em contextos escolares de ciências (com diferenças aparentes de ciência para ciência - ver, por exemplo, capítulo 1.1 da presente publicação e capítulo 4 de "Ensino Experimental das Ciências: Concepção e Concretização das Acções de Formação.1")-, configura problemas intimamente relacionados com orientação e utilização de *tp*. Ou melhor, pode configurar problemas e/ou

divergências associados à utilização concreta destas actividades em aulas de ciências, mais especificamente à sua utilização nas práticas lectivas, plasmadas e enformadas por concepções diversas das próprias ciências, e de cada uma, seu ensino e aprendizagem. O valor que cada um atribui a *trabalho prático*, *trabalho experimental* e *trabalho laboratorial* e como o traduz nas práticas lectivas enraiza-se e relaciona-se, em última análise, com concepções epistemológicas subjacentes, mais ou menos implícitas, entrosadas com convicções e crenças acerca quer da construção e desenvolvimento científicos, quer de eac. Daí uma boa parte da diferenciação conceptual e prática!

Abundam concepções de *tp* entre professores de ciências (ver, por exemplo, capítulo 4 de “Ensino Experimental das Ciências: Concepção e Concretização das Acções de Formação.1” da presente série de publicações) e, frequentemente, as designações «trabalho experimental» e/ou «laboratorial», mais restritivas, surgem como questionáveis e discutíveis e, como tal, afiguram-se problemáticas. Neste documento, adopta-se a designação *trabalho prático*, mais abrangente, e nesta inclui-se trabalho experimental e laboratorial. Sublinhe-se, neste contexto, que nas práticas lectivas genericamente se privilegia este último, de resto em consonância com os próprios currículos das várias ciências que, por exemplo, o destacam, no ensino secundário, em *técnicas laboratoriais* de cada uma das ciências. Apesar de a sua existência como disciplinas autónomas nos actuais currículos poder interpretar-se como indiciador de predomínio de trabalho laboratorial sobre o experimental, a utilização do termo trabalho experimental tem vindo a generalizar-se, embora, aparente e frequentemente, como sinónimo de trabalho laboratorial. Levantam-se, contudo, sérias dúvidas de que as mudanças de designação se façam acompanhar por mudanças de significados e correspondentes mudanças de propósitos, orientação e formas de implementação.

Embora trabalho laboratorial e trabalho experimental signifiquem coisas diferentes, como surgem, amiúde, indistintamente utilizados, como se de sinónimos se tratasse, designadamente entre professores de ciências (ver, por exemplo, capítulo 4 de “Ensino Experimental das Ciências: Concepção e Concretização das Acções de Formação.1” da presente série de publicações), importa não alimentar ambiguidades. A multiplicidade de concepções de trabalho experimental e confusão que, em contextos de eac, lhe está associada justificaria medidas que proporcionem e estimulem membros de comunidades científico-educativas a tomar consciência deste estado de coisas. Uma atitude passiva significará ignorar alguns dos problemas de eac, designadamente os referentes a imagens das próprias ciências veiculadas, quiçá promovidas, pelo ensino formal.

### Questionar para (Re)Conceptualizar Actividades Práticas no Ensino das Ciências

Concepções, convicções e crenças acerca das ciências, seu ensino e aprendizagem, particularmente as que se referem a actividades práticas, coexistem em harmonia suficiente, maior ou menor, para fundamentarem diversidade de práticas na uniformidade de currículos que têm caracterizado a generalidade dos níveis de ensino não superior, particularmente o ensino secundário. É, pois, pertinente questionar e repensar *trabalho prático*, *laboratorial* e *experimental* que

se faz no ensino das várias ciências escolares, parecendo indispensável começar por questionar e reflectir sobre significados atribuídos a cada uma destas designações.

*Trabalho prático, trabalho laboratorial e trabalho experimental*, designações utilizadas no contexto de ensino das várias ciências, englobam perspectivas e concepções diversas. Tradicionalmente, pressupõem objectivos e etapas previamente definidos nos manuais escolares ou materiais de apoio preparados, para o efeito, pelos professores, cabendo aos alunos o papel de meros executores de planos prescritos. Compete-lhes também, geralmente, a elaboração de relatórios relativos aos planos executados, dados obtidos nos ensaios efectuados e, com base neles, resultados de cálculos, frequentemente processados por simples aplicação de algoritmos - chave de êxito para se chegar à resposta certa. *Tp* refere-se, também, a exercícios laboratoriais de cariz verificativo de princípios ou de leis, como, por exemplo, da Lei de Lavoisier, ou ilustrativos de propriedades ou comportamentos de substâncias, tipicamente de metais alcalinos em presença de água, ou espectro visível do hidrogénio, ou ainda especificamente destinados à identificação de substâncias, ou de espécies químicas e respectivas concentrações, por recurso a técnicas de análise qualitativa e quantitativa, tipicamente em amostras seleccionadas pelo professor e apresentadas sem qualquer contextualização, cabendo ao aluno executar sequências de tarefas prescritas (em protocolos dados pelo professor ou por manuais escolares). Não se concebendo estratégias de problematização (ver, por exemplo, capítulo 1.4 da presente publicação), não poderá conceber-se *tp* como conjunto coerente e articulado de actividades emergente de, e condicionado por, selecção e identificação de problemas.

Reconceptualizar *tp* em ensino de qualquer ciência será necessariamente influenciado e condicionado por concepções de ensino e de aprendizagem e por inter-relações entre um e outra, mormente pelas características e requisitos que, conscientemente ou não, se considera configurarem boas aprendizagens. Afinal, estimular aprendizagens e promovê-las constitui inquestionável razão de ser dos sistemas de ensino formal. Já questionável e discutível é o que efectivamente se considera ser aprendizagem e, por maioria de razão, critérios em que eventualmente se baseiam qualificativos de aprendizagens, seja qual for a escala de qualidade, implícita ou explícita, que se adopte.

A *aprendizagem* em sistemas de ensino formal é uma temática complexa que envolve inúmeras dimensões e aspectos questionáveis e discutíveis, como, por exemplo, o *que* se pretende que se aprenda e *para quê*, porque se pretende que se aprenda, *como* se pretende que se aprenda, *como se avalia* o que se aprendeu e *para que se avalia*. Estas questões colocam-se tanto para o ensino formal, em geral, como para os seus diferentes níveis e, dentro destes, para as diversas disciplinas, ou agrupamentos de algumas, como é o caso das ciências.

## Trabalho Prático, Abordagens Investigativas e Ensino das Ciências

*Tp*, de um modo geral, não se orienta como actividade investigativa, envolvendo identificação de problemas e sua resolução, antes evidencia orientações que

indicam imagens simplistas das ciências, desfigurando-as e veiculando o que Bencze & Hodson (1999) designam por mitos acerca de investigação científica, de que se destaca a sua independência de valores, o fazer-se recorrendo a processos discretos e genéricos e a procedimentos inapropriada e artificialmente simples e algorítmicos.

Propostas de *tp*, como actividades de selecção, identificação e resolução de problemas, requerendo envolvimento dos alunos e pressupondo abordagens investigativas, parecem raras entre nós. Goldsworthy & Feasey (1997), referindo-se ao contexto educativo do Reino Unido, apresentam investigações realizadas por alunos da escolaridade básica e, nesse contexto, descrevem aspectos importantes de trabalho experimental planeado, desenvolvido, testado e avaliado. Embora os exemplos que apresentam pareçam mais adequados a níveis baixos da escolaridade básica, as diversas dimensões que exploram, e o modo como o fazem, podem estimular a sua extensão e adaptação a salas de aula e a laboratórios, bem como a espaços exteriores a estes, no âmbito do ensino das várias ciências que integram os currículos dos ensinos básico e secundário. Poderão inspirar professores e estimulá-los a conceberem e ajudarem os seus alunos a conceberem pequenas investigações, cujo desenvolvimento requeira ensaios experimentais, tomando consciência de variáveis envolvidas, identificando-as e, tendo em vista detectar factores intervenientes em relações causa-efeito e elucidar o modo como operam, decidir de variáveis a controlar, a manipular, o que medir e como medir, enfim, conceber e planear trabalho experimental preparando materiais e registos necessários à sua implementação.

Porém, perspectivar *tp* como actividade de resolução de problemas é difícil, quanto mais não seja pela carência, ou mesmo ausência, de vivências dos próprios professores em processos semelhantes e transponíveis para contextos lectivos. Por outro lado, conceber *tp* com tal orientação e propósitos pressupõe decidir acerca de temáticas e questões orientadoras da sua concepção e planeamento, podendo (devendo) privilegiar-se as que, despertando interesse dos alunos, contribuam para a educação para o exercício da cidadania, destacando-se problemáticas ambientais e outras de interesse socialmente reconhecido, quer a nível local, regional, nacional ou global. Simultaneamente, importa que, nos fenómenos e objectos envolvidos naquelas actividades, os alunos apreciem e distingam entre descrição, interpretação e explicação, estimulando e promovendo a evolução no uso da linguagem de simples *sistema de rotulagem* para *sistema interpretativo*, essencial para fazer sentido, e dar conta do sentido, de novas experiências (Sutton, 1997). Importará, então, comunicar o que se fez, para que se fez, porque se fez, como se fez, discutir resultados obtidos, considerando requisitos de validade e confiança, e formular respostas para os problemas identificados e/ou identificar o que, no problema originalmente formulado, ainda não foi resolvido. Conceber e orientar *tp* deste modo requer que se reconheça o entrosamento de dimensões teóricas e práticas e exige a sua articulação, o que, por seu lado, poderá estimular (re)construção, consolidação e aprofundamento de conhecimento teórico-conceptual e prático-processual, por força de processos interactivos e dialécticos teoria-prática.

Para que os alunos aprendam ciências, (re)construindo, consolidando e articulando conhecimento teórico-conceptual e prático-processual - imprescindível para promover imagens mais adequadas da construção e desenvolvimento

científicos e mais consentâneas com formas de trabalhar de cientistas -, têm que se envolver (intelectual e emocionalmente) nas diferentes etapas dos processos investigativos. Ao fazê-lo, devem utilizar linguagem comum articulada com linguagem simbólica e específica de cada disciplina, explorando adequadamente diversos níveis de análise. Como estes são influenciados e condicionados pela lógica de desenvolvimento de cada ciência particular, as diferentes disciplinas de ciências apresentam, também ao nível da linguagem, especificidades que importa reconhecer, conhecer e, tendo-as em devida conta, aprender a lidar com elas.

## O Caso de Química - Exploração de Trabalho Prático e Linguagem

Em química, realça-se a necessidade da exploração adequada dos níveis de análise sensorial, macroscópico e sub-microscópico, para ajudar os alunos na difícil tarefa de apropriação progressiva de linguagem específica de química como sistema interpretativo, em contraste com o de mero sistema de etiquetagem, desconexo de sistemas materiais estudados em actividades práticas. Saliente-se, tendo em conta o âmbito da própria química, que nestes sistemas importa atentar e reflectir em aspectos relativos à estrutura e propriedades das substâncias e das entidades que as constituem, bem como nas relações entre estrutura e propriedades.

Conhecer múltiplos conceitos pressupostos e envolvidos na compreensão destes aspectos, e interrelações entre eles, é fundamental para se perceber, interpretar e explicar transformações observáveis no mundo material. Mais, compreender múltiplos conceitos pressupostos e envolvidos na compreensão destes aspectos deveria considerar-se prioritário no ensino de química e, por isso, na concepção e desenvolvimento de *tp*, bem como na concepção de instrumentos e definição de procedimentos utilizados para avaliação e classificação das aprendizagens dos alunos. Aliás, a inclusão, em testes e exames, de tarefas cuja execução fundamentalmente requeira memorização de definições, algoritmos e procedimentos não estimula estratégias de aprendizagem centradas em compreensão e aprofundamento conceptual e processual. Também não estimula os alunos a interligar o mundo da química escolar com o dos sistemas materiais conhecidos, experimentados ou vivenciados no seu dia a dia e em ambientes não escolares. Pelo contrário, incentiva estratégias de estudo que deixam margens muito estreitas para construir conhecimento científico aceitável, ou desejável, podendo mesmo impedir que o façam (Fensham, 1994). Paradoxal e ironicamente parecem garantir êxito (e progressão) académico!

*Tp* pode, e deve, orientar-se de modo a constituir meio, contexto privilegiado e pretexto para estimular os alunos a ultrapassarem estádios de ilusão de conhecimento decorrentes de sobrevalorização de definições, formalismos e algoritmos e desvalorização, ou menosprezo, pelo que significam no mundo das substâncias e de interações entre elas, suas dinâmicas transformações, mesmo que sob estáticas aparências.

*Tp* deve, pois, orientar-se de modo a ajudar os alunos a fazerem sentido e a atribuírem significados a simbologia e nomenclatura largamente utilizadas em química, fórmulas e equações químicas e equações matemáticas, promovendo o

uso apropriado de linguagem comum para aprender química e a sua linguagem, esperando-se dos professores indispensável sensibilidade a códigos linguísticos de química e de linguagem comum para, mediando entre linguagens e os alunos, os ajudarem a interpretar os sistemas de regras que subjazem e controlam a aquisição e desenvolvimento de linguagem (Borsese, 1997), apropriando-se deles. Finalmente, a utilização adequada e apropriada daquelas linguagens permitirá estabelecer relações entre sistemas materiais exteriores a laboratórios e salas de aula de química e o que neles se ensina e aprende, contribuindo-se, assim, para ajudar os alunos a interligarem o mundo das ciências escolares e o mundo material exterior a contextos escolares, ou melhor, qualquer das suas porções constituída em objecto de estudo, quiçá mais próximo das suas experiências e vivências. Tomar consciência da importância de utilizar, adequada e apropriadamente, linguagem comum para aprender química e a sua linguagem afigura-se requisito indispensável para, em aulas de química, se ajudar os alunos a construir, reconhecerem e apreciarem interligações entre aqueles mundos aparentemente desconexos - e tantas vezes vistos como desconexos.

A diminuição dos trabalhos práticos no ensino de química, nos últimos 20-30 anos, gera sinais claros de inquietação e nostalgia do tempo em que, acreditava-se, uma aula de química, sem algum *tp*, não seria aula de química (Borrows, 1999). Todavia, críticos, nostálgicos e entusiastas parecem coincidir, simultaneamente, no reconhecimento do potencial educativo de actividades práticas e no facto de as divergências confluírem na sua conceptualização, girando os argumentos em torno da *qualidade da aprendizagem de química*. A questão crucial reside, então, nos critérios de qualidade das aprendizagens, sobre os quais parece haver pontos de vista divergentes, quando não opostos.

### Actividades Práticas de Ensino de Ciências e Aprendizagens Significativas

Perspectivas construtivistas de ensino de ciências devem valorizar e fomentar aprendizagens significativas (e.g. Novak & Gowin, 1996; White & Gunstone, 1992), pelo que, nestas perspectivas, *tp* deve conceber-se e implementar-se tendo em vista contribuir para as estimular e promover. Aprendizagens significativas requerem estratégias de ensino que promovam intenso envolvimento (intelectual e emocional), necessário à articulação entre conhecimento teórico-conceptual e prático-processual e ao estabelecimento e compreensão de relações entre actividades em que os alunos se envolvem em aulas de ciências e o *quotidiano*, com conseqüente reconhecimento de relevância psico-sócio-cultural.

*Tp* pode fundamentar-se em diferentes epistemologias, nortear-se por múltiplos propósitos e assumir formas diversificadas (e.g., Hodson, 2000; Garcia Barros, 2000; Membiela, 2000; Pro, 2000, Wellington, 2000). Deverá, todavia, encarar-se como um dos meios para promover aprendizagens significativas. Como tal, requer recursos e estratégias de ensino que, fomentando comunicação e interacção social, estimulem articulação entre conhecimento teórico-conceptual e prático-processual e promovam compreensão de actividades em que os alunos se envolvem em aulas de ciências e o estabelecimento de relações entre estas e os seus *quotidianos*, com conseqüente reconhecimento de relevância e de interesse indispensável para aprender.

Abordagens de ensino CTS, ao reconhecerem, dirigirem-se e destacarem interfaces tradicionalmente ignoradas no ensino das ciências, procuram explorá-las, designadamente no contexto de selecção de problemas para os quais se pretende encontrar respostas, ou para cuja resolução se pretende contribuir. Assim, integrando conhecimento curricular teórico-conceptual com prático-processual, estimulam a compreensão de objectos e fenómenos do mundo material exterior ao espaço de salas de aula ou laboratórios escolares, por permitirem, nestes espaços, a sua interpretação e re-interpretação. Nesta perspectiva, *tp* adquire papel central no ensino das ciências, designadamente pelo potencial que encerra de estímulo a aprendizagens significativas, mobilizando crenças e pontos de vista, questionando-os, re-interpretando-os, reconceptualizando-os e reformulando-os no seu desenvolvimento. Comunicação e linguagem desempenham papel central no desenvolvimento de *tp* e sua apresentação, discutindo e argumentando o *que*, *para quê*, *porquê*, *como* se desenvolveu, que resultados se registaram e porque se registaram de determinada maneira, que conclusões se extraíram e em que evidências se basearam.

Perspectivas investigativas de *tp* em ensino das ciências pressupõem a compreensão e explicitação de relações de causa-efeito e, como tal, tornam incontornável a problemática das variáveis envolvidas, sua identificação, controle e manipulação, e do *design* experimental. Estes requisitos conferem-lhe características de trabalho experimental! A sua implementação requer esforço interpretativo e reinterpretação que atravessa todo o *tp*, desde a selecção de problemas, planeamento, observações, registo e tratamento de dados, tendo em vista a sua apresentação e discussão para elaboração de conclusões. Estas deverão, naturalmente, apresentar-se como evidências que sustentem respostas para os problemas que determinaram o *tp*, devendo, se for o caso, identificar partes ainda não esclarecidas ou duvidosas. Estes aspectos constituem requisitos importantes de *tp* estimulante de aprendizagens significativas e de concepções mais adequadas de ciências, sendo cruciais para o desenvolvimento da linguagem e de competências de comunicação e de argumentação.

Abordagens de ensino de ciências, partindo de inter-relações CTS e integrando-as, tentam criar contextos propícios e estimulantes de aprendizagens, envolvendo os alunos (emocional e intelectualmente) nas actividades propostas, esperando-se do professor que desempenhe o papel de orientador no planeamento e desenvolvimento das actividades, mediando entre recursos de aprendizagem e aprendizes, designadamente na orientação de trabalho cooperativo em pequenos grupos. Para que *tp* seja edificante e estimulante de aprendizagens significativas, é necessário que os alunos compreendam, apreciem a importância, adequação e pertinência das actividades propostas e propósitos pretendidos, reconhecendo-lhes interesse e valor. Para tal, terão de se apresentar compreensíveis, adequados, pertinentes, úteis e/ou frutíferos - requisitos necessários e imprescindíveis para que se empenhem no seu planeamento, desenvolvimento e implementação, esforçando-se por compreender o porquê das diversas fases, articulando-as, prevendo resultados, registando-os, discutindo-os e comunicando o que fizeram, como fizeram, porque fizeram, que conclusões formularam e em que se fundamentam. *Tp* concebido e orientado deste modo exige dos professores atitudes diversas das requeridas em ensino tradicional. Em particular, mediação entre currículos, materiais e alunos, regulação de interacções entre eles,

incentivando efectivo envolvimento de todos nas diversas fases e tarefas, de modo a que se constituam em recursos e tempos de aprendizagem tendencialmente inclusivos de todos, em oposição a apenas alguns. Trata-se de *tp* "mais teórico e mais investigativo" para todos os alunos (Barros, 2000); daí a conveniência e relevância de se utilizar recursos heurísticos, como *Vés de Gowin* conjuntamente com mapas de conceitos, para ajudar a fundamentar e a construir respostas a perguntas que se elegem nas situações concretas de *tp*. Organizá-lo e geri-lo nesta perspectiva, ajudando os alunos a fazer sentido de processos manipulativos necessários, incentivando-os a estabelecer relações entre múltiplos conceitos (de natureza diversificada) e a desenvolver competências de comunicação e argumentação, é tanto mais difícil e exigente quanto menor for a experiência e vivências dos professores em ensino das ciências assim concebido.

### Reconceptualizar Práticas de Ensino e Trabalho Prático

Contrastando com meros exercícios convergentes para elucidar a teoria, comuns em cursos de estatuto elevado (Hodson, 1993), é tarefa complexa e difícil conceptualizar *tp* como actividade de resolução de problemas cuja solução ou soluções de facto se não conhecem, reconhecendo-se ser um desafio que exige grande esforço de articulação das actividades propostas e rentabilização do tempo de ensino formal, de modo a resultarem em aprendizagens significativas. Tendo em conta que os professores tendem a reproduzir modelos de actuação a que foram expostos na sua própria formação (Claxton, 1991), é imprescindível que estes se envolvam, ou tenham envolvido, em *tp* com orientação idêntica. Este envolvimento torna-se imperativo para que os professores tenham oportunidades de se familiarizarem: (i) com meios e recursos necessários à articulação entre conhecimento prático-processual - necessário na planificação e implementação de ensaios laboratoriais- e teórico-conceptual requerido para interpretar e explicar fenómenos então observáveis- clarificando, antes de mais e para si próprios, teias complexas de relações entre um e outro; (ii) com requisitos de reprodutibilidade de resultados desses ensaios. Ora, atentar, por exemplo, na necessidade de reprodutibilidade de resultados, é bastante diferente de conceptualmente compreender a natureza da matéria (Markow & Lonning, 1998). Decorre daqui que, dependendo de exigências curriculares e de propósitos específicos, particularmente os emergentes de carências de aprendizagem dos alunos, pode ser sensato, oportuno e necessário recorrer-se a actividades práticas de natureza diversificada, para além das integradas em investigação genuína, designadamente exercícios, experiências ilustrativas e/ou comprovativas (Woolnough e Allsop, 1985, citados em Garcia Barros, 2000).

Realça-se (e insiste-se) que aprendizagens significativas pressupõem o estabelecimento de inter-relações entre o mundo das ciências escolares e o das experiências dos alunos, traduzidas em (novas) ligações entre aquele mundo e sistemas materiais exteriores à escola, que, tornando-se mais próximos e afins das suas vivências, são susceptíveis de lhes despertarem curiosidade e interesse. Importará então que, relativamente a *tp*, os professores de ciências:

- clarifiquem para eles próprios os propósitos do *tp* em que pretendem que os alunos se envolvam;

- o concebam e orientem, viabilizando, nas suas diversas fases, diagnóstico de conhecimento prévio e interesses dos seus alunos;
- assumam o seu papel de orientadores para:
  - estimular reconhecimento da importância de aprender (qualquer das) ciências como meio para melhor compreender fenómenos e acontecimentos exteriores a espaços escolares, próximos de experiências quotidianas dos alunos;
  - interpretar aqueles fenómenos e acontecimentos e explicá-los - requisito fundamental para exercício informado e fundamentado de cidadania;
- o implementem, regulando interacções inter-alunos e mediando entre estes os materiais envolvidos, os recursos de aprendizagem e conhecimento científico curricular, seja o expressamente considerado, pressuposto ou subjacente.

Tal orientação, regulação e mediação poderá também requerer, ou enriquecer-se com, exposição dos alunos a ambientes exteriores à escola, por exemplo, na forma de visitas de estudo ou trabalho de campo, adequadamente planeados, criando oportunidades para aproximar experiências e vivências dos alunos. Assim, tendo em conta os seus saberes e apreciações, pode promover-se discussão necessária para seleccionar problemas cuja resolução requeira *tp*, de preferência em articulação com outras disciplinas. Esta articulação curricular requer negociação dos professores e planeamento em conjunto de actividades que permitam desenvolver *tp* no âmbito das disciplinas respectivas. Os alunos precisam de orientação e ajuda que os estimule no esforço de compreensão da adequação e importância de conhecimento disciplinarmente construído, e lhes permita integrar contribuições de diversas ciências para interpretar e explicar porções do mundo material - as seleccionadas como encerrando problemas cuja abordagem ou resolução requeira *tp*.

*Tp* especificamente concebido com tais preocupações e propósitos afigura-se adequado e promissor para, rentabilizando a formação disciplinar dos professores envolvidos, lhes proporcionar percursos formativos, relevantes e indispensáveis para irem integrando inter-relações CTS no ensino das diversas ciências, cuidando, ao mesmo tempo, de identificar e resolver problemas de aprendizagem relativos a representações de conhecimento disciplinar. Atente-se nas oportunidades criadas para reflectirem sobre as suas interpretações e apropriações dos currículos das disciplinas envolvidas e, simultaneamente, na possibilidade de as partilhar e discutir com colegas para viabilizar consensos e operacionalizar implementação articulada de *tp*. Por outro lado, criarão momentos propícios para professores e alunos apreciarem diferenças e complementaridade das ciências, incluindo métodos (e técnicas) específicos, valorizando o conhecimento de matriz disciplinar construído no âmbito do desenvolvimento de cada uma. Poderão, pois, contribuir para imagens mais inclusivas e autênticas das ciências, caso os professores promovam interpretações mais adequadas destas áreas de conhecimento, estimulando, no âmbito das ciências escolares, experiências pessoais aos seus alunos (Cunningham & Helms, 1998, citados em Crawford, Kelly & Brown, 2000), por exemplo, implementando *tp* emergente de curiosidade e interesse dos alunos, perspectivado como actividade investigativa, preferencialmente, em articulação com outras disciplinas.

Todavia, importa recordar que o que se observa depende da estrutura cognitiva, competências, interesses, crenças e valores de quem observa e, ainda, que tradicionalmente se não ensina algumas ciências, particularmente física e química, fora de salas de aula ou laboratórios. Então, será necessária atenção acrescida para orientar e ajudar a observar objectos e fenómenos de quotidianos exteriores a contextos escolares, questionando e discutindo concepções e pontos de vista dos alunos. Afigura-se também indispensável intervir, mediando entre currículos e interesses dos alunos para orientar a identificação de problemas, a discussão de processos e meios para os resolver, ou contribuir para a sua resolução, a previsão de resultados, a preparação de registo de resultados e de formas de os apresentar, interpretar, discutir e comunicar. Será oportuno sublinhar a importância desta mediação e destacar a necessidade de os professores orientarem os alunos na concretização de aspectos diversificados de *tp*, já referidos. Leia-se orientarem os alunos e realce-se que orientar alguém é diferente de se substituir a ele. Destaque-se, tendo em conta orientações tradicionais de *tp*, que os professores carecem de cuidado e atenção acrescidos no desempenho do seu papel de orientadores de *tp* dos seus alunos, particularmente na identificação de problemas e noutras fases não contempladas, deficientemente contempladas, ou mesmo subvalorizadas em *tp* tradicional.

Identificar e reconhecer a importância de actividades diversas, centradas nos aprendizes, e estimulantes de questionamento reflexivo, tendo em vista a tomada de consciência da aprendizagem e seu controle - metacognição -, deverá constituir um propósito do ensino de ciências e, portanto, de *tp*. Este conceito - metacognição - poderá ser expandido com abordagens inspiradas em inter-relações CTS, por encorajarem os aprendizes a reflectirem *no que se lhes propõe que aprendam e porque se lhes propõe* (Rodriguez, 1998).

Partir do mundo material exterior a contextos escolares tradicionais, manancial rico e complexo, quer em problemas, quer em intervenções deles emergentes ou com eles relacionadas, propicia a criação de situações e utilização de contextos susceptíveis de gerar discussão dirigida à identificação de problemas, a partir dos quais se desenvolva *tp* no ensino das ciências. Aos professores caberá facilitar e desencadear o aparecimento de oportunidades e providenciar recursos para ajudar os alunos a identificarem e seleccionarem problemas para cuja resolução se pretende colectivamente contribuir, como, por exemplo, em agrupamentos definidos por turmas.

Tal orientação e mediação, para além de requisitos de articulação e enquadramento curriculares que claramente ultrapassam o âmbito de decisão e intervenção dos professores, requerem da parte destes questionamento e reflexão, de preferência em pequenos grupos de professores motivados para, baseando-se na sua experiência profissional e conhecimento oriundo de investigação em didáctica das ciências e de cada uma, repensar ensino e aprendizagens, em articulação com a avaliação de um e de outras. Afigura-se, também, necessário reflectir sobre a diversidade de conceptualizações do próprio *tp*, *trabalho experimental* e *trabalho laboratorial*, para se tomar consciência das divergências nas propostas de utilização concreta destas actividades em práticas lectivas, plasmadas e enformadas por concepções diversas daquelas actividades, das ciências, de cada ciência, do seu ensino e aprendizagem.

Uma prioridade será clarificação da natureza e propósito de *tp*, enquanto conjunto articulado de actividades concebidas ou seleccionadas como meios de ensino e recursos de aprendizagem. Dada a sua relevância, afigura-se indispensável que professores das várias ciências, antes de mais, tomem consciência da ambiguidade da terminologia *tp*, trabalho experimental e trabalho laboratorial, e da variedade de concepções associadas a cada termo. Importará então identificar o que têm de comum e de distintivo, fundamentando-as, discutindo-as, clarificando-se, assim, a provável diversidade de significados subjacentes à uniformidade de designações - requisito para se construir consensos indispensáveis a qualquer empreendimento cooperativo.

### Questionando, Reflectindo, Clarificando, (Re)Conceptualizando ...

Estimular atitudes de questionamento reflexivo, começando pelo papel que professores podem e devem desempenhar junto dos seus alunos, e com os seus alunos, afigura-se indispensável no âmbito das ciências curriculares em que *tp* se integra. A fim de promover tais atitudes, e considerando a diversidade de concepções, orientações e propósitos que este pode assumir, parece pertinente, e urgente, que os professores de ciências reflectam sobre algumas questões, tais como:

- Que diferentes conceptualizações configurará, por exemplo, a frase: química (ou qualquer outra ciência) é experimental?
- Qual a extensão de consonância de significados a ela eventualmente atribuídos por alunos no ensino básico e no secundário e em diferentes anos de escolaridade?
- E os alunos futuros professores das diferentes ciências escolares, por exemplo, no último ano da licenciatura?
- Haverá diferenças de concepções de *tp*, trabalho laboratorial ou trabalho experimental nestas populações escolares?
- E entre as destas populações e as dos seus professores?
- Por outro lado, quando se refere actividades práticas, pretenderá significar-se a mesma coisa que quando se refere *tp*?
- As concepções, maioritariamente partilhadas por grupos de alunos naqueles cursos e em diferentes anos de escolaridade, apresentarão características distintas? Em que medida diferirão e se assemelharão?
- E, quanto aos professores, haverá correlação entre as suas concepções, anos e tipo de serviço docente? Que tipo, ou tipos, proporcionarão visões distintas daquelas actividades?
- Que consensos existirão, por exemplo, entre professores do ensino secundário e universitário? Que evidências ou indicadores?

Incluir em *tp* a ideia de resolução de problemas pressupõe questionamento e reflexão acerca de *tp*, experimental ou laboratorial, designações abundantemente utilizadas, com significados mesclados, em contextos escolares. Nestes, poderão emergir múltiplas perguntas de que se destaca:

- Que questões poderão adquirir estatuto de problemas?
- Quem as considera problemas: o professor, os alunos ou o professor e os alunos?
- Que papel deverá o professor assumir na orientação e desenvolvimento, pelos alunos, de *tp* deste tipo?
- Qual a influência dos currículos nessa orientação?
- Considerando os currículos actuais, mecanismos e meios utilizados na avaliação e classificação das aprendizagens dos alunos, que dificuldades e problemas se antecipam relativamente à implementação de *tp* deste tipo? Que formas e propostas para os resolver?

Estas são questões, entre muitas, que poderão colocar-se a professores preocupados com a qualidade das aprendizagens dos seus alunos e, com base nas suas práticas, estimular-lhes reflexão que, por se tratar de ciências, passará necessariamente pelo *tp* que implementam. Processos destes afiguram-se fundamentais para estimular aprendizagens desejáveis, as quais exigem, entre outras, mudanças nas práticas de ensino. Porém, estas requerem estímulo para que os professores cooperativamente se envolvam na avaliação crítica das suas práticas docentes, que inspirará ciclos de reflexão, planeamento e acção (Bencze & Hodson, 1999), tendo em vista contribuir para que cada ciência escolar seja "mais real, compensadora e prática" (Rop, 1999, pg. 235) para os alunos. É indispensável, antes de mais, que os professores transformem a ciência que ensinam de modo a identificarem, nela e para eles próprios, requisitos idênticos aos referidos para os alunos. Porque pode ajudar, procure-se respostas para algumas questões, como:

- "Pensamos na realidade de átomos, moléculas e transformações moleculares quando ensinamos acerca de moles e periodicidade?
- Para nós, de que modos a ciência é viva, excitante, funcional e importante nos nossos quotidianos?
- Como indivíduos e profissionais, que rotinas científicas mentais desenvolvemos?
- Estamos activos e estimulados para continuar a aprender na disciplina?" (Rop, 1999, pg. 235).
- No quotidiano, como praticamos (quer como simples cidadãos quer como professores) o compreender a(s) ciência(s) que ensinamos?
- Permitimos (e estimulamos) a criação de pontes entre matérias curriculares e i) experiências e vivências dos alunos em contextos não escolares? ii) problemas social e culturalmente relevantes de âmbito local, nacional ou global? Quais? Como?

## Agradecimento:

Pela disponibilidade para ler versões anteriores e pelas críticas e sugestões exprimimos o nosso apreço e agradecemos à Helena Dias.

## Referências Bibliográficas

Bencze, L., Hodson, D. (1999). *Changing Practice by Changing Practice. Toward More Authentic Science and Science Curriculum Development. Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 521-539.

Borrows, P. (1999). *The changing Face of Practical Work. Education in Chemistry*, 36(6), 158-159, 164.

Borsese, A. (1997). *El lenguaje de la Química y la Enseñanza de las Ciencias, Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, 33-41.

Claxton, G. (1991). *Educating the Inquiring Mind: The Challenge for School Science*. London, Harvester Wheatsheaf.

Crawford, T., Kelly, G. J., Brown, C. (2000). *Ways of Knowing beyond Facts and Laws of Science: An Ethnographic Investigation of Student Engagement in Scientific Practices. Journal of Research in Science Teaching*, 37(3), 237-258.

Fensham, P. (1994). *Beginning to Teach Chemistry*. Em Fensham, P., Gunstone, R., White, R. (Eds.). *The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*. London, Falmer Press.

Garcia Barros, S. (2000). *Que Hacemos Habitualmente en las Actividades Prácticas? Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 43-61.

Garcia Barros, S., Martinez Losada, C., Mondelo Alonso, M. (1998). *Hacia la Innovación de las Actividades Prácticas desde la Formación del Profesorado. Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 353-366.

Goldsworthy, A., Feasey, R. (1997). *Making Sense of Primary Science Investigations* (revised edition), ASE (Ed).

Hodson, D. (1993). *Re-thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical Work in School Science. Studies in Science Education*, 22, 85-142.

Hodson, D. (2000). *The Place of Practical Work in Science Education*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 29-42.

Markow, P.G., Lonning, R.A. (1998). *Usefulness of Concept Maps in College Chemistry Laboratories: Students' Perceptions and Effects on Achievement*. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1015-1029.

Membiela, P. (2000). *Los Trabajos Prácticos en la Enseñanza de las Ciencias desde la Perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 125-136.

Molero, F. M. (1999). *La Didáctica ante el Tercer Milenio*. Madrid, Editorial Síntesis, S. A.

Novak, J. D., D. B. Gowin (1996). *Aprender a Aprender*. Lisboa, Plátano Edições Técnicas.

Pro Bueno, A. (2000). *Actividades de Laboratório y Enseñanza de Contenidos Procedimentales*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 109-124.

Rodriguez, A. J. (1998). *Strategies for Counterresistance: Toward Sociotransformative Constructivism and Learning to Teach Science for Diversity and Understanding*. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 589-622.

Rop, C. J. (1999). *Student Perspectives on Success in High School Chemistry*. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 221-237.

Sutton, C. (1997). *Ideas sobre la Ciencia e Ideas sobre el Lenguaje*. *Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, 8-12.

Wellington, J. (2000). *Re-Thinking the Role of Practical Work in Science Education*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 75-89.

White, R. T., Gunstone, R. F. (1992). *Probing Understanding*. London, Falmer Press.

## 1.3 Mudanças de Práticas de Ensino das Ciências - uma Reflexão Epistemológica

M. ARMINDA PEDROSA

Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

### 1. Introdução

As últimas reformas educativas na generalidade dos países ocidentais pretenderam, e pretendem, mudar orientações e ênfases no ensino das diversas disciplinas, designadamente no das de ciências, como, de resto, se prevê e espera de reformas, educativas ou outras. Publicações periódicas internacionais, como por exemplo, *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Studies in Science Education*, ou *Enseñanza de las Ciencias* reflectem e testemunham atmosferas de mudança educativa que atravessa aqueles países. Consultando estas revistas especializadas, ou outras de investigação em educação em ciências, constata-se um aumento crescente no número de artigos versando experiências e intervenções realizadas em contextos e para efeitos de implementação de reformas educativas.

Entre os contributos emergentes de princípios orientadores destas e de propósitos enunciados em documentos oficiais, destacam-se:

- diagnósticos de dificuldades e obstáculos em aspectos ou sectores específicos dos sistemas educativos;
- propostas de estratégias e de recursos para responder a novas exigências e inovações específicas.

Uns e outros envolvem interpretação, elaboração e reinterpretação de princípios e propósitos genericamente enunciados, originando, conseqüentemente, perspectivas matizadas por concepções e crenças dos próprios investigadores. Assim sendo, tais contributos requerem clarificação e definição de propósitos perseguidos por cada estudo específico. De entre estes, destaque-se os que envolvem professores, alunos, ou simultaneamente professores e alunos, com recurso a metodologias de investigação designadas qualitativas e quantitativas, com predomínio das primeiras.

Na generalidade dos países ocidentais, as reformas educativas que, actualmente, se preparam ou implementam apresentam denominadores comuns, realçando-se os que consubstanciam ênfases em dimensões de literacia científica, independentemente da terminologia adoptada em documentos relativos a cada reforma educativa particular.

Como se refere no capítulo 3 desta publicação - *Educar em Escolas Abertas ao Mundo: Que Cultura e que Condições de Exercício da Cidadania?*, "[...] as ciências escolares podem ser vistas como um meio de enculturação, ou assimilação, dos alunos na subcultura destas áreas de conhecimento (Aikenhead, 1996)." e "[...] literacia científica, por ser um conceito complexo e multidimensional, integra também a dimensão relativa a concepções de ciências [...]". Se integrar propósitos genericamente definidos para a educação em ciências, literacia científica gerará consensos alargados nas comunidades científico-educativas envolvidas ou, de algum modo, implicadas em educação formal. Por exemplo, é plausível que *estimular e promover literacia científica de crianças e jovens* mereça consenso e concordância alargados. No entanto, tendo em conta a complexidade e multidimensionalidade de *literacia científica*, tais consensos e eventuais concordâncias (aparentes) que se lhe associem não significam necessariamente sintonia de concepções e de crenças acerca de aspectos relevantes de ensino e de aprendizagem das ciências (eac). Ao invés, podem mesmo representar uma espécie de manto diáfano que, proporcionando acordos superficiais, oculta diferenças e divergências, mais ou menos profundas, acerca do *que é literacia científica e de como se deve fazer para estimular aprendizagens que a promovam*.

A concepção de *literacia científica* construída por cada indivíduo determina as dimensões que lhe associa e estas, por seu lado, influenciam e, de algum modo, determinam os significados que lhe atribui e vice-versa. Não é, pois, surpreendente que, em torno de literacia científica como propósito educativo, os consensos sejam superficiais, isto é, mais aparentes que reais, porventura consensos terminológicos mas não necessariamente ideológicos. Os seus significados e a sua força residem no grau de proximidade ou na convergência de perspectivas acerca do *que, para que, como se e porque se ensina* desse modo, e *como se deve ensinar*, em articulação com o *que se aprende, porque será que o que se aprende difere do que se ensina ou tem intenção de ensinar*. Identificar diferenças e interpretá-las, a partir do confronto entre o *que se ensina* e o *que se aprende*, remete para *como se aprende*.

Neste contexto, assumem papel central e destacado concepções de eac e correlacionadas interpretações de teias complexas de relações causa-efeito entre umas concepções e outras. Em geral, concordâncias/discordâncias são parciais e função de graus de convergência de perspectivas diferentes de ensino e de aprendizagem, particularmente das ciências e de cada ciência, bem como dos seus reflexos em pontos de vista e crenças pessoais sobre o que deve constituir matéria e orientação curriculares. Por sua vez, estas também dependem de concepções e crenças dos professores acerca das ciências que ensinam e, por isso, vão influenciar e, de algum modo, determinar práticas de ensino, mormente actividades, que concebem, seleccionam e implementam, particularmente as que estimulam e desenvolvem estratégias para aprendizagens significativas de ciências (e.g. Novak e Gowin, 1996).

Reflexão epistemológica de professores de ciências afigura-se, pois, indispensável para fomentar mudanças educativas que promovam literacia científica, uma vez que esta, como já se referiu, também integra, entre as múltiplas dimensões pressupostas, a referente a concepções de ciências. Assim, programas de formação devem contemplar aspectos epistemológicos e, realçando o significado e relevância de que se revestem nas práticas lectivas, estimular reflexão de professores de ciências e discussão entre eles. Devem, ainda, englobar estratégias de intervenção, enraizadas em práticas docentes efectivas que mobilizem episódios concretos vividos na implementação de actividades lectivas. Defende-se, pois, que mudanças desejáveis nas práticas de eac serão mais eficazes se estas estratégias se articularem com conhecimento epistemológico e emergirem de sistemas de crenças e de valores.

## Reformas Educativas Contemporâneas

### *Movimentos, consensos, reflexões, ...*

Consenso em matéria educativa não surge espontaneamente, não emergem de legislação que os pressuponha ou os pretenda impor, nem tão pouco são dados adquiridos... Construir consensos em matéria educativa pressupõe e requer interacções entre membros activos de comunidades científico-educativas-intra e inter comunidades - e entre estes e professores que, reconhecendo e valorizando diferenças e complementaridades, se empenhem na construção e desenvolvimento de patrimónios semânticos comuns.

A dimensão terminológica pode, então, assumir papel e funções semelhantes aos que Sutton (1997) atribui a linguagens científicas - *sistemas de interpretação* complexos e ricos - que permitem processar e trabalhar ideias veiculadas pela linguagem, seja qual for a sua especificidade. Ideias e linguagens, ou seja, pensamento e sua comunicação aprofundam-se e evoluem porque, interrelacionados e interdependentes, se influenciam mutuamente. Nesta perspectiva, terminologias, novas ou não, superam papéis de simples rotulagem e/ou de demarcação de comunidades científico-educativas específicas.

Construir patrimónios semânticos comuns, que viabilizem e estimulem comunicação efectiva entre comunidades, é uma condição indispensável embora insuficiente para criar e catalisar mecanismos de cooperação entre elas. Estes, se imbuídos de um saudável espírito de colaboração, facilitarão convergência de propósitos e de esforços, designadamente, entre professores de ciências dos ensinos básico e secundário e especialistas com formações e saberes diversificados, mas complementares. Empreendimentos cooperativos destes podem representar contributos valiosos para superar receios, desconfianças e inseguranças, associados ao que se desconhece, ou se conhece mal. Pode, assim, estimular-se mudanças significativas em modos de estar na profissão docente, tão fundamentais quanto necessárias, para produzirem efeitos em meios, processos e produtos da educação formal nos seus diversos níveis.

Identificar problemas de eac, essencial em qualquer intervenção educativa, deve constituir uma etapa prioritária e devidamente preparada. Porém, a sua concepção

requer clarificação de perspectivas de mudança, uma vez que tem de ser articulada com o delinear de estratégias que congreguem, mobilizem e envolvam professores e outros profissionais para cooperativamente construírem soluções adequadas. Tendo em conta a diversidade expectável dos seus saberes, convicções e crenças acerca das ciências, seu ensino e aprendizagem, tal clarificação passará necessariamente por reflexão e discussão acerca de perspectivas de mudança dos intervenientes, que deverão possuir formação e experiência em diferentes áreas disciplinares. Reflexão e discussão essenciais para ir construindo consensos, também eles essenciais, para que se implementem mudanças desejáveis, reclamadas pela necessidade de a educação escolar estimular aprendizagens significativas (e.g. Canavarro, 1999), promotoras de literacia científica (e.g. Bybee, 1997).

Desenvolver programas que reclamem a superação de entrincheiramentos disciplinares e apelem à colaboração de especialistas de diversas áreas pode estimular e gerar sinergias valiosas para construir, ainda que timidamente, interfaces interdisciplinares - cruciais para articular e interligar currículos escolares. Iniciativas que requeiram e envolvam trabalho cooperativo e mobilizador de membros activos de comunidades de especialistas das diversas ciências e das respectivas didácticas específicas é essencial para mudar práticas educativas, desde logo na formação de professores de ciências, inicial e continuada.

A orientação eminentemente disciplinar da investigação científica nas universidades, a sua organização departamental, designadamente nas actividades docentes, bem como tradições individualistas, profundamente enraizadas, de definição, orientação e concretização dos programas das disciplinas curriculares das licenciaturas influenciam-se mutuamente e reflectem-se na escassez, quando não ausência, de oportunidades, informais e eficientes, de comunicação e de diálogo entre docentes (seja intradepartamento ou interdepartamentos) envolvidos na implementação dos cursos de formação de professores. A legislação que regulamenta a organização e funcionamento das Universidades estipula, em maior ou menor grau e com maior ou menor pormenor, que apenas com acordo dos departamentos envolvidos se alterem planos de estudo dos cursos. No entanto, por diversas razões, relacionadas nomeadamente com assimetrias na distribuição e exercício dos diferentes poderes, tais requisitos não são frequentemente adequados à criação de climas propícios a genuína comunicação e diálogos efectivos entre docentes das várias disciplinas que integram os planos de estudo das licenciaturas, designadamente as vocacionadas para formação de professores de ciências. Excessiva ênfase em relações hierárquicas não os promove, antes aparenta obstaculizá-los.

Diálogo, pressupondo respeito pelos interlocutores e estímulo a genuína comunicação entre eles, é imprescindível para coordenar e articular quer programas das disciplinas que integram os planos de estudo, afectadas ou não ao mesmo departamento, quer actividades de ensino e de aprendizagem que se implementam nas várias disciplinas. Requisitos de genuína comunicação e diálogo efectivo são ainda essenciais para, em ambiente de saudável convivência e colaboração, se informar e discutir *para quê, como e porque* se opta por uns (programas das diferentes disciplinas) e por outras (actividades de ensino e de aprendizagem em cada disciplina). Um dos paradoxos da organização escolar e curricular, em geral, que naturalmente também aqui se aplica é eloquentemente

identificado por Molero (1999, Pg. 170): "[...] é irónico que, quando todo o mundo parece caminhar para a globalização interdependente, o ensino - que diz preparar para viver nesse mundo - adopte o caminho da atomização em compartimentos estanques" conjuntamente com a multiplicação de disciplinas desarticuladas umas das outras nos planos de estudo.

## Diversidade Epistemológica e Formação de Professores

Expressar informalmente decisões relativas a disciplinas que se leccionam e, tendo em vista articulação e coordenação de esforços, discutir interpares os seus propósitos e fundamentos ajudaria os docentes a tomar consciência de aspectos pessoais e idiossincráticos no que se refere a saberes pressupostos ou implicados nas disciplinas e à construção de saberes que lhes dão corpo.

No caso de licenciaturas de formação de professores, para além da clarificação relativa aos conteúdos e metodologias de trabalho das várias disciplinas e sua articulação, uma tal maneira de estar na docência repercutir-se-ia na clarificação de perfis desejáveis para (futuros) professores de ciências. Ou seja, comunicação e diálogo entre docentes com responsabilidade em programas de formação, acerca de objectos de estudo e de metodologias utilizadas, poderia contribuir para, no contexto do ensino das diversas disciplinas, estimular percursos de reflexão epistemológica de professores dos futuros professores de ciências. Estes percursos são tanto mais necessários quanto maiores as suas carências em saberes na dimensão epistemológica, as quais condicionam sistemas de crenças acerca de conhecimento científico e sua aprendizagem (Hammer, 1995). Importa recordar que actividades realizadas e comportamentos adoptados por professores de ciências em cenários escolares reais são influenciados e condicionados pelos seus pontos de vista acerca da natureza, construção e desenvolvimento do conhecimento científico, bem como do seu ensino e aprendizagem (e.g., Pedrosa *et al*, 1997; ...). Então, reflexão epistemológica constitui um requisito necessário para desempenhos docentes mais consentâneos com a natureza e processos de construção de conhecimento científico, afigurando-se mesmo essencial quando os destinatários são alunos futuros professores de qualquer das ciências. Em contexto e para efeito da orientação e implementação do ensino de disciplinas destes cursos, reflexão epistemológica contribuiria ainda para diminuir distâncias e harmonizar domínios de actividade profissional de docentes universitários, o da investigação e o da docência. Aparentemente, e de um modo geral, discursos de professores-cientistas corroboram observações de Trumbull e Kerr (1993) quanto a carências em conhecimento pedagógico e a contradições nos seus comportamentos de cientistas *versus* de docentes. Ou seja, experiências e vivências no âmbito da investigação, conferindo-lhes autonomia e poder, parecem, no exercício de funções docentes, secundárias ou mesmo esquecidas.

As ciências configuram actividades interactivas, dinâmicas, fluídas e holísticas, com interacção constante entre pensamento e acção (Hodson, 1993). No exercício da sua actividade, designadamente na escolha e implementação de recursos e de estratégias, os cientistas, por um lado, agem racionalmente, com base no seu conhecimento e compreensão teóricos, e, por outro, agem intuitivamente, com base em conhecimento tácito relativo ao *como* a desenvolver. Usam, pois,

compreensão e conhecimento adicionais que, sendo cerne de competências de cientistas criativos, frequentemente se manifestam pouco articulados ou conscientemente aplicados. Isto é, combinam compreensão conceptual, criatividade e conjuntos complexos de características afectivas, de que resultam compromissos e determinação necessários ao desenvolvimento da actividade científica. Hodson (in Aguirre *et al*, 1990), sugerindo três fases na criação de conhecimento científico, realça a importância de os currículos de ciências distinguirem claramente entre geração de hipóteses, por especulação criativa; testagem de hipóteses, por experimentação crítica; e processos sociais de registo e aceitação de conhecimento assim construído.

Conhecimento do desenvolvimento científico refere-se aos *porquês* de se acreditar no que se acredita em ciências, e aos *como* se logrou chegar aí (Duschl *et al*, 1990). É, pois, diferente de conhecimento científico, ou seja, de conteúdos propriamente ditos das diversas ciências. Posições empírico-positivistas, populares entre cientistas até ao início do século XX, sustentavam que conhecimento científico pode descrever-se, em termos absolutos, como *verdadeiro, provado, confirmado, certo e correcto* (Nussbaum, 1989). Reflectem-se ainda hoje em programas *empiricistas* e *logicistas* de ensino das ciências que estabelecem e veiculam a ideia de *um só método científico racional*.

Contudo, as ciências, em vez de se caracterizarem por uma suposta racionalidade dada e pré-definida, consistem em ilhas de conhecimento parcialmente ligadas, cujos conhecimento e racionalidade se vão construindo em simultâneo, com esforço árduo e criativo (Ogborn, 1995). Para tal, basta lembrar a complexidade dos empreendimentos científicos; a variedade de programas e de condições para o seu desenvolvimento; as diferenças em conhecimento, capacidades, competências, criatividade e personalidade dos cientistas (porque indivíduos). Impõe-se, então, a desdogmatização *do método científico*, nomeadamente pelo reconhecimento da diversidade de metodologias e da importância das comunidades científicas na produção e desenvolvimento das ciências. Estas, pelas suas características e heurísticas próprias, não são redutíveis a descrições baseadas em conjuntos de regras e comportamentos simplistas e estereotipados, pré-estabelecidos e sequenciais, inscritos em programas de disciplinas de ciências e divulgados por manuais escolares e professores, sob a designação o *método científico*. No entanto, as concepções epistemológicas de professores de ciências, maioritariamente implícitas (Lederman e O'Malley, 1990) - porque assim ensinadas e aprendidas -, resultam de ideias e crenças difusas, difíceis de verbalizar, adquiridas por currículo oculto e transferência professor - aluno que Pope e Gilbert (1983) designaram *transmissão cultural* - conhecimento apresentado como colecções de verdades, numa pressuposta ordem lógica, para ser absorvido por mentes vazias.

## Mitologia Científica e Ensino das Ciências

Muitos dos mitos acerca das ciências, transmitidos e estimulados pela educação formal, radicam em crenças que conferem carácter seguro e absoluto ao conhecimento científico que, entendido como rígido e estático, não admite margem para questionamento, dúvidas ou hesitações.

A concepção indutivista, a mais clássica das concepções ingênuas (Vázquez e Manassero, 1999), estabelece que os dados obtidos por observação e experimentação são não contaminados, neutros e absolutos. Permitem, por isso, estabelecer por indução as leis que formam o conhecimento científico. Associada a esta, aparecem concepções dogmáticas que, reduzindo as ciências a conjuntos de leis de cumprimento infalível e absoluto, podem corresponder também a concepções acríticas e estáticas, por força da confiança cega na infalibilidade do conhecimento científico e correlacionada ausência de predisposição para o seu questionamento. Concepções que as reduzem a conjuntos de leis e conceitos, expurgando-as, nomeadamente, de conhecimento relativo a contextos económicos, sociais, políticos e militares de cada momento histórico, configuram um mito de neutralidade.

Sobre as concepções acerca da natureza das ciências, Hodson (1993), baseado em estudos realizados com estudantes de países ocidentais, defende que trabalho prático individual conduz a visões incoerentes e distorcidas de metodologias científicas, considerando-o mesmo contraproducente. Argumenta, ainda, fundamentando-se também em investigação, que as concepções inadequadas de professores, condicionadas por experiências de aprendizagem enquanto alunos e reforçadas por mitos propalados em manuais e outros recursos, se repercutem nas dos seus alunos. Contudo, alguns estudos questionam que o tipo de relação entre concepções de professores e de alunos seja uma relação directa entre concepções adequadas de uns e de outros (Lederman, 1992; Mellado, 1998; Mellado e Carracedo, 1993; Vázquez e Manassero, 1997 citados em Vázquez e Manassero, 1999). Afirmando que neste aspecto, como noutros, os professores de ciências são um factor determinante, realça ainda a segurança e conforto quando se acredita num método científico distinto, ou mesmo num algoritmo preciso, para realizar investigações científicas. Argumenta, também, a falta de preparação sentida por muitos professores para estilos de aprendizagem que não envolvam grande orientação e controle. Sustenta, finalmente, que o sucesso do ensino não depende do método, mas do professor e do que este faz - nenhum método é, em si mesmo e por si só, melhor que outros!

Tobin e McRobbie (1996), baseando-se numa investigação realizada em cenário escolar real, no âmbito da química no ensino secundário, identificam e caracterizam como atributos de ensino quatro *mitos culturais*, que se referem a *transmissão de conhecimento, eficiência, manutenção e rigor do currículo e preparação dos alunos para sucesso nos exames*. As dimensões de análise, suas observações e registos, bem como a discussão apresentada, permitem identificar semelhanças entre o professor experiente (nesta investigação) e outros (no nosso país), também experientes e zelosos, que manifestam preocupações e comportamentos próximos dos observados e descritos pelos autores.

Princípios enunciados em documentos relativos a reformas educativas noutros países, particularmente nos EUA, têm correspondência com os publicados no nosso país, no âmbito da última reforma educativa, dela emergentes ou com ela relacionados, designadamente no que respeita a propósitos gerais da educação em ciências no ensino secundário (ver capítulo 3 - *Educar em Escolas Abertas ao Mundo: Que Cultura e Que Condições de Exercício da Cidadania?*). Tendo em conta efeitos da globalização e, entre nós, influências notórias de países anglo-saxónicos,

nomeadamente a nível universitário e no âmbito das ciências, estas semelhanças não são surpreendentes. Muito pelo contrário, são previsíveis e esperadas.

Assim, também conclusões daquela investigação (Tobin e McRobbie, 1996) serão aplicáveis, em maior ou menor grau, ao nosso sistema educativo, designadamente: "[...] os mitos culturais identificados neste estudo não apoiarão visões encapsuladas nos documentos de reforma [...]. Pelo contrário, estes mitos culturais apoiam o *status quo* e constituem uma força conservadora para muitas das mudanças recomendadas (pg.239). [...] Muitos dos mitos culturais associados à implementação curricular podem ser pensados em termos de conjuntos de referentes interactuantes e relacionados com a natureza do conhecimento e a distribuição de poder através do sistema educativo" (pg.238).

### Mitos no Ensino das Ciências - Superação

Operacionalizar mudanças reclamadas por metas educativas traçadas em documentos oficiais, bem como por propostas baseadas em estudos de investigação em didáctica das ciências, exige, antes de mais, a identificação de mitos culturais que podem, na prática, constituir-se como obstáculos. Em particular, importa reflectir sobre estes no que se refere a (a) conhecimento - como o construir e desenvolver, (b) distribuição de poder no sistema educativo, (c) inter-relações e interdependências entre conhecimento e distribuição de poder. Por outro lado, emergindo os currículos de ciências de matrizes sócio-económico-culturais mais vastas e complexas que os sistemas educativos propriamente ditos, a concretização de tendências inovadoras inscritas em movimentos de reforma educativa requer clarificação e discussão de sistemas de crenças e de valores que apoiem e incentivem essas mudanças (Tobin e McRobbie, 1996). Destes sistemas, destacam-se os de inspiração construtivista e metacognitiva (e.g., Fensham, *et al*, 1994; Glasersfeld, 1996) pela relevância para eac e pelo seu potencial para ajudar a concretizar tendências inovadoras.

Correntes construtivistas questionam e contestam orientações de ensino tradicionais, designadamente o carácter absoluto atribuído ao conhecimento, realçam a importância de teorias interpretativas e sua construção para perceber o mundo, interpretar e reinterpretar essas percepções. Substituindo o absolutismo de tradições empírico-positivistas, sob a designação de *construtivismo*, desfrutam hoje de grande aceitação nomeadamente entre investigadores em didáctica das ciências. *Construtivismo* engloba diferentes correntes que se distinguem pelo modo como se caracteriza e define racionalidade científica (Nussbaum, 1989).

A normatividade das ciências, materializada em múltiplas metodologias, viabiliza a construção de intersubjectividades requeridas nos vários processos de validação, criados e reconhecidos nas comunidades de especialistas. Assim, na sua construção e desenvolvimento, as ciências, património comum da humanidade, assumem normatividades próprias. Da prática científica ressalta claramente que os procedimentos seguidos num dado momento podem melhorar-se, sem que isto signifique percursos à margem da razão ou contra a racionalidade normativa que permite discussão e confronto intersubjectivos (Molero, 1999).

Nas práticas científicas, o papel proeminente da linguagem, na comunicação entre especialistas ou em todos os cenários escolares, é relevado por estudos de aprendizagens em contextos de ciências. Estes têm vindo progressivamente a centrar-se em processos discursivos e de linguagem, mais gerais, "e.g., colocar questões para investigar, observar fenómenos, articular interpretações relevantes, decidir acções colectivas, elaborar argumentos que apoiem determinadas posições, questionar resultados experimentais" (Crawford *et al*, 2000). Linguagem e discurso vão, pois, sendo revalorizados em actividades de eac que integrem abordagens investigativas de resolução de problemas (que não meros exercícios!). Estas, contemplando percepções e perspectivas dos alunos e realçando processos para a sua identificação, selecção e compreensão, proporcionam *ensino por pesquisa* segundo Cachapuz *et al* (2000), ou seja, percursos colectivos de construção de soluções, disciplinares e multidisciplinares, educacional e culturalmente relevantes. Desenvolvem-se, assim, actividades mais consentâneas com práticas científicas, nomeadamente no que se refere a processos relacionais e comunicacionais, que contribuirão para reduzir a incidência de concepções ingénuas de ciências, uma vez que se pressupõem desenvolvidas cooperativamente por alunos com orientação, mediação e ajuda do professor. Permitem, de facto, criar oportunidades de comunicação e discussão, nos processos e recursos utilizados, nos dados obtidos, com referência aos problemas seleccionados, seu tratamento e discussão, tendo em vista a elaboração fundamentada de respostas - incluindo redefinição/definição dos problemas. Estas actividades indiciam, pois, epistemologias substancialmente diferentes das subjacentes a orientações tradicionais de ensino das ciências. Por outro lado, sendo mais consentâneas com propósitos e modos de trabalhar de cientistas, representam certamente contributos valiosos para ajudar a construir imagens públicas mais adequadas das ciências, porque menos dogmáticas, menos autoritárias e menos ingénuas.

Emerge, então, a necessidade de intervenções consistentes e articuladas, que evidenciem a natureza reconstrucionista do conhecimento científico, destacando o valor da crítica e cepticismo no seu desenvolvimento, o papel das comunidades científicas na sua validação, bem como a complexidade de relações entre cientistas, e entre estes e outros sectores e poderes socialmente organizados (Vázquez e Manassero, 1999). Mais, a concretização destas intervenções e o seu (grau de) êxito vai depender da formação do professor e das suas concepções acerca da natureza do conhecimento científico e seu desenvolvimento, da actividade científica, dos cientistas e das próprias ciências que ensinam. No entanto, formação de professores não poderá limitar-se a simples informação sobre estes temas que, sendo necessária, é largamente insuficiente. Requer envolvimento dos professores em programas susceptíveis de os ajudar a identificar e a compreender mitos acerca de ciências e empreendimentos científicos, a tomar consciência da inadequação de concepções ingénuas e a construir outras mais adequadas e consistentes com modelos de ciências que viabilizem ensiná-las com coerência (Izquierdo, 1996 citada em Vázquez e Manassero, 1999).

As ciências escolares devem, então, contemplar actividades cuidadosamente pensadas e planeadas, coerentes com modelos filosoficamente válidos: "[...] não indutivismo, não ciência como um conjunto algorítmico de processos discretos, não visões estritamente *Popperianas*, mas um modelo de ciência que, no mínimo, reconhece a falibilidade de observação e experiência e sua dependência de teoria,

incorpora consciencialização dos meios pelos quais o conhecimento é negociado na comunidade científica, reconhece que ciência é influenciada por considerações sócio-económicas, culturais e políticas, morais e éticas, e distingue entre teorias realistas (que pretendem explicar) e modelos instrumentalistas (que procuram prever e estabelecer uma medida de controle)." (Hodson, 2000, pg. 37).

Estabelecer o que deve ser considerado, no contexto e para efeitos de educação escolar, sob a designação *natureza das ciências* não é simples, muito menos incontroverso. Randy *et al* (2000) sugerem formas gerais como "[...] epistemologia das ciências, ciência como um meio de conhecer, ou valores e crenças subjacentes ao desenvolvimento do conhecimento científico [...]" (Pg. 564). Argumentam com a vantagem de não merecer oposição de filósofos, historiadores de ciência e educadores de ciências que discordam de definições específicas para *natureza das ciências*. A este nível de generalidade, defendem que se pode relacionar conhecimento de ciências com decisões quotidianas referentes a questões de base científica, bem como definir-se e discutir-se aspectos de empreendimentos científicos acessíveis a estudantes do ensino secundário e consonantes com recentes movimentos de reforma do ensino das ciências: "[...] o conhecimento científico é (a) "tentativo" (sujeito a mudanças); (b) empírico (baseado e/ou derivado de observações do mundo natural); (c) subjectivo (plasmado pela teoria); (d) parcialmente produto de inferência humana, imaginação, e criatividade (envolve invenção de explicações); e (e) enraizado social e culturalmente, e envolve necessariamente combinação de observações e inferências. A função de teorias científicas e de leis, e a relação entre elas, é um aspecto adicional, que se relaciona fortemente com a compreensão do papel da observação e da inferência e que, de momento, os documentos de reforma não consideram. O conjunto destes sete aspectos dá um perfil de empreendimentos científicos." (*ibid*, pg. 564). Na apresentação deste *perfil de empreendimentos científicos*, referem forte inter-relação entre os sete aspectos mencionados e distinguem entre *processos científicos* e *natureza das ciências*, embora reconheçam: (i) para os alunos aprenderem, ambos são importantes; (ii) sobreposição entre eles; (iii) apreciáveis interações entre eles. *Processos científicos*, como, por exemplo, observação e inferência, dizem respeito a actividades relacionadas com recolha e interpretação de dados e elaboração de conclusões. Já a *natureza das ciências* refere-se "aos compromissos epistemológicos subjacentes às actividades", pelo que, compreender que as observações são condicionadas pelos órgãos dos sentidos e que as teorias as influenciam, ou seja, que as observações são intrinsecamente dependentes de teorias, faz parte dum determinado entendimento da natureza das ciências.

## Formação de Professores de Ciências - Implicações

Como já se referiu, na generalidade dos países ocidentais, movimentos de reforma educativa e estudos de investigação em didáctica das ciências têm em vista promover literacia científica de crianças e jovens e compreensão pública das ciências e de empreendimentos científicos. Convergem em propostas e recomendações para eac que, integrando inter-relações CTS, contemplem estratégias de mudança e de desenvolvimento conceptuais. No entanto, ocorrendo a formação escolar da generalidade dos professores sob o signo da meritocracia liberal (Seddon, 1991), cujos currículos e professores veiculam epistemologias

consonantes com os grandes mitos e dogmas que o neopositivismo popularizou (Porrúa e Pérez-Frois, 1993), não é plausível admitir-se que estejam em condições de conceber e implementar actividades com tais propósitos. Impõe-se, então, programas de formação, inicial e continuada. Neste âmbito e nos papéis das instituições de ensino superior, é manifesta a sintonia entre princípios expostos na *Lei de Bases do Sistema Educativo* e as expectativas criadas pela legislação dela decorrente. No entanto, algumas destas instituições aparentam primar pelo alheamento dos problemas educativos, particularmente dos ensinamentos básicos e secundário, mormente os que se relacionam com eventuais carências formativas dos professores. Quando alguém ignora e/ou se alheia de problemas, só por acaso poderá contribuir eficazmente para os resolver. Êxitos em empreendimentos educativos dependem de diversas circunstâncias, algumas atribuíveis a conjunturas favoráveis, fazendo então sentido falar-se de factores de êxito destes empreendimentos. Todavia, só muito raramente, se é que alguma vez, tal confluência de factores é obra do acaso! Então, instituições de formação, ao alhearem-se de problemas educativos, não assumem, com profissionalismo necessário e pressuposto no ordenamento jurídico (ver capítulo 3), as responsabilidades que lhes cabem na formação contínua, sejam quais forem as acções em que oficialmente se envolvam. Por outro lado, as instituições de ensino superior, formalmente responsáveis pela formação inicial, têm quotas de responsabilidade, eventualmente diferentes e variáveis de instituição para instituição, em alguns problemas de aprendizagem de estudantes de níveis de ensino não superior, designadamente do ensino secundário. Assim, as responsabilidades tornam-se iniludíveis e incontornáveis, quanto mais não seja por força da ignorância ou alheamento referidos, com tudo o que isso significa e implica.

Sublinhe-se que esta situação carece de profunda reflexão de profissionais e especialistas, com saberes e experiências diversificados, empenhados em encontrar formas e meios necessários a urgentes mudanças de rumo. Estas, requerendo tradução nas práticas de ensino, enfrentam múltiplos obstáculos, o principal dos quais parece convergir, frequentemente, em rotinas características do *status quo*.

Não é razoável, nem eticamente aceitável, pretender-se que os professores orientem actividades de ensino e aprendizagem que integrem genuína identificação e resolução de problemas, particularmente os educacionais e culturalmente relevantes, quando carecem de vivências inspiradoras ou modelares de ensino das ciências com essa orientação. Assim, deve incentivar-se programas de formação continuada de professores de ciências que explicitamente se orientem neste sentido, devendo mesmo considerá-los prioritários. Não o fazer e, ao mesmo tempo, pretender-se mudanças educativas com tais orientações, não pode deixar de ter implicações negativas previsíveis. Pedir a alguém que faça algo que desconhece, nem é intelectualmente defensável, nem, como já se referiu, eticamente aceitável! Como os professores de ciências são pessoas, em processos de formação e desenvolvimento pessoal e profissional, tem de se lhes aplicar princípios referentes à aprendizagem humana. Em particular, antes de se legislar, impor ou pressionar, mesmo que subtilmente, para os utilizarem na sua actividade docente, deve reconhecer-se, na prática, a necessidade de vivenciarem processos educativamente inovadores. Ou seja, antes de se lhes propor, ou impor, a implementação de actividades inovadoras de ensino e de aprendizagem dos seus

alunos, criem-se-lhes oportunidades para que vivenciem genuínas inovações educativas - processos e recursos que desconhecem, ou conhecem insuficientemente.

No "Programa de Formação no Ensino Experimental das Ciências"/1999, pretendeu-se criar e desenvolver iniciativas que efectivamente introduzam uma dimensão investigativa no eac, tornando-as, quer aos olhos dos professores quer aos dos alunos, "mais reais, compensadoras e práticas" (Rop, 1999, pg. 235). Conceberam-se e implementaram-se actividades com preocupações de desenvolvimento sustentável como meio para "desenvolvimento integral: mental, atitudinal e comportamental no sentido de um crescimento permanente do ser humano, como pessoa em harmonia com o seu meio [...] e em sintonia com a vida [...]" (Molero, pg. 106).

Uma tal orientação significa e implica, relativamente ao ensino tradicional, considerável acréscimo de trabalho para os professores e maiores exigências para desempenhos profissionais coerentes. São, por isso, susceptíveis de gerar sentimentos negativos, como desconforto, receio, frustração, desânimo ou angústia, eventualmente decorrentes de o professor "[...] se sentir vencido por um conjunto de saberes que, com certeza, ultrapassa as possibilidades de um ser humano" (Carvalho e Pérez, 1995, pg. 18). Estes sentimentos, inibindo esforços necessários à adopção de metodologias mais consentâneas com perspectivas actuais das ciências e à selecção de actividades passíveis de despertar interesse dos alunos, tendem a perpetuar práticas docentes tradicionalistas e rotineiras. Pode, então, inviabilizar-se o seu questionamento e reflexão - processos indispensáveis nas roturas que antecedem inovações conscienciosas, criteriosas e duradouras. Até porque os professores tendem a reproduzir modelos de actuação a que foram expostos na sua própria formação (e.g., Claxton, 1991). Assim, para orientarem o seu ensino como actividade de definição e de resolução de problemas, têm de introduzir genuínas dimensões investigativas no eac. Para tal, é imprescindível o seu envolvimento em actividades com orientação idêntica. Definir e resolver, ainda que parcialmente, problemas pessoal e/ou socialmente relevantes que, simultaneamente, proporcionem implementação dos currículos escolares e promovam aprendizagens significativas pressupõe e requer articulação e integração de dimensões teóricas e práticas. Molero (1999) adverte para problemas relacionados com tendências dicotomizadoras do tipo "teoria *versus* prática, conhecimento de senso comum *versus* conhecimento académico, etc." (pg. 191).

Programas de formação contínua de professores de ciências devem suprir carências de formação inicial, designadamente, em conhecimento e competências investigativas, bem como em conhecimento e competências necessários para integrar inter-relações CTS em aulas de ciências. Programas estes que, no contexto das actividades planeadas e desenvolvidas, estimulem reflexão e discussão de diversas perspectivas de ensino das ciências, das tradicionais às construtivistas, incluindo propostas que, no contexto de efectiva identificação, selecção e resolução de problemas, visem integrar inter-relações CTS na implementação dos currículos escolares. Pelo seu potencial como auxiliares de reflexão e discussão epistemológica para professores (e para formadores de professores), recomenda-se Canavarro (1999 e 2000), Cachapuz *et al* (2000) e Carvalho e Pérez (1995) - bibliografia pertinente, actualizada e em português. Afigura-se crucial proporcionar contextos que os estimulem a estudar assuntos de outras áreas

disciplinares (incluindo outras ciências), a desenvolver competências de comunicação (oral e escrita), de discussão e de trabalho cooperativo em grupo, e a questionarem-se sobre atitudes e comportamentos. Atenuam-se, assim, carências formativas e promove-se desenvolvimento profissional compatível com mudanças de práticas docentes que aqui se têm vindo a defender.

Práticas docentes centram-se na globalidade das acções e comportamentos de cada professor em cenários e desempenhos educativos. Alicerçando-se no entendimento do professor sobre propósitos, objectivos, currículos, escola e alunos, bem como do seu papel, das suas forças e das suas fraquezas, são centrais no funcionamento de qualquer sistema (Bybee, 1997). A centralidade das práticas docentes faz emergir o papel proeminente dos professores, não só no funcionamento de qualquer sistema educativo, mas também na efectivação de mudanças educativas.

Alinhamento de materiais curriculares, avaliações, práticas e desenvolvimento profissional enquadram-se na tendência actualmente dominante de melhorar programas e práticas. Contudo, "Uma questão crítica nesta reforma centra-se em quatro Cs - coordenação, consistência, coerência, e colaboração - entre as várias componentes do sistema de educação em ciências." (*ibid*, pg. 228). Um dos desafios do poder político em qualquer mudança educativa, por exemplo de ciências, é proceder de modo a aumentar consistência e coerência no sistema, traduzindo propósitos - além de objectivos, incluem uma lógica para educação em ciências - em decisões e medidas concretas, aplicando-os a sub-sistemas (e.g., disciplinas ou formação de professores) e estabelecendo ligações entre propósitos, programas de acção e seu desenvolvimento.

Iniciativas e intervenções temporárias e avulsas não logram mudanças, epistemologicamente coerentes e fundamentadas, no eac que promovam, de forma consistente e duradoura, literacia científica de crianças e jovens estudantes. "Uma, duas ou três afirmações políticas, programas de ciências, ou pacotes para avaliação não serão bem sucedidos para melhorar as ciências escolares. A escala do sistema, a dispersão de poder, e a variação de estudantes, professores e escolas são demasiado grandes." (*ibid*, pg. 232). Políticas e economias contemporâneas, carência de reconhecimento público do papel crítico da educação na formação e desenvolvimento dos cidadãos e da sociedade em geral contam-se entre os obstáculos ao desenvolvimento de programas articulados e coerentes, passíveis de lograr tais mudanças. Mas... "[...] os educadores claramente fizeram muito pouco para melhorar a compreensão pública da educação. Educadores têm adoptado qualquer *slogan*, tendência, e o que se possa imaginar que se fixe rapidamente, só para descobrir que todos falharam na resolução de problemas." (*ibid*, pg. 230).

A resolução de problemas de aprendizagem das ciências, embora dependente de convergência de perspectivas de vários centros de decisão e articulação de esforços de muitos e diversificados profissionais, passa necessariamente por reflexão epistemológica, discussão e diálogo entre membros activos de comunidades científico-educativas, com responsabilidades a vários níveis em formação de professores para os ensinamentos básico e secundário. Reclama, também a este nível, quiçá sobretudo a este nível, *Mudanças de Práticas de Ensino das Ciências*, fundamentadas em (e catalisadas por) *Reflexão e discussão Epistemológica*.

## Agradecimento:

Pela disponibilidade para ler versões anteriores e pelas críticas e sugestões exprimimos o nosso apreço e agradecemos à Helena Dias.

## Referências Bibliográficas

Porrúa, J. C., Pérez-Frois, M.(1994). *Epistemología y Formación del Profesorado*. Em Martins, I. P. (Coord.). *Actas do IV Encontro Nacional de Docentes de Ciências da Natureza*. Universidade de Aveiro, 64-72.

Aguirre, J. M., Haggerty, S. M., Linder, C. J.(1990). *Student-Teachers' Conceptions of Science, Teaching and Learning: a Case Study in Preservice Science Education*. *International Journal of Science Education*, 12(4), 381-390.

Aikenhead, G. S. (1996). *Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science*. *Studies in Science Education*, 27, 1-52.

Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy: from Purposes to Practice*. Portsmouth, Heinemann.

Cachapuz, A. F., Praia, J. F., Jorge, M. P. (2000). *Perspectivas de Ensino das Ciências*. Porto, Centro de Estudos de Educação em Ciência.

Canavarro, J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Coimbra, Quarteto Editora.

Canavarro, J. M. (2000). *O que se Pensa sobre a Ciência*. Coimbra, Quarteto Editora.

Carvalho, A. M. P., Gil-Pérez, D. (1995). *Formação de Professores de Ciências: Tendências e Inovações* (2ª ed). São Paulo, Cortez Editora.

Claxton, G. (1991). *Educating the Inquiring Mind: The Challenge for School Science*. London, Harvester Wheatsheaf.

Crawford, T., Kelly, G. J., Brown, C. (2000). *Ways of Knowing beyond Facts and Laws of Science: an Ethnographic Investigation of Student Engagement in Scientific Practices*. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(3), 237-258.

Duschl, R. A., Hamilton, R., Grandy, R. E. (1990). *Psychology and Epistemology: Match or Mismatch when Applied to Science Education?* *International Journal of Science Education*, 12(3), 230-243.

Fensham, P., Gunstone, R., White, R. (1994). *The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*. London, Falmer Press.

Glaserfeld, V. E. (1996). *Construtivismo Radical: uma Forma de Conhecer e Aprender*. Lisboa, Instituto Piaget.

Hammer, D. (1995). *Epistemological Considerations in Teaching Introductory Physics*. *Science Education*, 79(4), 393-413.

Hodson, D. (1993). *Re-thinking Old Ways: Towards a More Critical Approach to Practical Work in School Science*. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.

Hodson, D. (2000). *The Place of Practical Work in Science Education*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 29-42.

Lederman, N.G., O'Malley, M. (1990). *Students' Perceptions of Tentativeness in Science: Development, Use, and Sources of Change*. *Science Education*, 74(2), 225-239.

Molero, F. M. (1999). *La Didáctica ante el Tercer Milenio*. Madrid, Editorial Síntesis, S. A.

Novak, J. D., Gowin, D. B. (1996). *Aprender a Aprender*. Lisboa, Plátano Edições Técnicas.

Nussbaum, J. (1989). *Classroom Conceptual Change: Philosophical Perspectives*. *International Journal of Science Education*, 11(special issue), 530-540.

Ogborn, J. (1995). *Recovering Reality*. *Studies in Science Education*, 25, 3-38.

Pedrosa, M. A., Dias, M. H., Rebelo, I. S., Veiga, J. (1997). *Concepções Epistemológicas e de Bom Professor de Ciências*. Em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 931-950.

Pope, M., Gilbert, J. (1983). *Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science*. *Science Education*, 67(2), 193-203.

Randy, L. B., Lederman, N. G., Abb-El-Khalick, F. (2000). *Developing and Acting upon One's Conception of the Nature of Science: A Follow-Up Study*. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6) 563-581.

Rop, C. J. (1999). *Student Perspectives on Success in High School Chemistry*. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 221-237.

Seddon, T. (1991). *Rethinking Teachers and Teacher Education in Science*. *Studies in Science Education*, 19, 95-117.

Sutton, C. (1997). *Ideas sobre la Ciencia e Ideas sobre el Lenguaje*. *Alambique - Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 12, 8-12.

Tobin, K., McRobbie, C. J. (1996). *Cultural Myths as Constraints to the Enacted Science Curriculum*. *Science Education*, 80(2), 223-241.

Trumbull, D. J., Kerr, P. (1993). *University Researchers' Inchoate Critiques of Science Teaching: Implications for the Content of Preservice Science Teacher Education*. *Science Education*, 77(3), 301-317.

Vázquez, A. Á., Manassero, M. A. M. (1999). *Características del Conocimiento Científico: Crecias de los Estudiantes*. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 377-395.

## 1.4 Educação em Ciências e Trabalho Experimental: Emergência de uma nova concepção\*

ANA MARIA F. GUIMAS DE ALMEIDA

Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa

A relevância do trabalho experimental na educação em ciências tem sido amplamente reconhecida por cientistas, investigadores, professores e outros profissionais ligados à educação, desde a introdução do estudo das ciências nos *curricula* educativos, que data do início do século dezanove.

Todavia, a designação comum de "trabalho experimental" envolve alguma ambiguidade. A esta designação podem estar associadas concepções diversas, decorrentes da perspectiva com que se encara a educação em ciências, e, portanto, o ensino e a aprendizagem das ciências e os valores educativos que se lhe reconhece, bem como das perspectivas epistemológicas subjacentes à natureza da ciência que se ensina e aos processos de trabalho científico.

Assim, falar do papel do trabalho experimental na educação em ciências pressupõe compreender quais os pressupostos psico-pedagógicos e epistemológicos em que assentam as concepções e práticas correntes de trabalho experimental, bem como os problemas e críticas que têm levantado. Pressupõe, ainda, compreender de que modo é que a assunção da pertinência das actuais perspectivas sobre a epistemologia da ciência e teorias da aprendizagem influi na perspectiva da educação em ciências e, conseqüentemente, na natureza e papel do trabalho experimental na ciência escolar. Estas são as vertentes estruturantes do texto que se segue.

\* Texto adaptado de "Papel do Trabalho Experimental vs as Perspectivas Epistemológicas em Física", publicado pela autora em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 257-272.

## 1. Perspectivas sobre a natureza da educação em ciências

### 1.1. *Abordagem tradicional da educação em ciências*: uma abordagem centrada nos conteúdos.

Tradicionalmente o ensino das ciências tem colocado a ênfase na instrução formal de um corpo de conhecimentos bem definido, suportada por uma lógica de "transmissão cultural" (Pope e Gilbert, 1983) dos conteúdos da ciência, entendidos como produtos acabados, certos e infalíveis e, como tal, inquestionáveis, não problemáticos e não negociáveis. Trata-se de um ensino baseado apenas na estrutura dos conteúdos científicos, que pressupõe que uma organização bem elaborada em termos de relações formais entre os conceitos científicos possibilitará aos alunos desenvolver essa estrutura conceptual.

Esta perspectiva de transmissão cultural configura um ensino verbalista assente quase exclusivamente na exposição oral dos conteúdos científicos pelo professor.

Esta abordagem da educação em ciências, ainda muito presente nos dias de hoje nas nossas escolas, desenvolve-se na base de determinados pressupostos psico-pedagógicos e epistemológicos.

Em termos psico-pedagógicos, assenta no pressuposto de que a aprendizagem ocorre através de um processo de acumulação de informações, cuja compreensão é normalmente avaliada em termos da sua capacidade de memorização, ou seja, de reprodução das informações e aplicação das regras definidas (Almeida, 1996). Em termos epistemológicos, radica na ideia de que os conhecimentos são exteriores a nós e de que para os aprender é suficiente utilizar os órgãos dos sentidos, nomeadamente ouvir e ver com atenção. Esses conhecimentos, supostamente baseados em "factos objectivos", são apresentados como uma sinopse de resultados empíricos que traduzem a realidade tal como ela é, sob a forma de enunciados e frases recitadas. Os conceitos, leis e teorias não são associados às actividades intelectuais inerentes à sua produção e aplicação.

Instruir-se é, portanto, acumular dados sobre a realidade. Neste contexto, não se reconhece ao aluno um papel constitutivo na aquisição de conhecimentos mas, sobretudo, é visto como um depositário de conhecimentos.

Subjacente a este cenário está uma epistemologia empirista-indutivista que se articula à volta, por um lado, dos conceitos de verdade, de objectividade e de evidência como atributos específicos do conhecimento científico e, por outro, da passividade cognitiva do sujeito face a esses conhecimentos.

As críticas de que tem sido alvo esta abordagem da educação em ciências, sobre os seus pressupostos teóricos e eficácia em termos da aprendizagem dos conteúdos da ciência, como em termos da formação dos jovens, conduziram, em meados do século vinte, a um forte movimento de renovação curricular, que assumiu o seu expoente máximo nos anos 60 e 70, sobretudo, em Inglaterra e nos EUA.

## 1.2. Uma abordagem centrada nos processos: uma tentativa de renovação curricular

Este movimento, constituído em oposição a uma abordagem centrada nos conteúdos da ciência, coloca a ênfase na aprendizagem dos processos da ciência, argumentando-se, por um lado, que deste modo o ensino e aprendizagem das ciências se torna mais aliciante e acessível a um maior número de alunos, contribuindo para aumentar o interesse pelas ciências e o seu sucesso na aprendizagem, e, por outro, o facto de possibilitar o desenvolvimento de capacidades relevantes para a formação dos jovens, transferíveis para outros contextos.

Com esta ênfase nos processos e atitudes científicas, suportado por referências explícitas à aprendizagem por "descoberta", o ensino das ciências consistiria fundamentalmente na organização de actividades centradas sobre a descoberta de conceitos e leis a partir de dados certos e objectivos obtidos por utilização generalizada do "método científico", também designado por "método experimental".

Procura-se com este modelo de aprendizagem por descoberta conciliar teses empiristas-indutivistas sobre a natureza da ciência e o seu processo de produção e teses behavioristas sobre a "engenharia" educativa com teses emergentes de outras correntes epistemológicas e psicológicas. Como salientam Santos e Praia, procede-se a «registos cumulativos, adaptando ao quadro conceptual de base conceitos como o de "actividade", retirados a um construtivismo emergente» (Santos e Praia, 1992, p.17).

Consonante com este quadro conceptual, advoga-se «a acção, o fazer, a construção,... contra o verbalismo e o dogmatismo» (Santos et Praia, 1992, p.17), enfatizando a percepção em detrimento da reflexão, na suposição de que os alunos aprendem, descubram por si sós qualquer conteúdo científico por indução a partir dos dados de observação.

O indutivismo extremo em que o modelo incorria, a falta de atenção dada aos conteúdos, a insistência na pretensa actividade de descoberta dos alunos traduziram-se em resultados negativos, quer no que se refere à aquisição de conhecimento, quer em relação à compreensão da natureza da ciência, quer ainda à aprendizagem dos próprios processos da ciência. Critica-se especialmente a pretensão de ensinar os processos da ciência (observar, classificar, inferir e hipotetizar, etc.) como entidades discretas, independentes do conteúdo, argumentando-se que o seu ensino deve estar inextricavelmente ligado a um conhecimento de base e a determinados propósitos e, deste modo, constituírem meios que propiciem o envolvimento activo dos alunos no processo de aprendizagem.

Face ao fracasso global desta abordagem, vários investigadores e educadores neste campo (Hodson, 1985, 1993; Driver, 1983; Brook, Driver e Johnston, 1989; entre outros) propõem uma renovação curricular e metodológica da educação em ciências fundamentada num novo quadro de referência baseado em teses e princípios da epistemologia contemporânea e da psicologia cognitivista.

Este quadro de referência pode-se identificar, de acordo com Gil Perez (1992), com as propostas construtivistas pois, como refere, estas propostas têm mostrado

uma grande capacidade integradora das teses epistemológicas de pensadores contemporâneos como Bachelard, Kuhn, Lakatos, Popper, às perspectivas construtivistas da aprendizagem propostas por Kelly, passando pelos trabalhos de Piaget e Vygotsky.

### 1.3. A educação em ciências como uma abordagem holística e investigativa

Segundo Bruner, a ciência deve ser ensinada de modo a que reflecta e ilustre a estrutura conceptual e metodológica da própria ciência. Esta necessidade de uma abordagem holística da ciência é claramente evidenciada por Woolnough (1989) pois, como argumenta, centrar o ensino da ciência nas suas partes não significa que se ensine ciência, ou, como ele próprio afirma, o todo é mais que a soma das partes e é diferente. Nesse sentido, considera que a ciência, tal como o ensino da ciência, deve ser vista como uma actividade holística de resolução de problemas - "holistic problem-solving activity"- onde ocorre uma interacção contínua entre o conhecer e o fazer.

De igual modo, Brook, Driver e Johnston (1989) salientam que, uma vez que a ciência não se restringe à descrição de fenómenos e acontecimentos do mundo natural, mas envolve também ideias e modelos desenvolvidos pela comunidade científica para prever e interpretar esses acontecimentos, assim como os processos através dos quais essas ideias são desenvolvidas e avaliadas, a aprendizagem da ciência deve envolver estas duas componentes da ciência: as interpretações que a comunidade científica faz dos fenómenos e os processos através dos quais essas interpretações mudaram e continuam a mudar.

Por outro lado, situando-nos numa perspectiva construtivista da aprendizagem, equivale a reconhecer que o progresso do conhecimento dos indivíduos, bem como do conhecimento científico, se faz por processos de transformação e reconstrução dos dados em função dos seus próprios sistemas cognitivos, dotados de uma lógica e coerência interna específicas e regidos por condições motivacionais, atitudinais e compreensivas diferentes (Ruiz, 1991). Deste modo, o processo de construção pessoal da realidade implica o sujeito na sua totalidade: envolve não só elementos cognitivos, mas outros de cariz afectivo (como interesses, emoções, auto-conceito, ansiedade) e de cariz moral (valores), que podem funcionar como activadores ou inibidores do desenvolvimento prático de planos de acção.

Neste processo, a actividade comunicativa e os aspectos sócio-culturais destacam-se como conformadores da natureza do sujeito, dos objectos, dos significados e do próprio processo de construção do conhecimento. Pode assim dizer-se que, de acordo com estas perspectivas, o conhecimento científico, como o conhecimento pessoal, é uma construção humana, pessoal e social.

Neste contexto, o aluno é considerado o principal responsável pela sua própria aprendizagem. Mais do que um receptor ou processador passivo de informação, a perspectiva construtivista vê o aluno envolvido activamente na construção de significados, confrontando o seu conhecimento anterior com novas situações e, se for caso disso, (re)construindo as suas estruturas de conhecimento. A forma como uma situação é construída depende das características da situação, como dos esquemas interpretativos usados e dos contextos de aprendizagem criados.

A aprendizagem pressupõe, deste modo, uma articulação feita pelo aluno entre o novo e o que já sabe e, portanto, a mobilização dos seus saberes e das suas próprias estratégias de aprendizagem.

Neste quadro de referência, a dicotomia entre processos e conteúdos na configuração da educação em ciências perde qualquer sentido. De facto, ao admitir-se que a aprendizagem é um processo de construção pessoal e social, a aprendizagem de uma forma significativa do que é tradicionalmente considerado como conteúdos envolve o aluno num processo activo de construção do conhecimento, fazendo uso dos processos de trabalho científico.

De igual modo, aquilo que se convencionou chamar de processos científicos (por exemplo, observar, classificar, interpretar) não pode ser utilizado isoladamente ou de uma forma neutral, na medida em que se fundamentam nos conhecimentos e experiências prévias dos alunos.

A aprendizagem da ciência não pode, assim, ser caracterizada nem pela aprendizagem dos conteúdos, nem pela aprendizagem dos processos, mas pela sua interação dinâmica em situações de aprendizagem que possibilitem aos alunos mobilizar os seus saberes conceptuais e processuais no desenvolvimento de processos investigativos e, deste modo, construir e reconstruir continuamente e progressivamente a sua compreensão do mundo.

## 2. Emergência de uma nova concepção de trabalho experimental

### 2.1. **Concepções correntes de trabalho experimental:** demonstrações, verificações experimentais e actividades de "descoberta"

Dos estudos realizados em Portugal ao nível da caracterização do ensino experimental das ciências (Cachapuz *et al.*, 1989; Miguéns, 1991; Valente *et al.*, 1989, Almeida, 1995) evidencia-se, por um lado, a fraca utilização de trabalho experimental nas aulas de ciências e, por outro, a predominância de demonstrações e verificações experimentais. Pode assim dizer-se que este tipo de actividades, a par das designadas actividades de "descoberta", correspondem às concepções e práticas correntes de trabalho experimental enquadradas numa abordagem da educação em ciências centrada nos conteúdos ou nos processos da ciência.

As demonstrações e verificações são modalidades de actividades experimentais de estilo confirmatório do tipo "experimente para mostrar que..." ou "prove que...", em que o produto da actividade é, em ambos os casos, corroborativo de uma teoria previamente ensinada.

Nas verificações, os resultados experimentais a obter estão já definidos à partida pelo professor, sendo a sua obtenção assegurada por via de um procedimento experimental estruturado com esse fim pelo professor e que os alunos terão que seguir. O professor assume a iniciativa do planeamento da actividade, a definição do princípio de análise dos dados e sua exploração e, portanto, o controlo de todas as fases estruturantes da actividade, com excepção da execução do

protocolo experimental que é feita pelos alunos, normalmente organizados em grupo, com vista à recolha de dados pré-determinados.

As demonstrações, tal como as verificações, são actividades fechadas e altamente estruturadas, mas realizadas pelo professor. O professor realiza a experiência, descreve as observações e/ou formula questões; os alunos observam, relatam e escrevem explicações do que observam ou respondem a questões relacionadas com o que observam. São actividades cuja concepção, realização e exploração estão centradas no professor.

Trata-se, portanto, de actividades complementares da transmissão de informação pelo professor, que visam demonstrar, ilustrar ou verificar os conteúdos científicos transmitidos, em estrita coerência com a perspectiva de transmissão cultural da abordagem tradicional da educação em ciências.

Por sua vez, com as designadas actividades de "descoberta", que se assumiram como estratégias alternativas às práticas tradicionais no quadro da renovação curricular da educação em ciências centrada nos processos, visava-se fundamentalmente colocar o aluno na posição de "ser um cientista", ou seja, «pôr o aluno no papel de investigador, dando-lhe oportunidade para realizar experiências e testar ideias por si próprio» (Driver, 1983, p.vii).

Este método da descoberta, que mais não é que uma pretensa reprodução do "método científico", é considerado como um meio através do qual os alunos podem vivenciar os processos da ciência a fim de desenvolver conceitos e factos, antes de lerem ou ouvirem qualquer informação, quer de livros, quer do professor. Presume-se que a autoridade não reside no professor, mas nas respostas que provêm dos materiais.

Assume-se como pressuposto fundamental que há um método científico que pode ser facilmente caracterizado e ensinado. Um método com uma estrutura sequencial de etapas discretas, precisas e fixas, hierarquicamente organizadas: observação, hipótese, experimentação, resultado, interpretação, conclusão. Percorrendo as fases perfeitamente definidas deste processo linear e repetitivo, pretende-se que os alunos "descubram", a partir de regularidades observadas, os conceitos e teorias científicas que os cientistas levaram anos a construir, como nos mostra a história da ciência.

Para Hodson (1985), a utilização do método da descoberta traduz-se na adopção generalizada de processos indutivos, que, para evitar a armadilha das experiências escolares tradicionais que servem meramente para confirmar o conhecimento teórico, caem noutra armadilha: a pretensão de que as estruturas teóricas podem emergir dos dados experimentais por um processo de generalização indutiva. Assenta fundamentalmente no mito de que a observação permite o acesso directo e fidedigno a conhecimentos seguros sobre o mundo, sem a influência de quaisquer preconceitos teóricos ou outros.

Por outro lado, a natureza convergente destas actividades, cujo produto final está bem definido à partida, a "descoberta" de um determinado conteúdo científico, configura uma estrutura em que, de acordo com Driver (1983), os alunos muito

rapidamente aprendem o jogo de "o que é que querem que eu descubra?" Deste modo, todo o processo se desenvolve através de um exercício altamente estruturado de modo a assegurar que o aluno descubra a coisa correcta.

Na perspectiva de Driver, trata-se de actividades que conduzem ao "jogo da resposta certa" e da "descoberta do certo e inevitável", configurando sobretudo práticas ritualísticas de aplicação de instruções com vista à obtenção da resposta certa. À metáfora "Aprender fazendo", associada a este tipo de actividades, Rosalind Driver contrapõe a metáfora "Faço e fico mais confuso".

Em síntese, pode dizer-se que estas concepções e práticas correntes de trabalho experimental (demonstrações, verificações e actividades de "descoberta"), embora com objectivos diferenciados, possuem algumas características comuns.

Em primeiro lugar, o trabalho experimental é concebido, sobretudo, como uma actividade centrada na ilustração, verificação ou descoberta de conceitos a partir dos factos fornecidos pela experiência ou fenómenos observados. A observação e experimentação, através da manipulação de materiais, são assim considerados os elementos estruturantes principais, enquanto fontes de dados a partir dos quais é possível inferir conclusões que ilustrem ou corroborem um dado conteúdo científico ou que permitam a sua descoberta.

Em segundo lugar, o processo de desenvolvimento do trabalho experimental é normalmente concebido como um processo estruturado e repetitivo onde o contexto, o material, as manipulações efectuadas são escolhidos e organizados tendo como função essencial pôr em evidência o conceito ou a lei.

O papel dos alunos surge, assim, fortemente condicionado pela própria natureza das actividades. Tratando-se normalmente de actividades fechadas, convergentes para a obtenção de um produto determinado, os alunos parecem desempenhar, sobretudo, o papel de executores de instruções explícitas com vista à obtenção da resposta desejada pelo professor - a resposta certa. São, portanto, actividades que se traduzem, na maioria dos casos, na execução de receitas, tipo "receitas de cozinha", onde está ausente a verbalização e discussão de ideias, a conjecturação, a reflexão e avaliação crítica do trabalho desenvolvido e a resolução de problemas abertos.

Estas concepções e práticas de trabalho experimental colocam vários problemas de carácter epistemológico e pedagógico.

Dentre estes problemas, as críticas incidem, por um lado, sobre a primazia da observação experimental no processo de conhecimento e sobre a pressuposição de que existe um método científico universal com características bem definidas, cuja aplicação mecanicista permitirá o acesso à descoberta da natureza.

Por outro lado, critica-se o facto de estas práticas veicularem junto dos alunos mitos sobre a ciência e o seu processo de produção (Hodson, 1985, 1993; Lunetta, 1990), transmitindo, nomeadamente, ideias erradas sobre as relações entre observação, teoria e experimentação, em que a geração de teorias científicas surge como pouco mais que um processo de observação das regularidades na

natureza e em que aquelas estão subordinadas e são validadas por uma recolha meticulosa e ordenada de "factos" experimentais. Além disso, veiculam a ideia de que o conhecimento científico é não problemático e que traduz a realidade tal como ela é. Ideia que é reforçada quando se evitam atitudes que favoreçam a dúvida, as hesitações, o debate, a pesquisa dos limites de aplicação de um dado conhecimento científico, em suma, tudo o que poderia deixar entender que o conhecimento científico não é nem absoluto, nem universal, nem definitivamente adquirido, mas uma construção difícil e contraditória (Almeida, 1995).

Estas críticas denunciam, assim, a ilusão de que as observações ou as experimentações permitem o acesso directo a um conhecimento fidedigno, certo e acabado sobre a natureza, não imbuído de quaisquer preconceitos. Acentuam, ainda, que não é possível promover a aprendizagem dos processos científicos independentemente do conteúdo e do contexto, ou seja, a aprendizagem processual só tem sentido se ocorrer paralelamente ao desenvolvimento conceptual dos alunos. Neste sentido, preconiza-se que as experiências sejam definidas, concebidas e interpretadas no âmbito de uma determinada matriz teórica, na medida em que é esta matriz que orienta a percepção do problema, determina o planeamento experimental, influencia a interpretação dos resultados e todos os outros processos envolvidos no trabalho experimental.

Em termos pedagógicos, são também diversos os problemas e fragilidades que este tipo de actividades experimentais evidenciam.

Como assinalam Brook, Driver e Johnston (1989), mesmo que os alunos façam observações que forneçam "evidência" para uma determinada explicação científica aceite, isto por si só não possibilita aos alunos construir essa explicação. Quando os alunos fazem observações, é necessário que reconstruam as suas ideias para acomodar essas novas observações, o que não é feito automaticamente. Isto requer que os alunos revejam as suas ideias prévias sobre a situação em estudo e as adaptem ou as mudem. Além disso, mesmo que os alunos façam observações apropriadas, isso não significa que os alunos sejam capazes de fazer a interpretação pretendida. Tal como a observação, também a interpretação é influenciada pelas noções prévias dos alunos. Se não se tiver isto em conta, e se o que se pretender for uma determinada interpretação, um determinado produto, as suas interpretações serão ignoradas ou consideradas erradas, o que, na perspectiva daquelas autoras, conduz os alunos a perceberem que têm que entrar no jogo de "adivinhar o que é o professor quer" e a admitirem que há apenas uma interpretação "certa" da evidência. Deste modo, a actividade torna-se altamente estruturada, impedindo que os alunos relacionem as suas ideias e os modelos da ciência com aquilo que acontece na experiência.

Outro problema normalmente associado à realização deste tipo de actividade, nomeadamente das verificações experimentais, tem a ver com o que Cachapuz *et al.* (1989a) designam por "falta de contexto" na sua implementação, ou seja, o facto de muitas vezes não se esclarecer quais são os objectivos das experiências que se vão realizar e os procedimentos a adoptar e como é que estes se articulam. Em consequência desta situação, constata-se que os alunos não sabem muitas vezes por que é que estão a realizar uma dada experiência e por que é que se utilizam aqueles procedimentos e não outros.

Atendendo a estas e outras críticas, suportadas por resultados de investigação neste campo, diversos investigadores referem que estas actividades, em que os alunos passam a maior parte do tempo a seguir receitas, sem saberem muito bem o que estão a fazer e porque é que o estão a fazer, são, na maioria das vezes, improdutivas e até contra-produtivas quer ao nível do desenvolvimento do interesse e motivação dos alunos pelo estudo das ciências, quer ao nível da aprendizagem da ciência, da aprendizagem acerca da ciência e do "fazer" da ciência - objectivos de ensino associados actualmente ao trabalho experimental (Hodson, 1993, 1996).

## 2.2. Reconceptualização do trabalho experimental como uma actividade de resolução de problemas

A importância da reconceptualização do trabalho experimental é reconhecida por diversos quadrantes e está associada ao movimento, que se constituiu em diversos países, de reforma curricular em prol de uma abordagem holística da educação em ciências fundamentada num entendimento epistemológico do conhecimento e da aprendizagem muito diferente do empirismo e do behaviorismo - o construtivismo.

Esta reconceptualização sustenta-se num conjunto de pressupostos epistemológicos de que se destacam: 1) as observações científicas, como todos os processos científicos, não ocorrem num vazio conceptual; são condicionados e estão impregnados de teoria, desde a observação à elaboração de hipóteses e de conclusões até à selecção do equipamento e experimentação a realizar e, como tal, é o conhecimento conceptual que guia os processos científicos e não, simplesmente, o resultado da sua utilização; 2) o processo de conhecimento desenvolve-se sobretudo a partir de problemas e da sua resolução e não, apenas, por processos de indução a partir de dados de observação e experimentação; 3) não existe um método científico, único e universal, que permita aceder ao conhecimento do mundo, mas várias metodologias que dependem do problema a investigar e dos contextos de investigação; 4) há uma implicação inevitável do sujeito de investigação e dos seus pares no processo de produção de conhecimento.

Este papel constitutivo do sujeito do processo de conhecimento é, por sua vez, reconhecido como fundamental pelas teorias construtivistas da aprendizagem, em que esta é entendida como um processo pessoal e social de construção do conhecimento.

Admitir estes pressupostos epistemológicos e psico-pedagógicos e pensar no trabalho experimental como uma situação de aprendizagem significativa permite destacar algumas vertentes de reconceptualização do trabalho experimental.

Em primeiro lugar, realça-se a importância da teorização prévia e exploração das ideias existentes como os precursores necessários do trabalho experimental, ao nível da sua concepção, realização e exploração.

Assim, e por um lado, evidencia-se que o trabalho experimental não se restringe à experimentação e observação, mas envolve a especulação teórica, o debate e confrontação de ideias na construção de um quadro teórico de referência que informará e determinará o desenho e realização do plano experimental. Por outro

lado, parece não ter sentido conceber o trabalho experimental como uma aplicação de um algoritmo de procedimentos e regras fixas e determinadas, no pressuposto de que existe um método científico, único e universal, com essas características. Sugere-se, pelo contrário, que não há uma metodologia específica, bem definida, mas uma multiplicidade de métodos e processos a seleccionar atendendo aos objectivos a atingir, aos conteúdos científicos em jogo, e ao contexto de aprendizagem.

Em segundo lugar, ao reconhecer-se a aprendizagem como um processo simultaneamente pessoal e social, parece razoável supor-se que o trabalho experimental, perspectivado como uma situação de aprendizagem, deve envolver uma componente pessoal e social (Almeida, 1995).

Neste sentido, a componente pessoal reflecte as características idiossincráticas da actividade, ou seja, a necessidade de ocorrer um envolvimento efectivo dos alunos em todas as fases de desenvolvimento da actividade e, portanto, de não restringir a sua acção a uma mera execução de instruções fornecidas pelo professor. Pressupõe, nomeadamente, que se criem oportunidades para que os alunos possam mobilizar os seus interesses, saberes e experiências anteriores, as suas estratégias de aprendizagem, no desenvolvimento das actividades experimentais, pois, como vimos, o processo de construção pessoal do conhecimento é modelado e determinado por factores cognitivos, como por factores não cognitivos, que podem funcionar como activadores ou inibidores do desenvolvimento prático da acção.

A componente social do trabalho experimental envolve o reconhecimento de que a razão humana se desenvolve através de uma acção interactiva e reflexiva, onde a dimensão intersubjectiva, a relação com os outros, assume particular importância.

Ao admitir-se como fundamental esta componente, destaca-se a pertinência de o trabalho experimental ser concebido como uma actividade cooperativa de aprendizagem centrada no trabalho de grupo, em pequenos grupos e no grupo-turma. Nesta actividade cooperativa é de destacar, entre outros aspectos, a relevância que pode assumir a discussão no seio de cada grupo e/ou do grupo-turma (dependendo da necessidade de controlo e de negociação sobre decisões a tomar) ao nível da concepção e desenvolvimento do trabalho experimental. Dentre as diversas funções que pode desempenhar (Solomon, 1991), destacamos: a negociação sobre o que fazer, desde a selecção dos materiais à planificação das estratégias experimentais; a negociação sobre os conhecimentos, ou seja, a definição pelo grupo de quais são os resultados experimentais a obter e os registos a fazer; e, ainda, o estímulo mútuo para a prossecução da actividade. Por sua vez, a discussão pós-laboratorial, no âmbito do grupo-turma, ao proporcionar o confronto dos resultados obtidos, das interpretações que os alunos fizeram, bem como da avaliação dos processos desenvolvidos, sem o constrangimento de se chegar à resposta certa, encoraja os alunos a (re)pensar acerca das ideias e dos processos (Almeida, 1998).

Por último, se se aceita que o trabalho experimental deve reflectir as características do trabalho científico e se se partir do pressuposto de que a actividade científica é uma actividade de resolução de problemas, como sublinham vários epistemólogos

contemporâneos e educadores em ciência, não é de estranhar que se proponha perspectivar o trabalho experimental como uma actividade de resolução de problemas e, portanto, como uma actividade cooperativa de natureza investigativa que envolve a pesquisa de (re)solução de problemas.

Todavia, considerá-lo como uma actividade de resolução de problemas envolve ainda algumas ambiguidades que se prendem, nomeadamente, com as que decorrem da utilização das expressões "resolução de problemas" e "problemas", a que se atribuem concepções e significados distintos, dependentes dos contextos e até de quem os formula.

### 2.2.1. O que constitui um problema?

Se consideramos, como Popper (1992), que a fecundidade de uma actividade de resolução de problemas está em estreita relação com a importância e o interesse dos problemas em causa, impõe-se a clarificação do que se entende por problema.

O significado de problema é bastante lato. Para Pizzini *et al.* (1989), existe um problema quando há uma descontinuidade entre os conceitos inerentes à situação-problemática e o esquema conceptual do indivíduo. É esta descontinuidade, que Festinger (1962)<sup>1</sup> designa por "dissonância cognitiva", que na opinião deste autor motiva os alunos a resolverem o problema.

Garret *et al.* (1990) caracterizam os problemas como situações para as quais não se conhece à partida a sua solução ou o caminho para se chegar à solução.

Para outros autores, como Bentley e Watts (1992), um problema tem um significado próximo do utilizado no contexto do dia-a-dia: uma pessoa tem um "problema" quando tem um objectivo que não pode ser atingido imediatamente, ou seja, há um ou mais obstáculos que dificultam a consecução desse objectivo. Neste sentido consideram que um problema se caracteriza fundamentalmente por haver um objectivo a ser atingido e por ser uma tarefa que não tem uma solução imediata, dado que nem toda a informação relevante, ou nenhuma, está disponível à partida e implica a escolha de métodos que permitam aceder às "melhores soluções", e não às "respostas certas".

Igualmente, para Fabre (1999), a noção de problema está associada à ideia de intencionalidade e de projecto, na medida em que não há problema senão para quem se dê um fim a atingir e, portanto, exclui as actividades que não se orientem por uma finalidade precisa que seja assumida por cada um, e, ainda, à ideia de dificuldade, dado o problema introduzir uma descontinuidade na experiência do sujeito.

Dos vários sentidos atribuídos a problema parece plausível considerá-lo simultaneamente um estímulo, um desafio, uma questão/situação-problemática/tarefa que pode ter várias soluções possíveis, cuja(s) resposta(s)

<sup>1</sup> Festinger (1962) cit. in Pizzini *et al.* (1989, p.524).

terá(ão) de ser elaborada(s) pelo sujeito; uma dificuldade a ultrapassar com vista a atingir determinado objectivo.

Burbules e Linn (1991) refere que na criação de situações-problema há que garantir que estas situações constituam desafios que estimulem os alunos a pensar sobre elas e que os alunos sintam ser capazes de as resolver. Assim, e a fim de se evitar a frustração e o sentimento de incapacidade face a problemas demasiado complexos ou difíceis, esta autora propõe, seguindo Vygotsky (1988), que se considerem problemas que se insiram naquilo que é designado por "zona de construção" dos alunos ou "zona de desenvolvimento proximal"<sup>2</sup>.

Um problema pode ser um fenómeno para o qual a explicação não é conhecida à partida, algo que exige criar um método para descobrir as respostas. Pode, ainda, resultar da «tensão existente entre o saber e o não-saber» (por exemplo, através «da descoberta de que algo do nosso pretendo saber não está em ordem» (Popper, 1992, p.73) e, portanto, quando detectamos alguma contradição entre esse nosso suposto saber e os factos, a suposta realidade, seja tecnológica, social ou ambiental. Problemas de ordem prática, como os que se prendem com a concepção e construção de dispositivos experimentais ou tecnológicos, são também considerados pontos de partida importantes, já que podem conduzir a reflexões, a teorizações e, por consequência, a problemas de natureza teórica.

Por outro lado, se considerarmos, seguindo Popper (1987), que os problemas surgem com a vida, portanto, pertencem à relação entre o ser vivo e o mundo, parece plausível a hipótese de que os problemas são do foro da relação entre o sujeito e o seu "environnement", nomeadamente, da sua relação com a realidade envolvente e com o conhecimento.

Neste sentido, acentua-se a ideia de que a resolução de um problema é um projecto pessoal que envolve componentes cognitivas e não-cognitivas. A sua solução envolve a vontade e o desejo de a encontrar, o interesse e a paixão pelo problema e a imaginação e criatividade na invenção de um caminho.

Neste quadro, podemos considerar que o trabalho experimental, como actividade de resolução de problemas, parte de situações que levantam dificuldades para as quais não há soluções feitas, acabadas. A confrontação com uma descontinuidade entre o ponto em que o aluno está e aquele a que quer chegar exige a criação de um processo para descobrir a solução, solução esta que pode ser única, múltipla ou nem existir; implica a invenção de um caminho susceptível de o ajudar a ultrapassar essa descontinuidade. Trata-se, portanto, de um projecto pessoal que exige o envolvimento do aluno na sua concepção e desenvolvimento e não uma tarefa que envolva a aplicação de um procedimento prescrito pelo professor para obter a solução correcta, a solução desejada...

<sup>2</sup> Vygotsky (1988, pp.94-103), define "zona de desenvolvimento proximal" como «a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes» (p.97). Neste sentido a zona de desenvolvimento proximal refere-se às funções que ainda não amadureceram, mas que estão em processo de maturação.

### 2.2.2. Natureza do Processo

Decorre do que tem vindo a ser dito que a natureza do processo do trabalho experimental, entendido como uma actividade de natureza investigativa, deve possuir características que se assemelhem às do trabalho científico.

Segundo Giordan, para a compreensão da natureza do processo do trabalho experimental importa ter em atenção que «a actividade científica comporta essencialmente dois momentos em sinergia: um momento de criação e um momento de formalização», onde «a experiência e a observação são o elo de ligação entre esses dois momentos» (Giordan, 1978, p.40).

No trabalho experimental encarado deste modo, processa-se «uma interacção entre um irracional, a criatividade, que permite imaginar hipóteses e experiências, e um racional, os factos experimentais e o raciocínio. No interior do racional ocorre, ainda, uma dialéctica entre um elemento sensível ao suporte concreto - a percepção dos factos - e um elemento abstracto de suporte imaterial - o aspecto operativo» (Giordan, 1978, p.32).

Trata-se, portanto, de um processo complexo cujo desenvolvimento pelos alunos não é, por essa razão, uma tarefa fácil. Essa dialéctica só pode ser compreendida se for vivenciada.

Esta vivência pressupõe, contudo, que se parta das representações do aluno, dos seus saberes, das questões que ele põe. E, ainda, pressupõe a necessidade de promover o desenvolvimento de uma atitude experimental, ou seja, um estado de espírito que comporte a reflexão crítica sobre o que observa, a interrogação constante sobre o que conhece, a criação e comunicação.

É neste sentido que Hodson (1992a, 1992b) refere uma série de pré-requisitos que têm de ser satisfeitos de modo a que os alunos possam desenvolver satisfatoriamente um percurso investigativo: 1) algum conhecimento de partida que lhes permita compreender os objectivos em jogo; 2) algumas capacidades laboratoriais e técnicas básicas que os auxiliem na realização de determinadas operações laboratoriais; 3) o que designa por "experimental flair"; 4) componentes de ordem afectiva que envolvem a confiança, empenho e determinação. Como ele próprio afirma, é difícil definir o que se entende por "experimental flair", mas sugere que é algo que está para além da capacidade de planear e realizar um plano experimental de forma organizada e adequada com vista a atingir determinados fins. É um aspecto importante na selecção e implementação das estratégias escolhidas e que poderá considerar-se como um componente significativo do que Polanyi designa por "conhecimento tácito": um conhecimento experiencial, não explícito, que envolve sensibilidade, emoções e um saber-fazer ("know how"), derivado da própria experiência das situações e que se utiliza de forma intuitiva na abordagem de novas situações. Neste contexto, considera-se relevante e desejável implementar, em paralelo com o desenvolvimento de um percurso investigativo, outro tipo de actividades que podem desempenhar um papel de complementaridade essencial, como sejam os "exercícios práticos" e as "experiências" propostas por Woolnough e Allsop (1985). Com efeito, os exercícios práticos, definidos como actividades práticas estruturadas de manipulação,

observação e medição com o propósito de desenvolver capacidades práticas e técnicas básicas, implementados em paralelo com o desenvolvimento de investigações experimentais ou previamente (conforme as situações), podem contribuir para a aquisição de competências técnicas úteis para o prosseguimento das investigações experimentais. Por sua vez, as designadas experiências, definidas como experimentações exploratórias simples (com recurso a materiais simples) rápidas, geralmente qualitativas ou semi-quantitativas, possibilitam a experiência directa (tocar, sentir, cheirar, ver, etc.) de fenómenos científicos, bem como oportunidades para os alunos debaterem e confrontarem ideias sobre o fenómeno em estudo. As experiências podem, deste modo, contribuir para a compreensão das teorias e conceitos subjacentes ao fenómeno observado e desenvolver nos alunos um "sentido" dos fenómenos em estudo, aproximando-os da sua compreensão (Almeida, 1998).

A realização de uma investigação experimental, através de um processo de resolução de um problema, deve fundamentar-se, portanto, nos conhecimentos prévios e corresponder aos interesses dos alunos como um pressuposto essencial para que os alunos, por um lado, assumam a investigação como um projecto pessoal e, por outro, compreendam os objectivos e o sentido dessa investigação e os ajudem a tomar decisões informadas sobre as estratégias a adoptar na resolução do problema. Por outro lado, é através da experiência e vivência de trabalhar num problema, ensaiando tentativas na procura de soluções possíveis para a resolução do problema de partida, que os alunos adquirem um conhecimento experiencial importante.

Para Gil Perez (1992) o processo de resolução de um problema deve constituir uma abordagem que se aproxime do tratamento científico dos problemas reais. Deve possuir as características de uma "metodologia científica", onde o pensamento divergente desempenha um lugar central na invenção de soluções a título de hipóteses.

O trabalho experimental deve, assim, à luz do corpo de saberes disponível pelo aluno, incluir a possibilidade de emitir hipóteses, desenhar estratégias de resolução/estratégias experimentais e proceder a uma análise cuidadosa dos resultados, aspectos considerados essenciais numa metodologia científica.

Os modelos de resolução de problemas propostos para as investigações experimentais são diversos, apresentando, no entanto, elementos estruturais comuns, como sejam: a identificação do problema, a planificação da investigação, o prever e fazer observações, o coligir e analisar dados, o comparar, o avaliar e o tomar decisões.

Um modelo mais completo de resolução de problemas, designado por "problem-solving chain", foi proposto e usado pela "Assessment of Performance Unit" (APU) em Inglaterra (DES, 1984)<sup>3</sup> e consta das fases que se seguem:

- Reconhecimento do problema - fase de reflexão e de compreensão, cujo objectivo é a interpretação pessoal pelos alunos do problema com que são confrontados (dado pelo professor ou sugerido pelos próprios alunos).

Esta interpretação consiste na exploração das suas próprias ideias e/ou pesquisa de informação relevante, com vista à construção de modelos conceptuais de compreensão do problema em jogo, que se vão actualizando ao longo do percurso.

Assim, esta fase de compreensão conceptual revela-se da maior importância, não só porque nela confluem os conhecimentos prévios dos alunos, mas também porque irá influenciar o desempenho do aluno em todas as outras fases.

- Transformação do problema - fase em que se procede à transformação do problema numa forma que seja susceptível de investigação, nomeadamente, recorrendo à definição de sub-problemas; analisa-se o problema e decide-se quais são os parâmetros relevantes. Formulam-se ideias que possam ser testadas e desenvolvidas posteriormente.

Para Gil Perez (1992), é nesta fase que se procede à invenção de conceitos e emissão de hipóteses. É também uma ocasião para que os alunos usem as suas ideias prévias, neste caso, para fazer previsões.

- Planificação e desenho da experimentação - esta fase exige que se visionem um leque de estratégias experimentais tendo em conta os recursos e materiais necessários para a sua concretização e se seleccione o melhor caminho conducente à solução do problema.

Gil Perez (1992) sugere a elaboração de estratégias experimentais para a testagem das hipóteses de que se partiu.

Esta fase, bem como as duas anteriores, constituem um momento de criação por excelência. Para Hodson (1992a), estas três etapas correspondem à "parte pensante" de uma investigação experimental.

- Execução prática da experimentação - Nesta etapa procede-se:
  - à execução do plano experimental;
  - ao registo de dados e observações, por exemplo em tabelas e gráficos;
  - à interpretação dos resultados e registo das conclusões.

<sup>3</sup> DES (1984) referido por Woolnough e Allsop (1985, p.44); Bentley e Watts (1992, p.30); Hodson (1992b, p.75), entre outros.

- Avaliação - a avaliação ocorre nos vários momentos do desenvolvimento do percurso investigativo.

A avaliação, quer da concepção e desenvolvimento do plano, quer da pertinência e adequação da solução ou soluções obtidas face ao problema e hipóteses de partida, revela-se crucial na tomada de decisões com vista à reformulação e ao desenvolvimento de novos percursos investigativos. Em face da análise crítica dos resultados que se vão obtendo, várias decisões são possíveis: desde a conclusão da actividade, por se ter chegado a uma solução adequada, à identificação de novos problemas, a mudanças do desenho experimental ou, simplesmente, mudança de técnicas experimentais.

A avaliação, segundo Gil Perez, é sobretudo um momento de confronto dos resultados obtidos pelos vários grupos de alunos e também com o corpo de conhecimentos aceite pela comunidade científica. Entendido deste modo, este momento poderia constituir uma «ocasião de conflito cognoscitivo entre distintas concepções (todas elas consideradas como hipóteses) e obrigar a conceber novas hipóteses» (Gil Perez, 1992, p.17). É, essencialmente, um momento de "formalização".

A(s) solução(ões) de um problema são, assim, construídas progressivamente à custa de hipóteses sucessivamente avaliadas e reformuladas. Conduzir uma investigação experimental é, portanto, saber passar de uma primeira hipótese-ideia de qualquer coisa possível à luz da compreensão que se tem num dado momento sobre o problema - a uma segunda hipótese pela avaliação crítica dos resultados e processos face às conjecturas formuladas, pelo confronto entre pensamento e acção e identificação de novos problemas.

### 2.2.3. Tipos de actividades de natureza investigativa vs grau de abertura

Em termos gerais pode dizer-se, seguindo Lock (1990), que uma investigação experimental envolve pesquisa e exploração de uma ou mais soluções para um determinado problema.

Todavia, mesmo aceitando esta tentativa de definição, é possível identificar diferentes características das investigações conforme o grau de abertura da actividade, o que pode ser útil se se tiver em atenção a importância da sua adequação aos conhecimentos e experiências prévias dos alunos, bem como aos seus interesses.

O grau de abertura das investigações está, de acordo com Lock (1990), relacionado, sobretudo, com a definição do problema e o nível de controlo que o professor e alunos têm sobre os vários elementos estruturantes de uma investigação experimental.

Quanto à definição do problema, há vários aspectos que influem sobre as características das investigações experimentais e que se prendem com quem define o problema, para que serve o problema e qual o seu nível de abertura. Segundo este autor, ser o professor, ou os alunos, ou ambos a definir o problema tem um efeito significativo sobre a natureza do trabalho a desenvolver e até sobre o nível de envolvimento e de empenho dos alunos nesse trabalho. Do mesmo modo, ter-se-ão investigações de cariz diferente conforme o problema é algo de que o professor

conhece a solução à partida ou se se desconhece qual ou quais são as soluções aceitáveis, o que pressupõe, no último caso, o envolvimento do professor e alunos na pesquisa da solução. Outro aspecto tem a ver com o número de potenciais soluções que existem para o problema, o que está relacionado com o tipo de problema e o modo como ele é apresentado. Assim, a abertura de um problema é tanto maior quanto maior for o número de soluções que admite e, portanto, menor for o nível de especificação das variáveis em jogo e de informação contida no enunciado do problema.

Atendendo a estas características dos problemas é possível definir um "continuum" de abertura das investigações, desde as que possuem uma natureza mais fechada, mais prescritiva, até às de natureza mais aberta, com um carácter mais exploratório.

No que se refere ao nível de controlo do professor e alunos sobre os vários aspectos de desenvolvimento de uma investigação experimental, Lock identifica como actividades mais fechadas aquelas que estão centradas no professor, e como actividades mais abertas as centradas nos alunos, nomeadamente, no que se refere à iniciativa de planificação e de selecção das estratégias experimentais, à avaliação e interpretação dos resultados, bem como à definição do problema.

Neste contexto, Lock, fazendo interagir estes vários factores, definiu um modelo de análise das actividades experimentais relativamente ao seu grau de abertura e nível de participação dos alunos na sua concepção, realização e conclusão. Tomando em consideração diversos elementos caracterizadores das actividades experimentais - área de interesse, definição do problema, planificação das estratégias experimentais, determinação da estratégia a usar, realização experimental, recolha de dados e avaliação/interpretação dos resultados- sugere diversas situações experimentais a que correspondem diferentes níveis de abertura, que se sintetizam no quadro a seguir indicado<sup>4</sup>:

**Quadro I**

Elementos estruturais	Tipos de actividades em função do nível de controlo do professor (P)/alunos (A) sobre os elementos envolvidos						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Área de interesse	P	P	P	P	P	P	A
Definição do problema	P	P	P	P	P	A	A
Planificação	P	P	A	A	A	A	A
Determinação da estratégia	P	P	P	A	A	A	A
Realização experimental	P/A	A	A	A	A	A	A
Recolha de dados	P	A	A	A	A	A	A
Avaliação/interpretação dos resultados	P	P	P	P	A	A	A

<sup>4</sup> O quadro que se apresenta é uma adaptação de um outro referido por Lock (1990, p.67).

Analisando o quadro I, constata-se que as situações (1) e (2) traduzem actividades fechadas e prescritivas e as situações (3), (4), (5), (6) e (7) correspondem a actividades experimentais mais abertas que, de acordo como Lock, traduzem actividades de natureza investigativa com níveis de abertura crescente.

As situações (1) e (2) são actividades de demonstração e de verificação experimental que, de acordo com a caracterização atrás feita, são actividades centradas no professor, em que a acção dos alunos se limita à execução de um procedimento experimental fornecido pelo professor, e que visam sobretudo corroborar ou provar uma teoria já ensinada. Segundo Lock, a situação (2) pode também descrever algumas actividades de descoberta-orientada.

As situações (3) e (4) podem ser consideradas actividades de natureza investigativa, pois são os alunos que, face ao problema posto pelo professor, se envolvem na sua resolução, procurando compreender o problema e conceber e executar um plano experimental com vista à pesquisa da solução experimental para o problema dado. Nestes dois tipos de actividades o professor assume um papel relevante na avaliação e interpretação dos resultados, podendo ocorrer, no entanto, duas situações: ser apenas o professor a fazer a interpretação e avaliação, ou estas serem feitas em colaboração com os alunos. A diferença entre a situação (3) e (4) pode corresponder ao facto de o professor intervir, no caso da situação (3), na determinação da melhor estratégia a seguir, face à diversidade de estratégias que os alunos planearam, ou disponibilizar apenas determinado material e equipamento que conduz à delimitação das estratégias a usar.

A situação (5) distingue-se da situação (4) pelo facto de serem os alunos a assumirem um papel preponderante na avaliação e interpretação dos resultados.

As situações (6) e (7), que se diferenciam pelo facto de ser o professor a definir a área de interesse ou domínio do problema em (6), são as actividades que traduzem um maior nível de abertura e de envolvimento dos alunos. Estas actividades são as que melhor correspondem ao que tem vindo a ser referido como investigações experimentais, na medida em que propiciam o envolvimento dos alunos na realização de um projecto pessoal para a pesquisa e exploração de um problema que desejem resolver. Neste caso o papel do professor é, sobretudo, como sublinha Lock (1990), o de conselheiro, de consultor e de guia.

Estas situações não esgotam, contudo, o leque de actividades de natureza investigativa que é possível desenvolver. Para além destas, é possível conceber todo um conjunto de outras situações em que, por exemplo, se contemple um controle partilhado entre professor e alunos sobre os diversos elementos, recorrendo, designadamente, à conjugação de momentos de trabalho individual e/ou em pequeno-grupo com momentos de trabalho em grande-grupo (e.g. grupo-turma) de partilha e de confronto de ideias e decisões assumidas pelos elementos de cada pequeno-grupo, bem como de negociação e clarificação dos caminhos a prosseguir.

Em síntese pode dizer-se que, da análise das características das actividades experimentais com base no nível de controlo do professor e alunos sobre os diversos elementos que a caracterizam, ressalta a ideia de que é importante criar

oportunidades para que os alunos se envolvam em actividades de natureza investigativa onde, a partir dos problemas assumidos como seus, possam delinear e desenvolver os seus próprios planos experimentais, interpretar e avaliar criticamente as soluções experimentais obtidas. Como sublinha Lock «não é vital que os professores controlem quaisquer elementos do trabalho prático» (Lock, 1990, p.70), a não ser que se considere que é importante desenvolver determinadas capacidades específicas, ou que haja aspectos relativos a constrangimentos estruturais e falta de equipamento disponível que condicionem o controle por parte do professor sobre alguns dos elementos.

### 3. Papel do trabalho experimental

O trabalho experimental entendido não como um processo linear que caminha inexoravelmente dos factos para as ideias, mas como um processo investigativo que envolve uma pluralidade de métodos e de explicações onde a criação, a invenção, a incerteza, a autocrítica, a heterocrítica e o erro podem desempenhar um papel fundamental na compreensão do problema de partida e na definição e avaliação das estratégias possíveis para a sua resolução, poderá contribuir para a criação de situações de aprendizagem significativa.

Situações em que os alunos podem, à luz do seu conhecimento conceptual e processual, explorar o alcance e limitações de certos modelos e teorias, testar experimentalmente ideias alternativas e ganhar confiança na sua aplicação e/ou investigar as aplicações práticas de conteúdos científicos previamente adquiridos, sendo estes utilizados na sugestão e interpretação de soluções mais perceptivas para os problemas com que se confrontam (Almeida, 1998).

As actividades práticas de natureza investigativa e de resolução de problemas podem assim constituir oportunidades para os alunos, usando as capacidades estratégicas da ciência, trabalharem com base nas suas ideias e concepções e partirem daí «para o reconhecimento de outras perspectivas como úteis e construir concepções novas e funcionais» (Miguéns, 1991, p.42).

O trabalho experimental concebido deste modo poderá desempenhar um papel fundamental na educação em ciências, quer como um fim em si mesmo ao desenvolver capacidades de resolução de problemas e de investigação, quer como uma estratégia de ensino e de aprendizagem favorecendo a construção de significado dos conceitos teóricos e a compreensão da natureza do trabalho científico - aspectos relacionados com a aprendizagem da ciência e acerca da ciência e, ainda, como uma estratégia formativa de desenvolvimento de capacidades e talentos diversos, de ordem cognitiva, afectiva e social (Almeida, 1998).

Visto por este prisma, o trabalho experimental, pela diversidade de processos e de pontos de partida que admite, parece poder considerar-se como uma via educativa propiciadora de espaços de liberdade considerados necessários ao desenvolvimento pessoal e social do aluno e à construção de vias pessoais de acesso ao conhecimento. Parece ser também uma contribuição positiva para a compreensão da natureza da ciência e da actividade científica e para a promoção do interesse e gosto pela aprendizagem das ciências.

Dos múltiplos objectivos que este tipo de actividades potencia, como referem vários autores, sumariam-se os seguintes:

- Favorecer a compreensão de certos aspectos da natureza da ciência e a aquisição de atitudes positivas face à ciência (Lunetta, 1991);
- Promover o desenvolvimento intelectual e conceptual e do pensamento criativo (Lunetta, 1991);
- Explorar o alcance e limitações de certos modelos e teorias, testar ideias alternativas experimentalmente e ganhar confiança na sua aplicação (Brook, Driver e Johnston, 1989; Burbules e Linn, 1991);
- Desenvolver capacidades de resolução de problemas (Woolnough e Allsop, 1985);
- Desenvolver capacidades de comunicação e de cooperação com os outros (Lunetta, 1991; Hodson e Reid, 1988a);
- Favorecer o desenvolvimento de atitudes como a auto-confiança, a curiosidade intelectual, a tolerância, a abertura de espírito e, ainda, a autonomia e disponibilidade para predizer e especular (Hodson e Reid, 1988a);
- Desenvolver capacidades e técnicas científicas básicas, como sejam as capacidades de observação e medida, técnicas apropriadas de manipulação do material e a aquisição de hábitos de tenacidade, honestidade e rigor (Woolnough e Allsop, 1985).

## Conclusão

A reflexão feita em torno do trabalho experimental sugere uma forte inter-relação entre as concepções e práticas de trabalho experimental que, por sua vez, estão fortemente dependentes das perspectivas epistemológicas e pedagógicas que informam e determinam as opções por uma ou outra abordagem da educação em ciências.

Evidenciou-se, ainda, que as práticas habituais de trabalho experimental, em que se privilegiam as demonstrações, verificações e actividades de "descoberta" e em que não são criadas oportunidades para que os alunos se envolvam na exploração e manipulação de ideias, mas tão só, na maioria das vezes, para a execução de "receitas" fornecidas pelo professor, são consideradas improdutivas e até confusas. A (re)conceptualização do trabalho experimental, como uma actividade de natureza investigativa, uma actividade cooperativa de resolução de problemas, na interface ciência/tecnologia/sociedade/ambiente, sugere alterações profundas na organização dos ambientes educativos e dos papéis de professores e alunos.

A inovação dos *curricula* de ciências, perspectivados como uma abordagem holística da ciência num quadro de referência construtivista, e a conseqüente (re)conceptualização do trabalho experimental e (re)avaliação do seu papel na educação em ciências surge, neste contexto, como uma necessidade imperiosa e urgente. De igual modo, se prefigura como uma necessidade imperiosa e urgente

o (re)pensar da formação de professores, inicial e contínua, de modo a promover a reflexão sobre e a transformação de perspectivas dos professores acerca das características da ciência que se ensina, da natureza da educação em ciências e, concomitantemente, das suas práticas, em suma, que potencie a formação de profissionais reflexivos.

### Referências bibliográficas

Almeida (A. M.) -1998- «Papel do Trabalho Experimental na Educação em Ciências» in *Boletim Comunicar Ciência*, Ano I, Nº1, Lisboa: Ministério da Educação -DES.

Almeida (A. M.) -1996- «Da Psicologia à Pedagogia do Conhecimento» in *Revista Formar*, Lisboa: IIEFP, Abril 96, 4-13.

Almeida (A.M.)-1995- *O Trabalho Experimental na Educação em Ciência: Epistemologia, Representações e Práticas dos Professores*, Tese de Mestrado em Ciências da Educação, FCT/UNL.

Bentley (D.) e Watts (M.)-1992-*Communicating in School Science-Groups, Tasks and Problem Solving* 5-16, London: The Falmer Press.

Brook (A.); Driver (R.); Johnston (K.)-1989-«*Learning Processes in Science: A Classroom Perspective*» in J.Wellington (ed.), *Skills and Processes in Science Education*, London: Routledge.

Burbules (N.C.) e Linn (M.)-1991-«*Science Education and Philosophy of Science: Congruence or Contradiction?*» in *International Journal of Science Education*, vol.13, nº3, 227-241.

Cachapuz et al.-1989- *O Ensino e a Aprendizagem da Física e Química: Resultados Globais de um Questionário a Professores*, Projecto do INIC (monografia), Aveiro: Univ. de Aveiro.

Cachapuz et al.-1989a-«*Por um Ensino Relevante da Química: Que Papel para o Trabalho Experimental?*», *Boletim da SPQ*, 36, Lisboa: Sociedade Portuguesa de Química, 25-27.

Driver (R)-1983-*The Pupil as a Scientist*, Open University Press.

Fabre (M.)-1999-*Situations-problèmes et Savoir Scolaire*, col.Éducation et Formation, Paris: PUF.

Garrett (R.) et al.-1990-«*Turning Exercises into Problems: An Experimental Study with Teachers in Training*» in *International Journal of Science Education*, vol.12, nº1, 1-12.

Giordan (A.)-1978-*Une Pédagogie pour les Sciences Experimentales*, Paris: Éditions du Centurion.

Gil Perez (D.)-1992-*Contribucion de la Historia Y Filosofia de las Ciencias a la Transformacion de la Enseñanza de las Ciencias*, Valencia: Universitat de Valencia (policopiado).

Hodson (D.)-1996-«*Practical Work in School Science: Exploring some Directions for Change*», *International Journal of Science Education*, vol. 18, nº7, 755-760.

Hodson (D.)-1993-«*Re-thinking Old Ways: Towards a more Critical Approach to Practical Work in School Science*», *Studies in Science Education*, vol. 22, 85-142.

Hodson (D.)-1992a-«*Assessment of Practical Work-Some Consideration in Philosophy of Science*» in *Science & Education*, vol. 1, 115-144.

Hodson (D.)-1992b-«*Redefining and Reorienting Practical Work in School Science*» in *School Science Review*, vol. 73, nº264, 65-78.

Hodson (D.)-1985-«*Philosophy of Science, Science and Science Education*», *Studies in Science Education*, 12, 25-57.

Lock (R.)-1990-«*Open-Ended, Problem-Solving Investigations-What do we mean and how can we use them?*» in *School Science Review*, vol. 71, nº256, 63-72.

Lunetta (V.)-1990-«*Cooperative Learning in Science, Mathematics, and Computer Problem Solving*» in M.Gardner; J.Greeno et al (ed.), *Toward a Scientific Practice of Science Education*, New Jersey: LEA Publishers, 235-251.

Miguéns (M.)-1999-«*O Trabalho Prático e a "Reinvenção" da Escola*» in *Actas do VII Encontro Nacional de Educação em Ciências*, Faro: ESSE da Universidade do Algarve (no prelo).

Miguéns (M.)-1991-«*Actividades Práticas na Educação em Ciência: Que Modalidades?*», *Revista Aprender*, nº14, Portalegre: Escola Superior de Educação de Portalegre.

Pope (M.) e Gilbert (J.)-1983-«*Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science*», *Science Education*, vol.67, nº 2,193-203.

Popper (K.)-1992-*Em Busca de um Mundo Melhor*, Lisboa: Ed.Fragmentos.

Popper (K.)-1987-*O Realismo e o Objectivo da Ciência*, Col.Opus, Lisboa: Pub.D.Quixote.

Pizzini (E.L.) et al.-1989-«*A Rationale for and the Development of a Problem Solving Model of Instruction in Science Education*» in *Science Education*, Vol. 73, nº5, 523-534.

Ruiz (A. B.)-1991-«*Constructivismo y Desarrollo de Aprendizajes Significativos*», *Revista de Educación*, nº294, 301-321.

Santos (M.E.) e Praia (J.)-1992-«*Percurso de Mudança na Didáctica das Ciências, sua Fundamentação Epistemológica*», in F. Cachapuz (coord.), *Ensino das Ciências e Formação de Professores*, nº1-Projecto Mutare, Aveiro: Univ.Aveiro, 7-34 (monografia).

Solomon (J.)-1991-«*Group Discussions in the Classroom*», *School Science Review*, vol. 72, nº261.

Valente (M.O.) et al-1989-*Prática Pedagógica: Análise da Situação*, Lisboa: GEP.

Vygostky (L.S.)-1988-*A Formação Social da Mente*, Col. Psicologia e Pedagogia, S. Paulo: Ed. Martins Fontes.

Woolnough (B.) e Allsop (T.)-1985-*Practical Work in Science*, Cambridge: Cambridge University Press.

Woolnough (B.)-1989-«*Towards a Holistic View of Processes in Science Education*» in Jerry Wellington (Ed.), *Skills and Processes in Science Education-A Critical Analysis*, London: Routledge, 115- 134.

## 1.5 O Trabalho Prático (Laboratorial e de Campo) na Promoção de Áreas Transversais do Currículo (Área Projecto/Projecto Tecnológico)\*

MÁRIO FREITAS

Instituto de Educação e Psicologia da Universidade do Minho

### Introdução

A Revisão Curricular do Ensino Secundário (DES) inclui como uma das suas principais inovações a chamada Área Projecto/Projecto Tecnológico (AP/PT). Concebida como "uma área curricular lectiva, de carácter transdisciplinar" (DES, 2000) tem, entre outros, os seguintes objectivos:

- desenvolver nos alunos "capacidades" e "atitudes" de "responsabilização pessoal e social" associadas "à concepção e desenvolvimento de realizações concretas... ligadas à sua área de interesse vocacional", "à utilização da metodologia de trabalho de projecto, articulando, numa dimensão transdisciplinar, os saberes teóricos com a sua realização prática", "à recolha, análise e selecção de informação, à resolução de problemas, aos processos de tomada de decisão e à comunicação escrita e oral", "ao trabalho de grupo, nomeadamente, a cooperação e respeito pelos outros, a organização e divisão de tarefas e a responsabilização social";
- ajudar à promoção da "orientação escolar e profissional dos alunos, relacionando os projectos desenvolvidos com os contextos sociais, em particular, com os contextos de trabalho e as saídas profissionais";
- "promover uma cultura de liberdade, participação, reflexão, qualidade e avaliação".

\* Texto adaptado de "O trabalho prático (laboratorial e de campo) na promoção de áreas transversais do currículo (área de projecto/projecto tecnológico)", publicado pelo autor em Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho (Ed). (2000). Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências. Braga, Departamento de Metodologias da Educação, Universidade do Minho, 63-75.

Corajosa e coerente nos seus propósitos, esta área necessita agora de ser alvo de cuidadosa implementação. Para que tal seja possível, é imprescindível não só uma coerente coordenação central, por parte do DES (que confiamos não deixará de se concretizar), mas também, uma activa e criativa colaboração das escolas, suas instituições, professores e alunos.

São muitos os autores e instituições que, nos últimos anos, vêm defendendo a ideia de que a Educação para a Sustentabilidade seja utilizada como um vector de "reorientação da educação formal" (Fien, J., 1999) e, como tal, de todo o tecido curricular. A AP/PT pode, no caso particular do ensino secundário português, cumprir um destacado papel na concretização de tal objectivo. Num tal contexto, o recurso ao trabalho prático, de carácter investigativo, revela-se um instrumento de decisiva importância.

## Desenvolvimento Sustentável e Educação para a Sustentabilidade

### Desenvolvimento sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável e/ou sustentabilidade é um conceito recente: "até aos finais dos anos 70, a palavra *sustentabilidade* só ocasionalmente era utilizada, na maioria dos casos, para se referir à forma como os recursos florestais deviam ser utilizados" (Leal Filho, W., 2000, p. 9). Contudo, sustentabilidade é hoje uma das palavras mais utilizadas na linguagem científica e nas ciências do ambiente, em particular (*id.*, *ibid.*) e a ideia de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável é uma das mais poderosas e importantes ideias do nosso século (van Weenen, H., 2000, p. 20).

A génese da ideia de sustentabilidade, num sentido moderno, pode fazer-se remontar à Conferência Mundial sobre o Ambiente Humano, em 1972 (Bifani, P., 1999). Durante os anos setenta, porém, as aproximações ao conceito de sustentabilidade tiveram uma carga fortemente "ecologista e conservacionista", por vezes, mesmo algo "imobilista" e "naïve" (fig.1), correspondendo ao que Bifani, P. (1999) designa por "abordagem ecologista ou ambientalista. Coincidindo com o momento de emergência de uma grande preocupação face a graves problemas ambientais globais e de um movimento mundial de arranque da chamada educação ambiental, tais abordagens são essencialmente chamadas de atenção para a necessidade de parar com um desenvolvimento gerador de grandes e preocupantes degradações ambientais.

Um primeiro grande avanço numa definição mais precisa do que deve entender-se por desenvolvimento sustentável, pode ser directamente relacionado com o *Brundland Report* e com a tentativa de colocar a problemática do desenvolvimento num quadro conceptual abrangente simultaneamente ambiental e transgeracional (Mayor, 1999). A noção de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável pode, então, resumir-se à ideia de utilização sistemática e a longo termo dos recursos naturais (...) de tal forma que embora satisfazendo as necessidades actuais se não comprometa a satisfação das necessidades das gerações futuras (fig.1). Tal definição encerra já os principais traços das potenciais contradições a superar/integrações a promover, na construção do desenvolvimento sustentável: compatibilizar a preservação do ambiente com a exploração dos recursos e o

desenvolvimento económico; compatibilizar as necessidades actuais com as necessidades futuras; compatibilizar desenvolvimento económico com justiça social. Corresponde, de certa forma, a uma certa tensão entre o que Bifani considera serem a abordagem "transgeracional" e "modelo do equilíbrio geral" e as "interpretações economicistas do desenvolvimento sustentável" (Bifani, P., 1999).

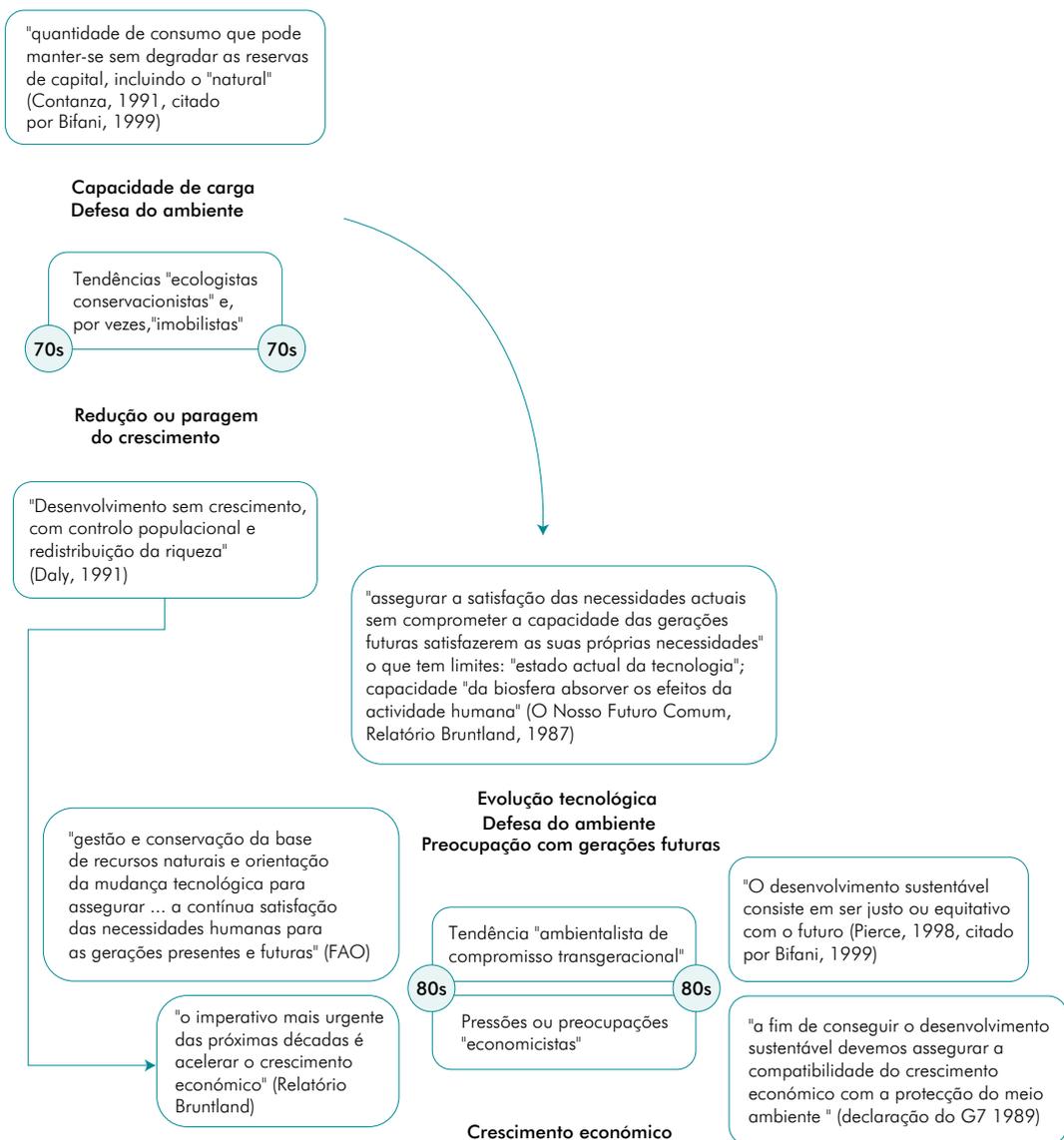


Figura 1

Os anos noventa são claramente anos de aperfeiçoamento do conceito de desenvolvimento sustentável/sustentabilidade e procura de formas de superar as contradições atrás citadas gerando as indispensáveis integrações. E, se de um ponto de vista político/operacional global não se avançou tanto quanto seria desejável (e algumas perspectivas mais optimistas chegaram a acreditar), do ponto de vista conceptual efectivaram-se alguns progressos. Os anos noventa são anos de clara afirmação da ideia de que o desenvolvimento sustentável não é um "destino fixo", mas antes um caminho que só se define à medida que se constrói (Mayor, F., 1999). Um moderno conceito de desenvolvimento sustentável vê a superação de eventuais contradições e construção de indispensáveis integrações num quadro onde os conceitos de **complexidade, criatividade, emergência, diversidade, autocorreção, reflexão, participação**, etc. são estruturantes (fig. 2).

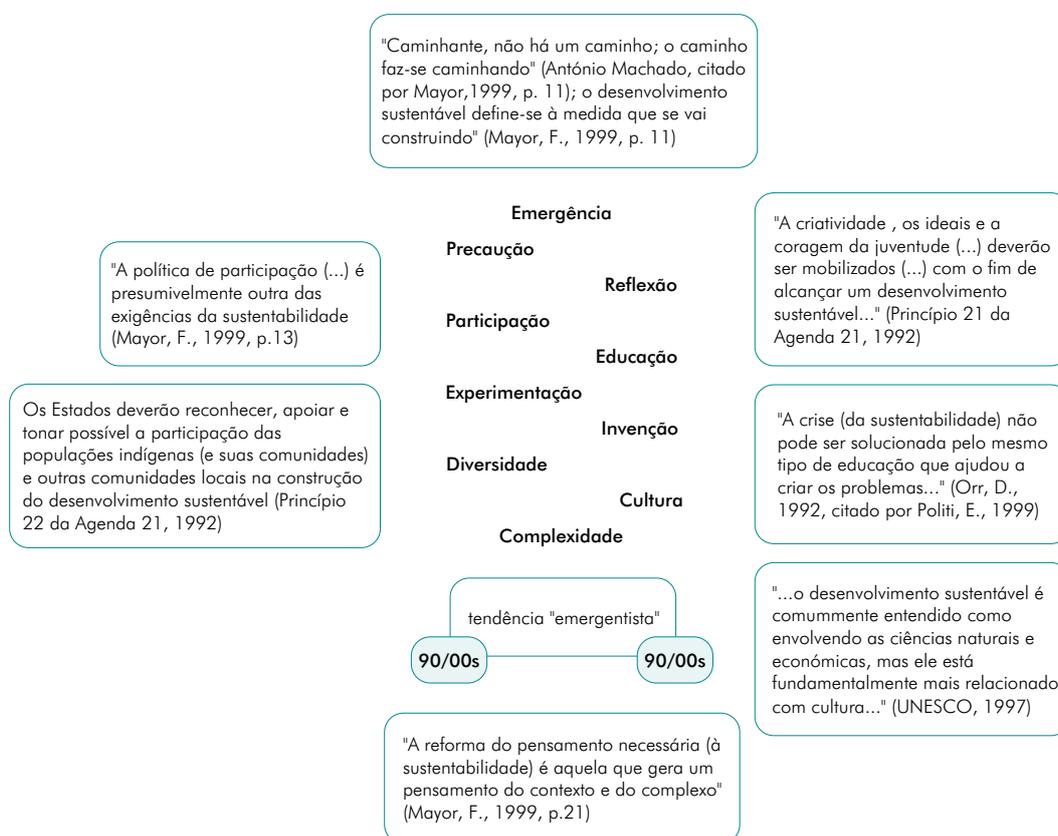


Figura 2

Certos autores falam, ainda, de outros sentidos e correntes de entendimento do conceito de desenvolvimento sustentável.

Assim, Bifani (1999), fala ainda de uma "abordagem sectorial: agricultura e desenvolvimento sustentável" e de correntes centradas no "desenvolvimento

sustentável e recursos marginais". Leal Filho (2000) fala de concepções de desenvolvimento sustentável referidas: ao país e às políticas locais; às políticas nacionais; às ramificações sociais do desenvolvimento; ao crescimento económico.

Supomos, contudo, que no contexto em que se situa este texto, a contextualização acima concretizada é suficiente.

### **Educação para a Sustentabilidade**

É nesta lógica de entendimento do que é ou pode ser sustentabilidade e desenvolvimento sustentável que se entende que a Educação Ambiental se torna ou deve tornar, cada vez mais, Educação para a Sustentabilidade.

A Educação para a Sustentabilidade pode pois ser vista como "um novo paradigma baseado num processo de educação permanente que conduz a uma informada e implicada cidadania, com competências de criativa resolução de problemas, literacia científica, tecnológica e social e um compromisso de envolvimento em acções responsáveis que ajudem a assegurar um ambiente saudável e um futuro economicamente próspero para todos" (Fien, J. & Maclean, R., 2000, p.37; Mortensen, L., 2000, p. 27).

Ambos os autores atrás citados realçam, igualmente, que a Educação para a Sustentabilidade exige a criação de um pensamento crítico interdisciplinar. Mortensen, L. (2000), baseado em considerações da IUCN (1997) realça que é hoje amplamente aceite que a Educação para a Sustentabilidade (como aliás tem sido generalizadamente afirmado em relação à Educação Ambiental) não é nem pode ser um suplemento ao currículo, mas antes uma perspectiva que se difunde em todas as disciplinas e cria um contexto de aprendizagem integrado e criativo.

Reafirmando o moderno conceito de desenvolvimento sustentável atrás citado, e procurando realçar o papel da educação na procura da sustentabilidade, a IUCN afirma: "Alcançar um futuro sustentável não é uma jornada tendo em vista um fim fixo, mas um contínuo processo de questionamento, discussão, cooperação, planeamento e envolvimento em acções apropriadas englobando todos os sectores da sociedade. Este processo é a essência de um novo paradigma para a educação" (IUCN, 1999, p. 292).

## **O Trabalho Prático na Promoção das Áreas Transversais do Currículo e da Educação para a Sustentabilidade**

### **O trabalho prático (laboratorial e de campo)**

O "ensino experimental" das ciências constitui uma das prioridades da Revisão Curricular projectada para 2002. A designação "ensino experimental" pode gerar alguns equívocos e conduzir a interpretações muito diversas. A actividade e material produzido pelo Grupo de Trabalho para a concepção e implementação do Programa de Formação no Ensino Experimental das Ciências Dourado, L. & Freitas, M., Coord.(no prelo) tornam claro que o trabalho experimental deve ser conceptualizado no campo mais vasto do trabalho prático (laboratorial ou de campo), do qual é uma forma especializada.

Não irei, contudo, debruçar-me muito sobre este aspecto, uma vez que outras intervenções dele se irão ocupar com detalhe. Referir-me-ei ao trabalho prático, em geral, nas suas componentes de trabalho de campo e trabalho laboratorial (assumindo que algum desse trabalho pode ser considerado experimental, nomeadamente se assumir características investigativas) e procurarei evidenciar como o trabalho prático é, não só um excelente instrumento de promoção de áreas transversais do currículo (nomeadamente, a Área Projecto/Projecto Tecnológico), como um instrumento de promoção de uma Educação para a Sustentabilidade. Procurarei, ainda, tornar claro como o trabalho prático levado a cabo em diversos terrenos disciplinares poderá interligar-se com o trabalho prático das áreas curriculares transversais e ser um motor de construção de interdisciplinaridade, do pensamento crítico, da formação ética, do desenvolvimento pessoal e social, do pensamento complexo, etc.

Diversas investigações permitiram concluir que a maioria do trabalho prático realizado nas escolas é ilustrativo, resumindo-se a experiências tipo "receita" (Kyle, J. *et al.*, 1979; Tobin, K., 1986; Tamir, P. & Garcia, M.P., 1992; citados por Barberá, O. & Valdés, P. 1996), apresentando graves deficiências (García Barros, S. *et al.*, 1995), promovendo somente um tipo muito limitado de competências (Hodson, D. 1990; Miguéns, M. & Garret, R. M., 1991) e conduzindo a uma relativamente pequena motivação dos alunos (Barberá, O. & Valdés, P. 1996). Se uma tal lógica de aplicação do trabalho prático não serve uma moderna Educação em Ciência, nem um eficaz Ensino das Ciências, muito menos se adequa à perspectiva de Educação para a Sustentabilidade.

Alterar um tal estado de coisas implica (com base em Gil Pérez & Valdés, P., 1996) proceder por forma a:

- a) apresentar situações problemáticas abertas, com um nível de dificuldade adequado;
- b) favorecer a reflexão sobre a relevância e possível interesse das situações propostas, considerando as implicações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS);
- c) valorizar as análises qualitativas significativas, que ajudem a compreender e delimitar as situações apresentadas (à luz dos conhecimentos disponíveis, do interesse do problema, etc.) e formular perguntas operativas sobre o que se procura;
- d) suscitar a formulação de hipóteses como actividade central da investigação, susceptível de orientar a abordagem das situações e tornar explícitas as concepções prévias dos alunos;
- e) conceder muita importância à planificação da actividade prática (laboratorial e de campo) pelos próprios alunos;
- f) suscitar a análise detalhada dos resultados (sua interpretação física, fiabilidade, etc.) de acordo com o corpo de conhecimentos disponível, das hipóteses e resultados de outros grupos de alunos;

- g) desenvolver a capacidade de transferência (adaptação a outro nível de complexidade, problemas derivados, etc.) e contemplar as implicações CTS do estudo realizado (possíveis aplicações, repercussões negativas, etc.);
- h) solicitar um esforço de integração que considere a contribuição do estudo realizado na construção de um corpo coerente de conhecimentos, bem como as possíveis implicações noutros campos do conhecimento, construindo uma malha interdisciplinar;
- i) conceder especial importância à elaboração de "memórias científicas" (sobre o trabalho realizado), que possam servir de base para salientar o papel da comunicação e debate na actividade científica;
- j) potenciar a dimensão colectiva do trabalho científico organizando equipas de trabalho e facilitando a interacção entre equipas, funcionando o professor como um "investigador sénior".

### Trabalho prático, AP/PT e Educação para a Sustentabilidade

É na lógica do que acaba de afirmar-se sobre qual deve ser a natureza do trabalho prático e sobre o que atrás se disse sobre a Educação para a Sustentabilidade que deve questionar-se de que forma a área projecto (recorrendo ao trabalho prático) pode ser um importante instrumento de Educação para a Sustentabilidade. Na figura 3 ilustra, de forma sinóptica, os domínios relacionáveis com a ideia de desenvolvimento sustentável e, como tal, potencialmente envolvidos numa Educação para a Sustentabilidade, relacionando tais domínios com as diversas disciplinas que integram o currículo.

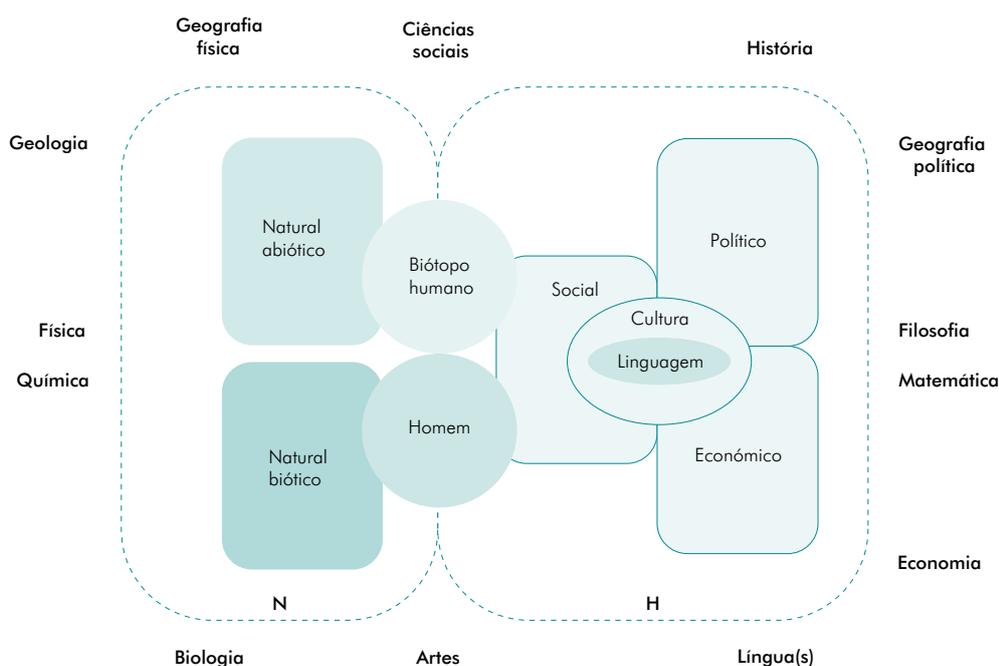


Figura 3

Da análise da figura pode concluir-se que, por um lado, todos os domínios disciplinares estão ou podem/devem estar envolvidos numa Educação para a Sustentabilidade e, por outro lado, todos esses domínios podem dar uma contribuição à completa implementação interdisciplinar da Área Projecto.

ESQUEMA DE ABORDAGEM INVESTIGATIVA DE SITUAÇÕES PROBLEMÁTICAS

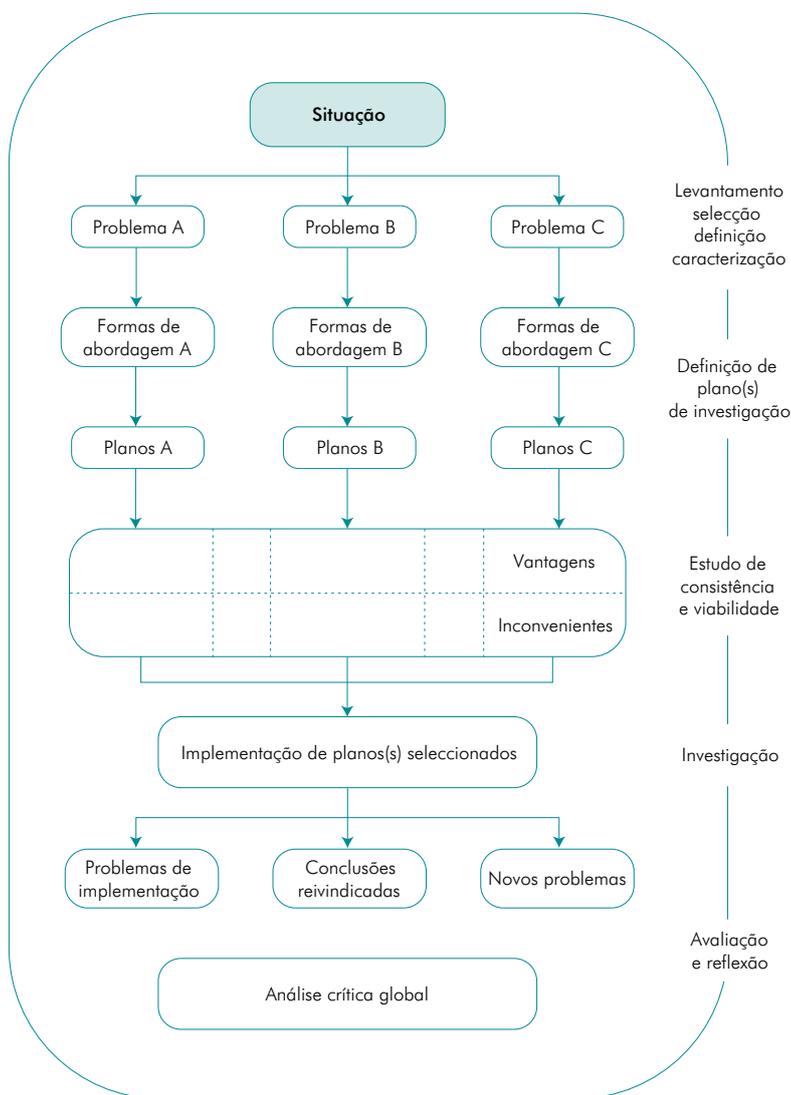


Figura 4

Na figura 4 encontra-se representado aquilo que poderá considerar-se um esquema geral de implementação do trabalho prático numa perspectiva investigativa e na figura 5 representa-se, de forma igualmente esquemática, como poderão/deverão pensar-se, preparar-se e concretizar-se as chamadas aulas de campo (por vezes, também designadas por "visitas de estudo").

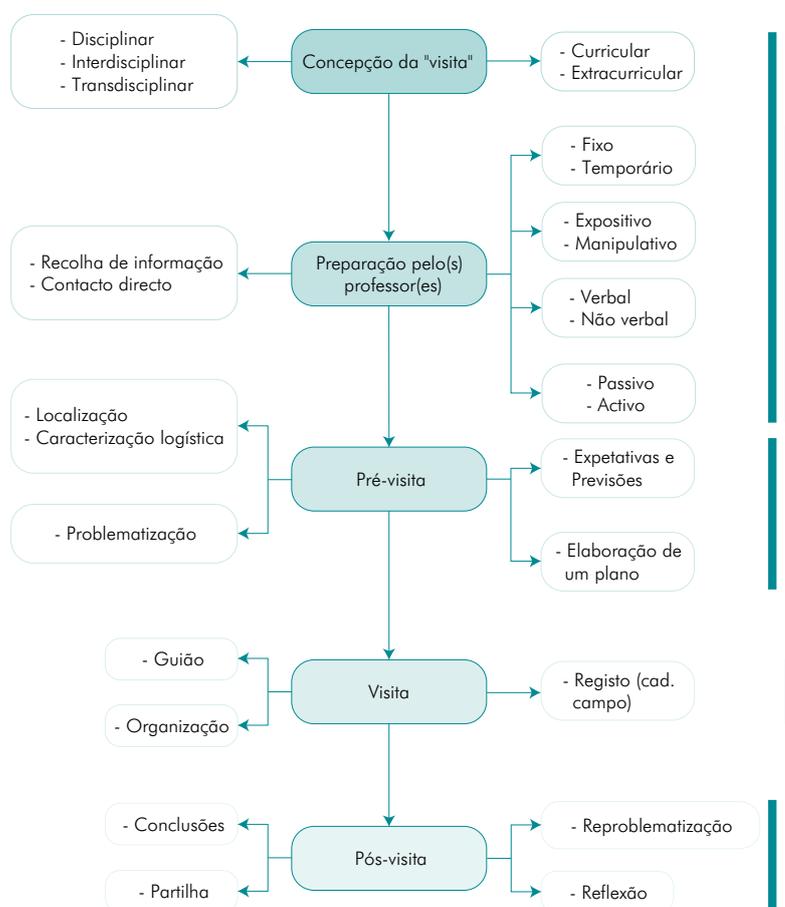


Figura 5

Finalmente, na figura 6 apresenta-se aquilo que poderá ser considerado um esquema geral de inter-relacionamento entre actividades de campo e actividades laboratoriais de carácter investigativo, incluindo possível construção de modelos de estudo e investigação.

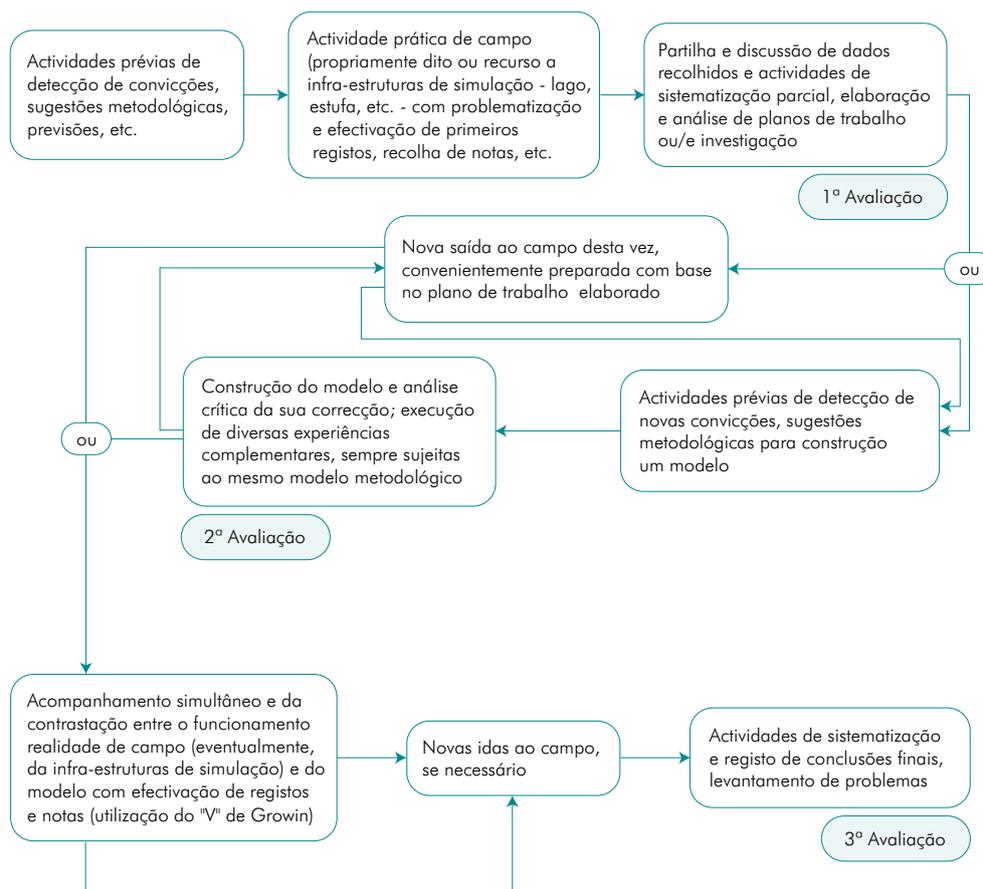


Figura 6

A implementação da AP/PT, nos termos que acabam de ser enunciados exige, também, a adopção de medidas no domínio da construção e reconstrução do saber, na estrutura curricular dos cursos superiores (particularmente, os que de alguma forma estejam relacionados com a formação de professores) e, ainda, alterações de certas infra-estruturas e lógicas organizacionais das escolas do ensino básico e secundário.

## Conclusões

1. A Educação para a Sustentabilidade pode pois ser vista como um novo paradigma educativo que aponta para a educação permanente orientada para uma cidadania responsável, assente em competências criativas de resolução de problemas, em literacia científico-tecnológica e social e um forte compromisso de envolvimento em acções responsáveis que ajudem a compatibilizar a defesa do ambiente com um presente e um futuro economicamente prósperos, para todos".
2. A Educação para a Sustentabilidade não pode, pois, ser entendida como a adição de mais uma componente de formação, mas antes como uma reformulação geral dos currículos dos conteúdos e das metodologias, uma verdadeira revolução paradigmática com toda a lógica clássica de organização curricular e intervenção pedagógica e todas as reestruturações que, de uma ou de outra forma, vão fazendo diversos tipos de compromisso com ela.
3. A revisão curricular do ensino secundário (em curso), conjugada com a revisão curricular do ensino básico deverá ser aproveitada para tentar organizar o ensino numa perspectiva de Educação para a Sustentabilidade.
4. A Área Projecto/Projecto Tecnológico pode e deve ser voltada para este objectivo e, como área claramente inter ou transdisciplinar, esta componente curricular pode servir de motor a todo um inevitável e urgente processo de reorientação da educação formal no sentido da procura e construção da sustentabilidade.
5. Em tal processo, independentemente do papel da teoria e da integração conceptual, o trabalho prático (de campo, laboratorial e de inter-relação entre estas duas dimensões), nomeadamente, o trabalho experimental cumpre um papel essencial.
6. Para poder cumprir tal papel, o trabalho prático deverá afastar-se de conceptualizações e práticas conservadoras, ilustrativas e/ou demonstrativas, mecanicistas e rotineiras e assumir-se como eminentemente investigativo, como desenho e implementação de percursos investigativos problematizadores e reflexivos que, centrados em realidades concretas e locais, permitam conceptualizações globalizantes que concretizem a máxima "agir local e pensar global".

## Referências Bibliográficas

Barberá, O. & Valdés, P. (1996). *El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión*. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 365-379.

Bifani, (1999). *Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Madrid: IEPALA Editorial.

DES (2000). *Revisão Curricular no Ensino Secundário. Cursos Gerais e Cursos Tecnológicos*. Lisboa: DES, Ministério da Educação

Dourado, L. & Sequeira, M. (no prelo). *Lab work and field work in the study of ecosystems - an investigative approach*. Proceedings of BIOED 2000.

Dourado, L. & Freitas, M. (no prelo). *Contextualização Geral das Acções de Formação*. In Dourado, L. / Freitas, M. (Coord.), *Ensino Experimental das Ciências. Concepção e concretização das Acções de Formação*, Lisboa: DES, Ministério da Educação.

Fien, J. & Maclean, R. (2000). *Teacher Education for Sustainability*. II. Two Teacher Education Projects from Asia and the Pacific. *Journal of Science Education and Technology*, vol.9, nº 1, p. 27-36.

Fien, J. (1999). *Reorienting Formal Education for Sustainable Development*. In EDP/UNESCO, *Sustainable Development - education the force of change*. Caracas: Graphic Arts and Publications Service of the International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean, p. 63-94.

Garcia Barros, S. et al. (1995). *El trabajo práctico: una intervención para la formación de profesores*. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 203-209.

Hodson, D. (1990). *A critical look at practical work in School Science*. *School Science Review*, 71(265), 33-40.

Hodson, D. (1992). *Redefining and reorienting practical work in school science*. *School Science Review*, 73(264), 65-78.

IUCN (1999). *Education for Sustainable Future: from International Consensus*. In EDP/UNESCO, *Sustainable Development - education the force of change*. Caracas: Graphic Arts and Publications Service of the International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean,, p. 291-300.

Mayor, F. (1999). *The Role of Culture in Sustainable Development*. In EDP/UNESCO, *Sustainable Development - education the force of change*. Caracas: Graphic Arts and Publications Service of the International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean, p. 11-16.

Mortensen, L. (2000). *Teacher Education for Sustainability*. I. Global Change Education: *The Scientific Foundation for Sustainability*. *Journal of Science Education and Technology*, vol.9, nº 1, p. 27-36.

Nações Unidas (1992). *Conferência das Nações Unidas sobre ambiente e desenvolvimento - Agenda 21*. Versão portuguesa (1993). Lisboa: IPAMB.

Politi, E. (1999). *The Role of an Educational Institution in Environmental Changes*. In EDP/UNESCO, *Sustainable Development - education the force of change*. Caracas: Graphic Arts and Publications Service of the International Institute for Higher Education in Latin America and the Caribbean, p. 57-62.

Gil Pérez, D. & Valdés Castro, P. (1996). *La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo*. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.

# 2

A Importância Educativa  
das Ciências

## 2.1 A Física: uma Representação da Realidade que nos Cerca

J.M.SERRA, J. MAIA ALVES

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

"O esforço para ler o grande romance policial da Natureza é velho como o próprio pensamento humano. Mas há apenas uns três séculos que os estudiosos começaram a compreender a língua em que o livro está escrito."

A.Einstein e L.Infeld  
In "A Evolução da Física"

Uma Ciência é sempre uma tentativa de representação da realidade que nos cerca. Esta representação, feita através de modelos que construímos mentalmente, deve ser o mais simples, abrangente e coerente possível, e permitir fazer previsões sobre o futuro dos sistemas que se pretendem representar. Entende-se naturalmente aqui como futuro qualquer instante posterior à observação com base na qual a previsão é feita. O único critério objectivo que nos permite avaliar a validade dos modelos criados é o acordo ou desacordo dessas previsões com o comportamento dos sistemas em estudo.

Definida desta forma não existe qualquer dúvida de que, sendo única a realidade que nos cerca, o mesmo se deve passar relativamente à Ciência. Ou, dito de outra forma, os diferentes ramos da Ciência hoje existentes são apenas o resultado de diferentes processos de construção de modelos relativos a diferentes aspectos da realidade que, sendo de alguma forma ainda incipientes, estão neste momento relativamente longe de se interpenetrarem para, fundindo-se, conduzirem a uma representação global da realidade. Esta evolução na visão que temos do mundo só será possível pelo facto de os diferentes ramos das Ciências utilizarem uma linguagem comum, a Matemática, também ela uma criação humana especialmente vocacionada para a objectividade e clareza. Apesar das dificuldades de todo este processo, é já clara a existência das pontes que conduzirão a esse saber de alguma forma global, bem patententes nos aspectos mais interdisciplinares da Ciência, sendo também claro que, em grande parte devido aos diferentes graus de complexidade dos seus objectos de estudo, as diferentes disciplinas científicas se encontram em diferentes estádios desta evolução.

A utilização de uma linguagem adequada é fundamental para uma Ciência progredir. Uma reflexão sobre o que foi a evolução histórica dos modelos utilizados na representação da realidade na área disciplinar da Física é elucidativa relativamente a esta questão, na medida em que mostra inequivocamente que a escolha da linguagem não é feita por acaso, ou seja, depende das concepções que os "cientistas" têm do mundo, da forma como o imaginam e, também, porque não admitti-lo, dos seus mitos e crenças. Assim se compreende a Física de Aristóteles, que procurava descrever dois mundos com características distintas: o de "cima" e o de "baixo". Os elementos básicos, terra, água, ar e fogo tinham o seu lugar próprio e tendiam sempre para esse lugar natural. Era pois normal que as pedras caíssem, pois a terra fica em baixo. Apesar do tipo de argumentação utilizado, que hoje nos parece desajustado relativamente ao que seria de esperar de uma Ciência, a verdade é que está aqui já patente a ideia de que a avaliação da validade dos modelos através dos quais representamos o mundo deve ser feita confrontando as suas previsões com o que se observa. Nesse sentido, este modelo do mundo como estando subdividido no "mundo de cima" e no "mundo de baixo" parece poder ser validado pela experiência, pelo menos quando nos limitamos a observar a realidade que nos está muito próxima. É claro que a verificação da existência de pedras na lua destruirá por completo esta visão do mundo, da mesma forma como, ao longo da História, muitos outros modelos foram (e serão) impiedosamente desmontados por uma leitura mais correcta da realidade.

Este facto está bem patente na evolução histórica da descrição dos movimentos dos corpos, que tantas discussões suscitou ao longo dos séculos. Consideremos um corpo em repouso. Sabemos que, se o puxarmos ou empurrarmos, ele se moverá. Da nossa experiência deduzimos que quanto mais força aplicarmos, mais rapidamente ele se moverá. Foi com base neste tipo de observações que Aristóteles concluiu que "o corpo estaciona quando a força que o impele cessa de agir." Esta afirmação deixa-nos plenamente satisfeitos já que vai de encontro à nossa própria percepção. Sabemos que se deixarmos de empurrar o carro (o corpo) ele se deterá ao fim de algum tempo. Mas procurando dar um passo em frente atentemos no seguinte: como conseguir que o carro se desloque durante mais tempo quando o largamos? Novamente a nossa intuição diz-nos que a solução consiste em lubrificar os eixos do carro e, eventualmente, tornar a estrada mais lisa. Esta constatação indica-nos que existe uma interacção qualquer entre as rodas do carro e o eixo (e o chão) que, não percebemos ainda como, de alguma forma "gasta" o movimento do corpo. Podemos então imaginar uma experiência conceptual em que conseguiríamos eliminar totalmente essa interacção. Que esperaríamos observar então? Que, como concluiu Galileu através do raciocínio acima exposto, "o corpo continuaria indefinidamente sem nunca parar", ou seja, que a velocidade de um corpo não nos dá indicação sobre as forças que sobre ele actuam. Chegamos assim àquilo que Newton designaria mais tarde por lei da inércia: "Todos os corpos se conservam em estado de repouso, ou em movimento uniforme em linha recta, salvo se forem compelidos a sair desse estado por acção de forças exercidas sobre ele."

Repare-se que esta lei não pode ser deduzida directamente de qualquer experiência já que nunca conseguiríamos eliminar completamente essa interacção (o atrito). Este facto mostra claramente que a construção da Ciência (neste caso da Física) não se faz exclusivamente com base nas experiências realizáveis, mas

também, e por vezes de uma forma decisiva, com base em experiências conceptuais ou até idealizações de resultados experimentais. É possível assim fazer representações cada vez mais simples e abrangentes da realidade, à medida que vamos de alguma forma retirando do nosso caminho "detalhes" que nos confundem, e propondo uma nova interpretação para aquilo que observamos. Claro que esses mesmos "detalhes", vistos já com outros olhos, terão também eles de ser devidamente explicados posteriormente pelos nossos modelos, sem o que deixaremos de estar a fazer Ciência.

Voltemos um pouco atrás para nos debruçarmos um pouco sobre o significado de alguns termos que "importamos" da linguagem do dia-a-dia: utilizámos a palavra força para designar a nossa acção sobre o carro. Mas o que é uma força? Se por um lado a associamos ao acto de empurrar ou puxar, também falamos dela num sentido mais lato quando nos referimos à força que o Sol exerce sobre a Terra. Em rigor podemos dizer que quando afirmamos que uma pedra cai por se encontrar sob a acção de uma força de atracção por parte da Terra não estamos a explicar mais nada relativamente à essência das coisas do que se explicava quando se afirmava que a pedra caía porque pertencia ao "mundo de baixo". Porquê optar então pela utilização da mecânica de Newton para explicar o movimento da pedra? Em primeiro lugar porque essa descrição nos permite explicar de uma maneira simples e coerente fenómenos que, à luz da teoria dos dois mundos, são desconexos e mesmo contraditórios. Em segundo lugar porque, enquanto que a teoria dos dois mundos apenas é formulável em termos da linguagem comum, a mecânica de Newton é uma construção solidamente alicerçada numa linguagem objectiva como a Matemática, com uma capacidade de previsão que permite, por exemplo, colocar homens no "mundo de cima", ou seja, na lua! Não se pense, no entanto, que a afirmação "um objecto cai porque está sujeito a uma força" dê alguma explicação de fundo para essa mesma realidade. A teoria da relatividade virá, precisamente, reformular estes conceitos fornecendo uma explicação do real totalmente diferente para descrever os mesmos movimentos.

Em resumo, uma coisa é a realidade, outra são os modelos que utilizamos na sua representação que constituem a Ciência. Como dizia Einstein, o nosso esforço para compreender a realidade pode ser comparado ao de alguém que procura adivinhar o mecanismo de um relógio sem nunca poder observar o seu interior. Pode imaginar um maquinismo que esteja de acordo com o que se observa exteriormente (os ponteiros, o tique-taque etc.) mas não poderá nunca ter a certeza de que o seu maquinismo seja o único que pode explicar o funcionamento do relógio.

A Física funciona assim com base em modelos que são aplicados a todo o mundo físico. Se por um lado a sua desadequação a determinadas situações mostra as limitações do modelo, essas situações constituem o que podemos designar de pontos de escape para o desenvolvimento de novas teorias, de novos modelos. Assim aconteceu com a teoria newtoniana da gravitação e o problema do desvio do periélio de Mercúrio, que deu origem à relatividade, e com a chamada "catástrofe do ultravioleta" que deu origem à mecânica quântica. Esta, embora utilizando conceitos que colidem fortemente com as nossas concepções do mundo, foi a que mais impacto teve a nível social e económico na medida em que permitiu compreender os semicondutores, levando ao desenvolvimento espectacular da electrónica.

A chamada "sociedade da informação" tem na sua base o suporte tecnológico proporcionado pela área da física que aborda, entre outros, os materiais semicondutores e que é designada genericamente por Física da Matéria Condensada. Hoje, quer o número de publicações e artigos científicos que existem sobre semicondutores, quer a enorme quantidade de dispositivos tecnológicos que os utilizam, nomeadamente o mais importante de entre eles -, o silício, é tal que podemos dizer que à Idade do Cobre e à do Ferro se segue a Idade do Silício.

O desenvolvimento científico possibilitado pelos conhecimentos nesta área é enorme e estende-se a várias Ciências como a Química, a Biologia e a Geologia, para mencionar apenas algumas. Qualquer delas está hoje fortemente dependente da tecnologia de que necessita para os seus sistemas de medida e de aquisição de dados, já que são Ciências eminentemente experimentais. No entanto a interacção da Física com outros ramos do conhecimento científico não se reduz a um papel serventário das outras Ciências. Com efeito o desenvolvimento científico tem estado baseado no pressuposto de que é necessário separar para analisar. A Ciência apresenta-se assim cada vez mais especializada e compartimentada, mesmo dentro de uma dada disciplina. Mas esta discretização do real, associada à especialização, é tal que começa a possibilitar a interacção entre duas disciplinas no estudo de determinados sistemas. Esta convergência, em que duas ou mais disciplinas contribuem para a compreensão do real, é o que designamos por interdisciplinaridade.

O mundo real não se encontra compartimentado nas disciplinas criadas pelo Homem, e esse facto constituiu um obstáculo inicial ao desenvolvimento da Ciência. Muitos objectos e fenómenos com que lidamos no dia-a-dia indicam-nos isso mesmo.

Porque é então importante uma Educação em Ciências?

Repare-se que as Ciências tratam de problemas que nos interessam a todos; a vida, a matéria, o universo, o ambiente etc. O seu valor decorre dos reflexos que têm na nossa vida. Sem querermos ser exaustivos podemos apontar alguns aspectos que se nos afiguram relevantes e que estão indubitavelmente associados à Educação em Ciências.

#### O gosto pela verdade

Com efeito a Ciência não nos revela a verdade; diz-nos o que há de verdade na visão que temos do universo e do mundo que nos rodeia. O exemplo da queda dos graves é um exemplo paradigmático. Esta verdade, ainda que relativa e de algum modo associada a uma determinada época, constitui um elo de ligação das diferentes facetas da realidade. O próprio desenvolvimento científico se encarregará de a substituir por outra.

#### A humildade

A Ciência assume claramente e sem complexos que não sabe a resposta a todas as perguntas, nem sequer sabe ainda as perguntas a formular. Neste sentido a Ciência constitui uma escola de modéstia, de questionamento constante sobre o próprio pensamento. Dizia Newton que a sua contribuição para o desenvolvimento da Física se devia ao facto de estar aos ombros de gigantes!

### O rigor

A Educação em Ciências, quer envolva a manipulação matemática, quer a realização de uma experiência, traça a fronteira entre a realidade e a imagem que temos dessa realidade. A utilização de um "objecto de estudo" concreto, neste caso a Mina de S.Domingos, constituiu uma forma de inverter a abordagem mais tradicional, que parte do laboratório para o exterior, para dar lugar a uma perspectiva em que se parte de uma realidade concreta - o objecto educativo - com os problemas que tal objecto levanta e se transporta para o laboratório, onde se efectua o estudo de aspectos parcelares. Esta abordagem torna perfeitamente natural uma visão interdisciplinar do real. Note-se que o estudo do objecto implica uma estruturação do pensamento que passa pela:

- I) observação crítica e formulação de hipóteses susceptíveis de serem testadas
- II) concepção de procedimentos e selecção de equipamentos que permitam a verificação das hipóteses formuladas
- III) realização da(s) experiência(s), análise dos dados recolhidos e crítica

### A imaginação

O processo de construção da Ciência é eminentemente imaginativo (lembramos o exemplo do relojoeiro) e, neste sentido, a sua aprendizagem estimula fortemente os seus intervenientes, mostrando caminhos nunca antes imaginados.

A Educação em Ciências, tomada como um processo de construção de saberes e não como uma mera transmissão desses saberes, tem assim reflexos na formação do indivíduo, que vão para além da Ciência propriamente dita e constituem uma mais valia para a sua formação. A Educação em Ciências não só contribui para a formação do indivíduo como cidadão mas torna-o também futuro construtor dos saberes e agente activo da sua própria formação na medida em que lhe fornece métodos e instrumentos de análise do real.

A Física, assim como as outras Ciências, dá-nos uma nova visão do mundo e a capacidade de o transformar, pelo que o seu impacto cultural é inegável.

Assim, aprender Ciência, para além do desenvolvimento do indivíduo como tal, preparando-o para tarefas futuras que venha a desempenhar, tem o papel de o informar e de lhe permitir tomar decisões fundamentadas, contribuindo desta forma para uma cidadania responsável.

## 2.2 Importância Educativa da Química

MARIA ELISA MAIA

Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Segundo uma definição que aparece em muitos livros, a Química é o ramo da Ciência que estuda a matéria e as suas transformações. Esta definição acentua a vertente relativa à análise das substâncias e sua constituição e ao estudo da forma como e por quê as reacções químicas ocorrem. Aspectos mais relacionados com a síntese química são, por outro lado, focados em definições que privilegiam a construção de novas formas de matéria que não existiam antes na Natureza. Novos materiais, como plásticos, antibióticos ou detergentes, por exemplo, fazem actualmente parte tão integrante do nosso quotidiano que quase esquecemos a sua origem "não natural". Mas a Química vai mais longe, contribuindo para esclarecer a complexidade molecular do mundo em nosso redor, estabelecendo pontes com outras ciências, tentando assim alargar as fronteiras do conhecimento. Todos estes aspectos de uma ciência multifacetada, útil e criativa justificam a necessidade de integrar o estudo da Química na educação básica, pelo seu valor educativo, em termos de aquisição de valores culturais e promoção de cidadania, e ainda pela contribuição para o desenvolvimento da literacia científica, até pela aprendizagem de uma linguagem simbólica universal, veículo de comunicação entre povos, independente da língua ou da forma de escrita original.

A necessidade da continuação do progresso científico e industrial de uma área tão importante nas suas vertentes práticas de ciência aplicada exige ainda a formação de técnicos de diferentes níveis, capazes de utilizar conhecimentos de química pelo seu valor prático. Para isso é então necessário o estudo de química que, não descurando a formação teórica, apresente características mais práticas, em cursos técnico profissionais e de engenharia. Mas, para além da formação de técnicos e engenheiros, indispensáveis ao desenvolvimento industrial, há também necessidade de investigação, tanto fundamental como aplicada, exigindo uma formação de perfil mais orientado para aspectos de desenvolvimento teórico. No entanto as distinções entre investigação fundamental e investigação aplicada são muitas vezes ténues, interligando-se frequentemente as duas vertentes, que também obviamente interagem com aspectos de produção industrial.

Para perspectivar o futuro da Química, é necessário não só saber como ela se apresenta hoje em dia, mas também olhar para o passado para ver como evoluiu e como afectou o desenvolvimento social e cultural da Humanidade. Importa ter uma ideia, mesmo que muito brevemente esboçada, de alguns dos seus paradigmas fundamentais e de como estes foram sendo substituídos ao longo dos tempos, ou seja de como se foi construindo esta ciência.

As primeiras reacções químicas que o homem conheceu e aprendeu a controlar, há mais de 400 000 anos, foram provavelmente as de combustão envolvidas na produção de fogo. Essas reacções foram depois usadas para produzir outras transformações, ao cozinhar, ou para fabricar utensílios de cerâmica, por cozedura de pastas de argila. Mais tarde, já com utilização de fornos, teve início a extracção de metais a partir de minérios. Inicialmente devido ao acaso, pouco a pouco por experimentação, as técnicas de preparação e cozedura de pastas foram melhoradas, os utensílios começaram a ser decorados com pigmentos vários, a metalurgia de diferentes metais foi-se aperfeiçoando. Ao longo de milénios, da pedra passou-se ao bronze (liga de cobre e estanho) e depois ao ferro, transições tão importantes que constituem marcos divisórios nas idades pré-históricas.

A utilização e desenvolvimento destas técnicas e de várias outras que foram surgindo, como a de fabricação de vidro, cosméticos, corantes e pigmentos, unguentos e bálsamos, materiais de construção como o gesso, etc., consideradas como técnicas químicas primitivas, não pressupõem conhecimentos teóricos sobre as transformações que ocorriam durante as diversas preparações, mas tão só um conhecimento empírico, baseado em experimentação, primeiro por tentativa e erro, depois certamente de forma mais sistemática. Note-se que a obtenção de ferro de qualidade satisfatória, por exemplo, exige a utilização de técnicas metalúrgicas já bastante elaboradas, que implicam, entre outra coisas, o controlo da temperatura do forno.

As primeiras tentativas de explicação teórica de fenómenos químicos, que se conhecem no mundo ocidental, são as de filósofos da Grécia antiga, que se preocuparam com a constituição e transformação da matéria. As teorias propostas sobre os elementos constituintes do Universo, por sucessivos filósofos que as foram elaborando cada vez mais, deram finalmente origem à teoria de Aristóteles dos "quatro elementos" - Terra, Ar, Fogo e Água - que se podiam transmutar entre si, por modificação das suas qualidades. Nestas teorias, que pressupõem a continuidade da matéria, os elementos são considerados princípios, não correspondendo na realidade a entidades químicas.

A estas teorias opôs-se uma outra, mais ou menos contemporânea, proposta por Leucipo e depois Demócrito, que admitia que a matéria não é indivisível até ao infinito, chegando-se finalmente à mais pequena partícula, o "átomo", aquilo que não se pode dividir. A teoria atomista, retomada e desenvolvida já no século I aC pelo romano Lucrecio, é uma teoria materialista menos adaptada à mentalidade de Homens que acreditavam em deuses do que as teorias dos elementos, e daí o seu pouco sucesso na época. Só muito mais tarde, em tempos mais racionalistas, recomeçaram a emergir teorias corpusculares que estiveram na base das propostas de Dalton e Avogadro, marcos fundamentais da Química moderna.

Como se disse atrás, as teorias dos elementos dominaram na Grécia, tendo-se também espalhado por todo o mundo culto da época. Sob o Império de Alexandre a influência grega chegou à Ásia Menor e ao Egito, a Alexandria. Foi nesta cidade, cruzamento de civilizações ocidentais e orientais, que da mistura das ideias de Aristóteles com o gnosticismo de origem oriental e com conhecimentos de técnicas de química, nomeadamente de metalurgia e de preparação de drogas e filtros variados, se foi construindo aquilo que se veio a chamar Alquimia. Não sendo ainda uma ciência, a Alquimia acumulou um *corpus* de conhecimentos, nomeadamente de natureza experimental, que está na base da Química actual. De referir o desenvolvimento de diversas técnicas de preparação e de purificação de substâncias ainda actualmente utilizadas, como calcinações, destilações e cristalizações e o estudo de muitos compostos químicos de origem natural ou produzidos por transformações químicas.

A Alquimia, que é constituída, como se disse, por uma mistura muito complexa de tradições filosóficas gregas, misticismo de origem oriental e tecnologia de base química, não é uma ciência e nem mesmo se pode considerar como uma pré-química, pois tem um enquadramento conceptual totalmente diferente. Ao aceitarem as ideias de Aristóteles sobre os quatro elementos e a possibilidade da sua transmutação, os alquimistas orientaram a sua experimentação no sentido de uma procura, muitas vezes de sentido religioso, da "pedra filosofal", objecto filosófico que permitiria, entre outras coisas, a transmutação de vis metais, como o chumbo, em ouro, metal nobre, perfeito. Nesta transformação, durante a "grande obra", não é só para o metal como também para o experimentador - o alquimista - que se visa alcançar a perfeição.

Os Árabes, ao estenderem o seu domínio ao Egito e Ásia Menor, apropriaram-se das bibliotecas e dos conhecimentos aí existentes, traduzindo inúmeros textos do grego ou outras línguas para árabe. No que respeita à Alquimia, caso que aqui nos interessa, não só utilizaram como desenvolveram muito as técnicas experimentais de preparação e purificação de diversas substâncias, como também procuraram estabelecer sistemas, embora ainda muito incipientes, para a sua classificação. Alargaram o leque de substâncias conhecidas e estudaram também diversas reacções, nomeadamente as de neutralização de ácidos com bases (*alcalis*).

A extensão do império árabe para ocidente trouxe a Alquimia até à Península Ibérica, de onde penetrou no mundo europeu medieval, por via de traduções, agora do árabe para o latim. As teorias alquímicas encontraram eco no ambiente místico da Europa de então, havendo um verdadeiro florescimento de alquimistas notáveis que ficaram famosos na História. Note-se que, no entanto, a Alquimia medieval não mudou de paradigmas, continuando a inscrever-se num quadro conceptual em que é fundamental a teoria dos quatro elementos e a possibilidade da sua transmutação.

No início do Renascimento, devido à influência de Paracelso, a Alquimia tomou novos rumos em que foi decisiva a sua ligação à Farmácia e Medicina. Embora ainda inserindo-se no enquadramento da Alquimia, Paracelso, ao procurar preparar medicamentos para várias doenças, chegou a noções químicas fundamentais, como as de pureza - a substância pura - e de entidade química. Em paralelo estabeleceu ainda as bases da moderna Toxicologia ao afirmar que a dose é que faz o veneno.

Depois de Paracelso a Alquimia virou-se cada vez mais para uma experimentação em busca da produção de novas substâncias, deixando a pouco e pouco a procura mística da Pedra Filosofal e assim muitos outros químicos/alquimistas foram levando a Alquimia para os caminhos da Ciência. Não há, porém, um corte abrupto entre Química e Alquimia, mas sim uma transição lenta com avanços e recuos. Robert Boyle, um destes "novos alquimistas", representa um verdadeiro marco nesta evolução. O seu trabalho de experimentação cuidadosa e controlada levou-o a propor uma definição de elemento químico como ponto último da análise química, o que representa uma clara ruptura com a teoria dos quatro elementos. A definição apresentada parece-nos, hoje em dia, ainda um pouco confusa, mas estabelece a noção de elemento como entidade química.

O estudo da Química das combustões e dos gases, nos finais do século XVII, foi uma etapa definitiva na definição de caminhos da Química, havendo um reaparecimento da teoria atômica com Descartes e Newton. No entanto a teoria corpuscular não destronou ainda as teorias elementais. É interessante referir que, apesar de ter proposto a teoria da atracção mútua entre corpúsculos, o próprio Newton se considerava um alquimista.

Por outro lado, foi por essa época que surgiu, nomeadamente com Stahl, uma curiosa teoria que pode ser considerada a primeira teoria científica da Química. Embora completamente errada, a "teoria do flogisto", como foi chamada, foi a primeira teoria unificadora que considera de uma forma global as reacções de combustão e as calcinações de metais. Segundo esta teoria, ao arderem, as substâncias libertam o seu "flogisto" que vai para o ar normal (ar desflogisticado que permite as combustões), transformando-o em ar flogisticado que já não permite mais combustões. Por outro lado, quando se calcina um metal, a saída do flogisto deixa como resíduo a cal (o óxido do metal). Para regenerar o metal é necessário voltar a transferir para a cal o flogisto contido em corpos, como por exemplo o carvão, que são ricos em flogisto.

As reacções de ácidos com metais também podem ser explicadas pela teoria do flogisto. Assim, quando Cavendish isolou o hidrogénio libertado pensou ter isolado o flogisto puro, dado que ele arde sem deixar resíduo visível. O flogisto funcionaria então como fogo fixado na matéria, e todas estas reacções de combustão ou mais geralmente de oxidação-redução, como actualmente são designadas, dar-se-iam por transferência de flogisto.

Para permitir considerar dentro de um mesmo enquadramento teórico as reacções de combustão e as de calcinação, em que o metal reconhecidamente aumenta de peso ao libertar flogisto, foi necessário admitir que o flogisto teria peso negativo ou então uma "gravidade" diferente da matéria em que entrava. Note-se que, quando um corpo arde, a chama dirige-se para cima, o que reforça esta ideia.

Apesar destas "pequenas ambiguidades", a teoria fornecia explicações coerentes para muitas reacções químicas, o que levou muitos químicos reconhecidos a aceitá-la. Mesmo a descoberta do oxigénio, por Scheele e Priestley, ainda foi enquadrada dentro da teoria do flogisto, sendo este gás considerado como puro ar desflogisticado.

Foi preciso o trabalho de Lavoisier, com as suas experiências quantitativas sobre combustões e calcinações, para pôr em causa a teoria do flogisto. Segundo as novas teorias antiflogísticas não existe flogisto e o princípio activo destas reacções é o oxigénio, o que modifica radicalmente o quadro conceptual em que se inserem. Com um procedimento experimental meticulosamente controlado e quantificado, utilizando instrumentos de precisão nomeadamente balanças fabricadas especialmente para ele, Lavoisier estabeleceu definitivamente os fundamentos da Química científica, em que os elementos químicos, tal como já apontado por Boyle, não são princípios, mas sim substâncias não decomponíveis por análise química, com a sua identidade bem definida. Os elementos conhecidos na época por Lavoisier estão representados numa tabela em que faltam obviamente muitos elementos isolados mais tarde e onde aparecem também alguns compostos considerados elementos, por não se conseguir ainda decompô-los. Mas o mais curioso é que aí figuram também, como elementos, a luz e o calórico.

Lavoisier estabeleceu ainda com rigor o princípio da conservação da massa, abrindo caminho às leis ponderais e mais tarde à teoria atómica de Dalton e, juntamente com outros químicos franceses, contribuiu decisivamente para a sistematização racional da nomenclatura dos compostos químicos.

As novas ideias da Química coincidem com o início da Revolução Industrial. Para a preparação em grande escala de muitos produtos como os têxteis, o vidro, a porcelana ou os sabões, por exemplo, são necessários produtos químicos de qualidade e em quantidade, o que exigia novas formas de preparação. A Química entrou assim na era industrial, tendo-se tornado rapidamente um dos motores de desenvolvimento de um país. Mas a grande indústria química estabeleceu-se verdadeiramente no Século XIX, ao mesmo tempo que os fundamentos teóricos da Ciência Química se iam consolidando.

Apesar de isso nos poder parecer estranho actualmente, a teoria atómica de Dalton, proposta já no início do século XIX, encontrou resistências por parte de muitos químicos, não conseguindo impor-se logo de início, pois não é indispensável para o cálculo das proporções de combinação dos elementos químicos numa substância e determinação da sua fórmula. Tais cálculos podem fazer-se por via matemática, considerando equivalentes químicos dos elementos, sem implicar a necessidade de admitir a existência de átomos constituintes das substâncias. Só depois do 1º congresso de Química, o Congresso de Karlsruhe, que reuniu os principais químicos da época, em 1860, e por influência de Cannizzaro, que divulgou a teoria molecular de Avogadro até então quase desconhecida, se harmonizaram as duas teorias e finalmente foi aceite a teoria atómica e a constituição molecular das substâncias. Ficou assim aberto o caminho ao estudo das ligações químicas entre os átomos, considerados ainda partículas indivisíveis, para formar moléculas representativas das substâncias.

Entretanto o desenvolvimento da Química Orgânica tardou em acontecer. É evidente que já muitos compostos orgânicos eram conhecidos, mas pouco se sabia sobre eles e nada sobre como prepará-los por síntese em laboratório. Aliás a designação "Química Orgânica" traduz a ideia, geralmente admitida até ao primeiro quartel do século XIX, de que havia compostos - orgânicos - que só se

podiam obter a partir de organismos vivos, sendo indispensável a "força vital" para a sua formação. O mito da "força vital" foi posto em causa por Woehler quando sintetizou pela primeira vez, em 1828, um composto existente na urina, a ureia, a partir de um composto sempre considerado mineral, não orgânico, fabricado em laboratório, o isocianato de amónio.

A síntese de um composto orgânico a partir de um composto mineral, contestando a ideia da impossibilidade da sua preparação laboratorial, abriu as portas à experimentação nesta área e levou ao rápido desenvolvimento da Química Orgânica. Em realidade verificou-se que o que distingue os compostos orgânicos dos minerais é, não a sua origem, mas a sua composição, em que é determinante a presença do elemento carbono.

A Química Orgânica, livre do mito, logo revelou as suas imensas potencialidades, traduzidas na produção de inúmeros novos compostos que podem agrupar-se em famílias que se relacionam entre si, construindo como que um edifício bem estruturado. A nomenclatura destes compostos e das suas famílias, já com características sistemáticas, embora usando ainda nomes com raízes por vezes não muito científicas, traduz a organização conseguida.

Uma estruturação semelhante faltava na Química Mineral que correspondia, no fundo, à Química de todos os outros elementos. Essa falha foi ultrapassada com a organização periódica dos elementos feita por tentativas de vários químicos, dos quais se destaca Mendeleef, que propôs um quadro organizativo dos elementos. Esse quadro, onde estavam os elementos distribuídos de forma periódica de acordo com os seus pesos atómicos e as suas propriedades, evoluiu até apresentar a forma familiar da Tabela Periódica actual, sendo um instrumento de trabalho indispensável de qualquer químico, presente em todos os livros e laboratórios de Química.

A evolução da Química Mineral e fundamentalmente da Química Orgânica tiveram reflexos imensos na sociedade devido à produção de compostos variadíssimos em escala industrial. Note-se que o desenvolvimento da Química no século XIX, tanto do ponto de vista teórico, como principalmente experimental, foi conseguido utilizando técnicas analíticas e preparativas, pouco sofisticadas, e "ferramentas" teóricas muito incompletas. Na verdade ainda não havia conhecimentos sobre a estrutura atómica em termos de núcleo e electrões, logo não se compreendiam as bases do Quadro Periódico. Nada se sabia sobre mecanismos reaccionais, nem sequer sobre como se estabelecem ligações químicas. Não existia nenhuma das técnicas analíticas instrumentais, como RMN ou espectrometria de massa, por exemplo. É aliás espantoso como os químicos do século XIX conseguiram tantos avanços na preparação de novos compostos e ainda mais surpreendente a forma como conseguiam determinar estruturas complexas usando recursos tão modestos.

A viragem do século, com a descoberta da radioactividade e da estrutura atómica, bem como a alteração de paradigmas com a teoria da relatividade e com a mecânica quântica, trouxe um enorme desenvolvimento dos conhecimentos teóricos da Química, que pôde então tratar em profundidade dos problemas da estrutura e reactividade dos compostos.

O desenvolvimento industrial adquiriu um ainda maior dinamismo. Surgiram novas indústrias como a dos polímeros, a dos produtos fitofarmacêuticos (vulgo pesticidas) ou, mais recentemente, a dos semicondutores. Novos materiais são constantemente desenhados e produzidos com objectivos específicos e "velhas" indústrias, como a indústria farmacêutica, seguem novos rumos.

Mas a Química não é uma Ciência isolada, há até quem lhe chame Ciência Central, pois se encontra na encruzilhada das várias disciplinas. Como exemplos pode referir-se que a Química colabora com a Física na Ciência dos Materiais e com a Astrofísica no estudo da constituição do Universo. Em ligação com a Geologia contribui para o esclarecimento da constituição da Terra e outros planetas. A relação íntima entre a Biologia e a Química tem trazido um enorme avanço no estudo da vida e dos seus processos e concomitantemente no de novos tratamentos médicos. O estudo do genoma humano ou dos problemas do cancro e da sida são bem exemplos deste trabalho de fronteira entre as duas ciências.

Vale e pena mencionar também a colaboração teórica muito importante com a Matemática e Ciência de Computadores na chamada Química Computacional e Laboratório Virtual e nos estudos de simulação de estruturas moleculares complexas. Estas simulações têm enorme importância na Biologia, Farmácia e Medicina.

Muitas vezes a Química é considerada como "ciência de serviço" devido principalmente à utilização dos seus métodos analíticos para fornecer dados para outras ciências - por exemplo para a História, na datação de objectos históricos. Mas, em vez de servidora também pode ser considerada como verdadeira parceira de investigação, dependendo da forma como se estabelece a colaboração. Um exemplo curioso de parceria entre Química e História, em que as duas disciplinas participam com igual estatuto, é um projecto de pesquisa de hábitos alimentares de civilizações há muito desaparecidas. Também para o conhecimento da História da Química é fundamental a parceria entre as duas áreas disciplinares.

As investigações policiais de homicídios ou falsificações necessitam frequentemente da colaboração inestimável da Química, sem a qual não poderiam por vezes chegar a bom termo. Veja-se em paralelo, a título de curiosidade, a imensa literatura policial que refere a Química e os seus serviços que também já contribuíram para reparar erros judiciais.

A estes exemplos mais ou menos tradicionais de ligações entre áreas disciplinares diferentes podem acrescentar-se muitos outros, mas não é necessário alongar a lista. É porém importante acentuar que actualmente muitas das áreas mais estimulantes de investigação e desenvolvimento se encontram em fronteiras interdisciplinares.

O papel fundamental da Química em todos os aspectos da actividade humana reflecte-se a nível social e económico. Basta verificar que várias das maiores multinacionais actualmente existentes envolvem directamente a Química e muitas outras estão também com ela relacionadas. Do ponto de vista social há um sem número de exemplos do impacte da Química no quotidiano. A alteração de hábitos de consumo e de outros padrões comportamentais em que a influência da Química foi determinante pode ser ilustrada por dois casos tipo - os plásticos e os

contraceptivos orais. Estas substâncias tiveram e têm também, paralelamente, um enorme impacto económico através das poderosas indústrias envolvidas na sua fabricação.

Pode dizer-se que a Química mudou dramaticamente o mundo, acrescentando ainda, para melhor e para pior. Para melhor, com o tratamento de várias doenças, com os fertilizantes químicos e com pesticidas que controlam pragas... para pior, com a produção de produtos cancerígenos e com a contaminação ambiental... São lados brilhantes e lados negros de uma ciência que participa tão quotidianamente na nossa existência que geralmente só é olhada através das suas aplicações ou consequências. Esquece-se o seu papel como ciência fundamental que procura estudar a constituição da matéria, a estrutura molecular e a reactividade dos compostos.

Os lados negros da Química e da Ciência em geral, ao contrário do que acontecia há pouco mais de 50 anos, ou melhor, antes de Hiroshima, são actualmente os mais visíveis, porque constantemente focados pelos *media*. Os efeitos catastróficos de vários tipos de poluição estão na ordem do dia, são notícia constante. As vitórias da Química, pelo contrário, são divulgadas quase somente em programas científicos de pouca audiência e o seu papel em realizações em parceria com outras ciências é habitualmente minimizado, indo o destaque para a Biologia ou Medicina. Não é, pois, de admirar que para o cidadão comum a expressão "químico" ou "produto químico" esteja conotada com problemas ambientais ou de saúde, contrapondo-se maleficamente ao que é "natural", que é "bom". Esquece-se que alguns dos mais poderosos venenos conhecidos são produtos naturais, produzidos por serpentes, peixes, insectos, cogumelos, esponjas, corais, plantas, bactérias, etc. Não é a forma de obtenção do produto, química ou natural, que o torna inócuo ou perigoso, mas a forma como é usado. Alguns destes "venenos" acima mencionados estão a ser estudados como anticancerígenos, obviamente sob administração controlada.

Não se pretende aqui defender a Química, mas tão somente realçar a sua importância actual como ciência central com profundas ligações interdisciplinares, e também como motor fundamental de desenvolvimento económico e social. Uma disciplina com estas características tem certamente um papel imprescindível na educação geral de todos os cidadãos. Não pode ser ignorada como disciplina informativa sobre o mundo em que vivemos, nem como disciplina formativa de uma forma de pensar esse mundo, em que se procura conhecer, em profundidade, o como e o porquê das transformações que nele ocorrem e a estrutura e propriedades das substâncias nelas envolvidas. Tem também um papel fundamental na formação especializada de todos os que dum forma ou de outra têm que utilizar conhecimentos teóricos ou técnicos para contribuir para o seu desenvolvimento ou para controlar a qualidade dos produtos produzidos e minimizar os riscos envolvidos na sua utilização.

## Bibliografia

Amorim da Costa, A.M., *Alquimia, Um Discurso Religioso*, Vega, Lisboa, 1999.

Amorim da Costa, A.M., *Da Transmutabilidade e Simplicidade da Água*, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, nº52, pp. 13-16, 1994.

Amorim da Costa, A.M., *Etapas do Incógnito, A Procura dos Alquimistas*, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, nº73, pp. 13-17, 1999.

Aromatico, A., *Alchimie, le Grand Secret*, Gallimard, Paris, 1996.

Atkins, P.W. e Beran, J.A., *General Chemistry*, Scientific American Books, New York, 1990.

Atkins, P.W. e Jones, L., *Chemistry - Molecules, Matter and Change*, Freeman, USA, 1996.

Bernardes, Padre Manuel, *O Alquimista*, *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*, nº54, pp. 70-71, 1994.

Blas, L., *Biografias e Descubrimientos Químicos*, Aguilar, Madrid, 1947.

Conant, J.B., *Harvard Case Histories in Experimental Sciences*, Harvard University Press, USA, 1970.

Cueilleron, J., *Histoire de la Chimie*, col. "Que Sais-je?", Paris, 1957.

Lister, T. (comp.), *Cutting Edge Chemistry*, Royal Society of Chemistry, Londres, 2000.

Partington, J.R., *História de la Química*, Espasa-Calpe, Madrid, 1945/, (trad.).

Pimentel, G.C. e Coonrod, J.A., *Opportunities in Chemistry - Today and Tomorrow*, National Academy Press, Washington, D.C., 1987

Shortland, M. e Warwick, Eds. *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, 1989.

Serres, M., *Éléments d'Histoire des Sciences*, Bordas, Paris, 1989.

Vidal, B., *História da Química*, Edições 70, Lisboa, 1986, (trad.).

## 2.3 Perspectivas actuais da Geologia; sua importância educativa

ANTÓNIO MATEUS

Departamento de Geologia e Centro de Recursos Minerais, Mineralogia e Cristalografia  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### 1. Nota introdutória

O valor educativo da Geologia é vulgarmente subestimado e as razões que justificam tal facto são de natureza diversa, a começar pela aceitação comum do pressuposto de que a perscrutação da história do pensamento geológico não se revela importante à compreensão da natureza da Ciência e da sua evolução. À luz da História e da Filosofia das Ciências, porém, facilmente se verifica que não existe outro fundamento que não o cultural para explicar aquele preconceito, muito embora, verdade seja dita, pouco tenha sido feito pela comunidade geológica em geral no sentido de inverter as sensibilidades instaladas, visto ela teimar em permanecer afastada por vontade própria dos fóruns de reflexão e debate sobre estas matérias.

Pouco se tem escrito, efectivamente, sobre a relevância do percurso evolutivo experimentado pela Geologia em toda a História do Pensamento Humano. Mas isso não significa que os geólogos permaneçam alheios ao problema e que, conscientemente, depreciem a vertente educativa do conhecimento geológico, quer ao nível da formação de base, quer em termos da educação funcional. O seu comportamento, frequentemente interpretado de forma errónea como evidência de conformismo, decorre do pragmatismo que usualmente caracteriza estes profissionais e para o qual são devidamente treinados. A práxis, desenvolvida sobretudo a partir dos anos 70, encarregou-se de demonstrar a vitalidade da Geologia (nas suas múltiplas vertentes) que, ressurgindo animada de uma nova mentalidade, inscrita em um quadro epistemológico renovado, pleno de actualidade e perfeitamente integrado na perspectiva abrangente das Geociências, se tornou imprescindível à sociedade actual e, conseqüentemente, à educação dos seus cidadãos. A explicitação dos princípios que governam tais relações de interdependência constitui, assim, o objectivo primordial do presente conjunto de reflexões, o qual se organiza em três partes. Na primeira tentar-se-á demonstrar que a Geologia não representa uma "ciência derivativa" que faz uso da

matemática e se limita à aplicação das leis da Física e da Química aos fenómenos que metodicamente investiga. A lógica, o quadro de valores e de objectivos que caracterizam a perspectiva contemporânea da Geologia será sucintamente abordada na segunda parte do texto, centrando-se a terceira e última parte na argumentação da tese que o conhecimento geológico se traduz em larga medida por uma cultura peculiar de inegável importância educativa e de considerável apreço na formação para a cidadania.

Antes de mais, porém, e para que não restem quaisquer dúvidas quanto à natureza das afirmações e sugestões proferidas neste conjunto de notas (algumas, quiçá, de natureza pouco ortodoxa), importa esclarecer o leitor de que estas não constituem fruto de uma investigação exaustiva elaborada por um especialista em Filosofia ou Didáctica das Ciências. Representam, pelo contrário, o produto de reflexões empreendidas por um simples geólogo que, preocupado com a educação em geral, vislumbra na Geologia, tal como Seddon (1996), (...) "*a system of thought, a way of thinking about the world.*" (...). E, caso as mesmas, despertem a curiosidade e/ou estimulem a discussão em torno dos processos de construção do conhecimento científico e dos problemas que vulgarmente se lhes associam em Geociências, então o esforço dispendido na redacção e organização das ideias terá sido plenamente compensado. Ao leitor interessado nestas matérias recomenda-se vivamente, por razões distintas, a consulta das obras devidas a Wood (1995), Schumm (1991) e Oldroyd (1996).

## 2. O devir de uma ciência Romântica

Etimologicamente, Geologia significa "conhecimento da Terra", *i.e.*, o ramo da Ciência que se dedica à caracterização da estrutura e composição da Terra, sistematizando a informação adquirida e transformando-a em conhecimento através da compreensão e caracterização dos mecanismos que regem os fenómenos naturais e do exame das várias etapas históricas por que o Planeta passou ao longo do tempo.

Outras redacções sobre o "que é a Geologia" poderiam ser dadas, incorporando de forma mais ou menos rebuscada este ou aquele outro aspecto particular, se bem que em todas elas seja possível encontrar uma raiz comum, uma preocupação de base, que aparenta representar uma herança do pensamento Romântico ou, por outras palavras, o legado de um conjunto de ideias e de atitudes complexas para com o Mundo que representaram uma forte corrente filosófica europeia entre os finais do século XVIII e meados do século XIX. Falamos efectivamente da **vertente historicamente orientada da pesquisa geológica** (Geohistória) e da compreensão dos processos actuais como chave para decifrar o registo da sua acção no passado. Numa única expressão, falamos do princípio **das causas reais**, ou, simplesmente, do **uniformitarismo**.

Através do conhecimento geológico intemporal (Geologia Física ou Dinâmica), contudo, mais do que compreender os processos naturais, é possível caracterizá-los e explicá-los de forma coerente, tornando inteligíveis as leis que os governam e o modo como na realidade interactivam. A inclusão desta vertente confere então maior abrangência ao uniformitarismo, sustentando projecções (prognósticos) com

significativo impacto cultural e sócio-económico. Trata-se de algo particularmente útil não só na prospecção e reconhecimento de novos recursos minerais, energéticos, hídricos e pedológicos, como também na análise e previsão dos efeitos resultantes da acção de processos naturais com elevada probabilidade de recorrência em pequenos intervalos de tempo (e.g. sismos, inundações, actividade vulcânica). Este elemento preditivo afigura-se ainda inestimável na avaliação dos efeitos decorrentes da intervenção antropogénica nos delicados balanços críticos naturalmente estabelecidos entre os vários sistemas terrestres, não obstante a sua sobrevalorização conduzir com alguma frequência a leituras menos felizes das interdependências entre as vertentes histórica e intemporal do conhecimento geológico. Nesta perspectiva reducionista, a Geologia adquire um pseudoestatuto de engenharia em detrimento do seu perfil de geociência (descoberta e produção de conhecimento objectivo sobre a Terra), algo que delapida substancialmente o seu real valor educativo. Cite-se, a título de exemplo, os comentários de Gary et al. (1972) a propósito do conhecimento geológico: (...) "*All the knowledge obtained through the study of the planet is placed at the service of man, to discover useful materials within the Earth; to identify stable environments for the support of his constructed arts and utilities; and to provide him with a foreknowledge of dangers associated with the mobile forces of dynamic Earth, that may threaten his welfare or being.*" (...).

Do exposto se depreende a necessidade de introduzir as vertentes histórica e intemporal do conhecimento geológico (necessariamente complementares) em qualquer enunciado sobre o que é a Geologia. É também possível incluir nos propósitos desta ciência, de forma mais ou menos explícita, os problemas relacionados com a origem do Planeta (envolvendo ainda a compreensão do binómio Terra - Lua), integrando-os, conseqüentemente, nas questões de índole mais vasta sobre a origem e evolução do Sistema Solar (seu enquadramento cosmológico e arquitectura - em termos de distribuição de massa e de momento angular, gradientes químicos heliocêntricos, significado da cintura de Kuiper, da nuvem de Oort e de outras estruturas similares, etc.). Tal atitude justifica-se que mais não seja pelo facto de a mesma permitir compreender e explicar de forma coerente a estratificação química e física da Terra, a sua energia interna e o seu campo magnético, para além de possibilitar a caracterização dos efeitos moduladores dos movimentos planetários sobre o Sistema Climático e, assim, permitir o exame de muitas das interacções entre a Astenosfera, Litosfera, Hidrosfera, Atmosfera e Biosfera. Se a tudo isto adicionarmos uma boa parte do conhecimento adquirido no âmbito da Astrofísica e da Física e Química do Estado Sólido (em termos de forças e partículas elementares, estados de agregação da matéria no espaço e fases condensadas da matéria), a visão obtida sobre os minerais e, conseqüentemente sobre as rochas, enriquece-se substancialmente, sendo possível equacionar a estabilidade dos primeiros como reflexo do equilíbrio energético entre a sua estrutura interna e o ambiente em que se formaram. Nesta perspectiva integradora, os ciclos geoquímicos e petrogenéticos adquirem renovado significado, permitindo descortinar os processos activos em tempos remotos da história do Planeta e, simultaneamente, enriquecer de forma inquestionável o conhecimento geológico intemporal. A dinâmica da Terra pode então ser apreciada de forma global à luz de uma Tectónica de Placas verdadeiramente unificadora e necessariamente interdisciplinar. Neste sentido amplo, as Geociências, incluindo necessariamente a Geologia, fundem-se,

transformando-se em Planetologia Terrestre, um "simples capítulo" da Planetologia. Será este o futuro?

## 2.1. O triunfo do pragmatismo

Dependendo das condições de afloramento (e/ou de meios que lhe garantam o acesso a muitas regiões do Planeta) e não dispondo, muitas vezes, de outros meios de perscrutação que não os seus próprios olhos, o geólogo sempre se debateu com bancos de dados (necessariamente) incompletos, com a impossibilidade de realizar observações directas da maioria dos processos em estudo (em virtude do tempo requerido para o seu desenvolvimento) e com dificuldades de vária ordem em controlar experimentalmente os resultados adquiridos. Teve, contudo, sempre consciência da complexidade dos fenómenos por si estudados (não raras vezes envolvendo longos períodos de tempo e áreas imensas), algo que lhe permitiu desenvolver gradualmente metodologias próprias de observação, registo e análise, procurando abordagens de investigação racionais adequadas a cada caso.

Ao longo dos tempos, o geólogo procedeu à diagnose da Terra tal como um médico examina o seu paciente, conforme a metáfora invocada por Schumm (1991, também utilizada por Seddon, 1996), tentando, a cada momento, solucionar o "grande dilema" magistralmente resumido por Wood (1985) - *na base da Geologia há este extraordinário e profundo problema: na Terra não se pode pegar*. O geólogo procurou assim, de forma sistemática e pragmática, a essência de cada processo e de cada objecto geológico, sem com isso pretender estabelecer leis formais (de generalização impossível) entre causa(s) e efeito(s) - e.g. Bucher (1936); Kitts (1963); Oldroyd (1996). Analisou minuciosamente regiões particularmente ricas em afloramentos rochosos, muitas das quais posteriormente convertidas em exemplos de referência. Empreendeu ensaios de análise comparativa, efectuando correlações e/ou extrapolações fundamentadas em tipologias e analogias. Fez do terreno o seu laboratório e, conseqüentemente, do trabalho de campo a sua principal actividade. Argumentou com quem depreciava a sua arte e engenho, enumerando os numerosos sucessos alcançados (especialmente ao nível da prospecção e exploração de recursos minerais e energéticos). Sintetizou, em suma, a sua atitude e devir na célebre máxima *Mente et Maleo*, transformando em *ex-libris* o martelo que o acompanhou desde o início.

As bases necessárias à construção do conhecimento geológico historicamente orientado, praticamente lançadas no último quartel do século XIX, permitiram adquirir um imenso banco de dados para muitas das regiões do Planeta, mas, até meados do presente século, pouco se tinha avançado relativamente ao conhecimento geológico intemporal. Por outras palavras: conheciam-se os efeitos da acção de muitos fenómenos geológicos, perspectivava-se uma história coerente para um grande número de acontecimentos à escala local e regional, mas não se compreendiam intimamente os processos, pelo que dificilmente se podiam avaliar integralmente as relações causa-efeito, bem como a dinâmica particular de cada caso. Tornou-se então imprescindível ao geólogo "olhar e pegar a Terra como um todo", conceptualizando e ensaiando a aplicação de modelos físico-matemáticos aos seus objectos de estudo. Esta mudança de atitude, enriquecendo de forma ímpar os objectivos da sua pesquisa, levou-o a refinar os métodos de trabalho e de análise até aí utilizados, reorganizando os dados disponíveis numa nova matriz

de conhecimento e preenchendo as lacunas existentes com o auxílio de tecnologias cada vez mais poderosas. O caminho percorrido nos anos 60 e 70, ficou assim marcado pela construção de percursos científicos cada vez mais complexos, atraindo, adicionalmente, matemáticos (do domínio da estatística, em particular), físicos e químicos para a "causa" da Geologia e, ao mesmo tempo, reforçando o seu desempenho no âmbito das Geociências.

Os propósitos das investigações tornam-se então muito mais abrangentes e complicados, denotando uma clara preocupação em participar na resolução de questões globais (com forte ligação à Sociedade) e um grande esforço no sentido de explicar a natureza e a dinâmica dos processos geológicos, quantificando-os. O carácter eminentemente descritivo e regional do conhecimento geológico cede assim lugar, pela primeira vez, à análise rigorosa (intemporal e independente do local) dos efeitos identificados e dos mecanismos responsáveis pela sua génese. Avaliada deste modo, a singularidade de cada fenómeno natural adquire um estatuto próprio, algo que justifica plenamente o significado particular dos conceitos de recorrência (ou frequência da repetição) e de incerteza em Geociências.

#### 2.1.1. Uniformitarismo

A essência do pensamento geológico reside no **uniformitarismo**, cuja formulação embrionária devida a J. Hutton nos finais do século XVIII foi refinada por C. Lyell durante o primeiro quartel do século XIX. Trata-se de uma base racional de funcionamento empírico que permite descrever os efeitos decorrentes de uma série de eventos sucessivos e estabelecer a sua cronologia relativa. A aplicação deste princípio admite que o registo geológico resulta da actuação em intervalos de tempo longos de processos geológicos idênticos aos actuais, sendo inclusivamente sujeitos a taxas de progressão similares às que presentemente se estimam. Tal limita severamente a realização de interpretações catastrofistas ou de leituras especulativas do registo geológico, se bem que nada estabeleça sobre as relações causa-efeito, impedindo conseqüentemente a verdadeira avaliação dos processos geológicos activos em cada momento da história do Planeta. A aplicação deste princípio revela-se então muito discutível (e.g., Gould, 1965; Shea, 1982; Schumm, 1991), porquanto se afasta significativamente do uniformitarismo que, em sentido estrito, pressupõe a existência de um carácter permanente para as leis, *i.e.*, que, sob as mesmas condições, uma determinada causa produzirá os mesmos resultados.

A singularidade e complexidade dos processos geológicos e, por maioria de razão, dos próprios objectos geológicos, impõe cuidados particulares nas correlações e extrapolações a efectuar. E, caso não se tenha em consideração a multiplicidade de aspectos que concorrem para o seu desenvolvimento, a estrita aplicação do uniformitarismo poderá conduzir a conclusões falaciosas. Efectivamente, as regularidades encontradas em uma sequência de eventos de certo tipo em determinado local, somente serão intemporais e válidas para todas as regiões do espaço caso retratem de forma fidedigna as relações estabelecidas entre os parâmetros físico-químicos que influenciam decisivamente os processos geológicos neles activos. Este modo de equacionar o problema não exclui os eventos geológicos raros, como a queda de um meteorito de extraordinária dimensão, as

inundações erráticas de grande extensão, ou ainda a intensa actividade vulcânica ocorrida em determinado momento da história de uma região - estes eventos esporádicos, encontrando-se na dependência de combinações muito particulares de vários parâmetros, têm um valor próprio no registo geológico e, por isso, podem facilmente ser eliminados em termos de previsões a curto-médio prazo (e.g. Greten, 1967).

Do exposto, se depreendem as vantagens em identificar o **sistema** em estudo, caracterizando as variáveis que, de forma intrínseca e extrínseca, condicionam a sua evolução sem influenciar a sequência de eventos. Só nestas circunstâncias a aplicação do princípio do uniformitarismo segue a mesma lógica que nas restantes ciências. Nas palavras de Weiner (1985), por exemplo, uniformitarismo representa (...) "*uma doutrina aceite como verdadeira nas ciências. Se a natureza não fosse uniforme não se podiam usar os resultados de uma experiência para prever os resultados de outra; nem se podia partir do princípio de que leis baseadas em mil observações diferentes se manteriam verdadeiras. Sem uniformidade na natureza, fazer física, química e biologia seria como viajar no País das Maravilhas de Alice. A lógica, a ciência e a própria vida desmoronar-se-iam.*" (...). Note-se ainda que o termo **sistema** é aqui utilizado na óptica da Teoria dos Sistemas, representando um conjunto limitado do universo cujas fronteiras podem ser reais ou conceptuais; o complementar desse conjunto denomina-se **ambiente** e a interacção sistema-ambiente decorre do estabelecimento de *fluxos* entre ambos (que permite, por exemplo, a transferência de matéria e/ou de energia). A análise dinâmica dos processos físico-químicos que concorrem para a manutenção dos balanços críticos naturalmente estabelecidos ou artificialmente induzidos em cada sistema e entre os diversos sistemas (estes últimos balanços geralmente equacionados sob a forma de ciclos), será, por conseguinte, concretizada através do comportamento manifestado pelas **variáveis intrínsecas** e **extrínsecas** ao sistema (e.g. Kitts, 1974).

### 2.1.2. Da singularidade à tipologia

**Singularidade** consiste na condição ou característica que torna algo distinto daquilo que lhe é similar. Nos sistemas naturais, a singularidade assume diferentes vertentes (na forma e no processo, na localização e no tempo), dificultando sempre a extrapolação. Mercê da singularidade, as previsões a curto-médio prazo são necessariamente difíceis e enfermam de uma incerteza nem sempre fácil de precisar, porquanto as relações (leis) gerais entre as variáveis que determinam as características do processo ou objecto podem não ser sensíveis a modificações empreendidas nesse intervalo de tempo e as heterogeneidades naturais podem facilmente ser mascaradas por amostragens não representativas.

Quando examinado em detalhe, qualquer processo ou objecto natural, apresenta características singulares, *i.e.*, uma identidade própria. Uma vez que a singularidade depende fundamentalmente dos efeitos decorrentes da variabilidade assumida por parâmetros secundários, a primeira tornar-se-á tanto mais relevante e também tanto mais significativa quanto maior for a minúcia da caracterização efectuada. A percepção da singularidade dependerá então da escala de observação e/ou dos métodos de análise utilizados na investigação dos referidos parâmetros (variáveis do sistema), os quais influenciarão de modo simples ou compósito o mecanismo activo em determinado local durante certo intervalo de

tempo, o tipo e/ou a extensão de efeitos particulares, condicionando eventualmente a morfologia específica do objecto em estudo. Existe, portanto, toda a conveniência em dispor de um banco de dados representativo que, para cada caso, permita avaliar cabalmente a variação admitida pelos parâmetros indispensáveis à caracterização do sistema como um todo (definindo a **tipologia**) e o exame da sua singularidade natural (reconhecendo a identidade própria do objecto e/ou do processo em cada local, gerado e/ou desenvolvido em determinado intervalo de tempo). Daqui se depreendem também as vantagens em proceder à análise estatística de populações de dados, caracterizando de forma rigorosa as distribuições obtidas: um aspecto aparentemente aleatório e de interpretação difícil (inconclusiva), pode revelar-se determinístico na presença de um banco de dados verdadeiramente representativo (resultante de amostragens com maior detalhe nas dimensões tempo e espaço). Só nestas circunstâncias se reduzem as pseudosingularidades dos sistemas naturais (imputáveis a erros de amostragem ou insuficiência desta), havendo ainda a possibilidade de determinar a incerteza adstrita às relações (leis) estabelecidas entre variáveis intrínsecas e extrínsecas ao sistema, para além das incertezas inerentes aos métodos de medição utilizados (e.g. Isaaks & Srivastava, 1989).

Procedimentos mais ou menos sofisticados podem ser ainda utilizados por forma a: 1) colocar em evidência detalhes das distribuições obtidas (processos de interpolação fractal realizados através da análise de sistemas de funções iteradas ou do deslocamento aleatório do ponto médio - e.g. Barton *et al.*, 1992; Turcotte, 1997); 2) analisar a tendência para ocorrência agregada no espaço e/ou no tempo de certas distribuições (agregação fractal - e.g. Turcotte, 1997); e 3) melhor caracterizar as heterogeneidades naturais nas dimensões espaço e tempo (e.g. Cheng *et al.*, 1994; Christakos, 1998a, b; Christakos & Li, 1998; Cheng, 1999). Qualquer destas vias (algumas ainda em fase embrionária de desenvolvimento) tem como propósito a implementação de metodologias que, a médio-longo prazo, nos permitirão avaliar com maior rigor e precisão a diversidade e a complexidade do Mundo Natural.

### 2.1.3. Extrapolação e explicação

Uma vez caracterizada a tipologia de qualquer sistema natural é possível proceder à **extrapolação**. Este é um procedimento comum em qualquer ciência, envolvendo a projecção de informação conhecida (ou de relações bem determinadas) para o desconhecido. Há, portanto, previsão em sentido estrito, ou dedução (inferência) em sentido amplo, se bem que apenas válido no âmbito da tipologia, *i.e.*, válido para um certo tipo de objectos geológicos num determinado contexto geológico, aceitando um dado intervalo de incerteza (que se traduz em limite de confiança caso haja fundamentação numérica de natureza estatística).

A extrapolação revela-se crucial a qualquer percurso de investigação geológica, não obstante as premissas subjacentes à sua utilização racional nem sempre serem criteriosamente avaliadas e respeitadas. Em termos gerais, podemos afirmar que a extrapolação permite completar a matriz de conhecimentos adquiridos para uma determinada região e/ou para um certo tipo de fenómeno geológico (seja com base em dados de campo, ou com base em dados experimentais, havendo neste último caso a necessidade imperiosa de contextualizar devidamente as amostras

usadas ou de utilizar os dados colhidos *in situ* - no terreno - na definição das condições de fronteira a impor à experiência, à modelação analógica ou à simulação numérica).

Na lógica do pensamento geológico, a extrapolação surge por vezes associada à **explicação**, pelo que, na linha defendida por Schumm (1991), existem ainda vantagens em distinguir as **previsões (extrapolações) não-explicativas** e as **explicações não-preditivas**. As primeiras, por norma resultantes da aplicação de relações empíricas, nunca permitem explicar coerentemente o fenómeno previsto; há, por assim dizer, previsão (extrapolação) fundamentada em experiência acumulada (geralmente por comparação directa de observações realizadas em contextos geológicos similares). As segundas, utilizadas com sucesso na prospecção de recursos minerais ou hídricos, são relativamente comuns: os dados reunidos sobre determinado sistema, permitindo a concepção de um modelo explicativo, suportam o desenvolvimento de hipóteses de trabalho acerca da existência de condições propícias ao desenvolvimento do recurso; as sondagens constituirão a prova definitiva, validando ou não a dedução.

#### 2.1.4. Tempo e espaço

O tempo envolvido nos processos e eventos geológicos comuns distribui-se por variadíssimas ordens de magnitude: do sismo quase instantâneo aos processos orogénicos desenvolvidos ao longo de milhões de anos; das erupções vulcânicas ocasionais aos ciclos de instabilidade mantélica que durante milhares de anos fomentaram intensa actividade magmática à escala do Planeta; das inundações sazonais à deposição de sequências sedimentares com espessuras quilométricas, passando pela erosão fluvial ou costeira mensurável à escala humana; do crescimento de um simples cristal de pirite ao desenvolvimento de massas de minério sulfuretado com milhares (não raras vezes, milhões) de toneladas, etc.. Algo de semelhante acontece com a extensão espacial dos efeitos resultantes de um dado processo ou evento geológico, podendo estes ser apreciados em termos de micro-macroescala e de macro-mesoescala, só para citar as escalas que mais frequentemente se usam nas pesquisas geológicas, sem com isto pretender retirar qualquer valor às investigações empreendidas à megaescala e à escala submicroscópica (particularmente úteis quando se abordam problemas relacionados, por exemplo, com a tectónica de placas e com as propriedades físicas dos minerais, respectivamente). Face a esta diversidade, frequentemente posicionada para lá dos limites do que é naturalmente percebido e vivido por nós enquanto entidades biológicas, não é pois difícil de perceber as razões que tornam complicada a racionalização do verdadeiro significado das variáveis tempo e espaço na ausência de uma preparação prévia (e.g. Kitts, 1966; Schumm, 1991).

Pensar no parâmetro tempo no âmbito do uniformitarismo significa agir com particular cuidado na análise de processos ocorridos em longos intervalos de tempo com base em ilações retiradas a partir do exame de efeitos induzidos por processos similares activos em curtos intervalos de tempo. Esta atitude fundamenta-se na natureza do próprio registo geológico que, no caso de ser subsequentemente sujeito a modificações subtis, tornará imprecisa (muitas vezes imprópria) a comparação directa entre diacronias distintas. Mas será este o único aspecto a ter em conta na avaliação do parâmetro tempo em Geologia?

Tomemos, por exemplo, a ideia base desenvolvida por Schumm (1991): **tempo** representa uma medida da transformação ou da evolução passível de avaliação indirecta através do exame criterioso do registo geológico. Neste enunciado atraente, porque simples, inscrevem-se dois problemas de fundo que se influenciam mutuamente, criando algumas dificuldades na sua utilização genérica (para além de, obviamente, introduzir uma noção de tempo diferente da vulgarmente em uso nas próprias Geociências). O primeiro problema diz respeito às limitações inerentes aos procedimentos adoptados na determinação do tempo (cronologia em sentido estrito - geocronologia relativa e absoluta); o segundo, prende-se com as vicissitudes geralmente experimentadas pelos sistemas naturais (relacionando-se, assim, com o intervalo de tempo em que determinado processo geológico se encontra activo durante a evolução do sistema). Vejamos porquê e de que forma.

Em **geocronologia relativa** a datação é estabelecida em função do registo de um outro acontecimento, relativamente ao qual se conseguem definir relações de antecedência, contemporaneidade ou posteridade. O procedimento assenta em várias proposições, desde há muito utilizadas na construção do conhecimento geológico historicamente orientado: os princípios de sobreposição, de intersecção, de inclusão, de continuidade e de identidade paleontológica. Deste modo, na presença de formações azóicas ou cujo conteúdo fossilífero não permita constranger de forma significativa o intervalo cronológico, nada ou muito pouco se poderá dizer quanto ao tempo em que, de facto, o evento ocorreu ou o processo se desenrolou. Por outras palavras, o rigor da datação depende da natureza própria do sistema e sua subsequente evolução. Em **geocronologia absoluta** a datação faz uso do decaimento natural de elementos radioactivos, procedimento *a priori* vantajoso não fossem as numerosas questões relacionadas com a reciclagem dos isótopos radiogénicos durante variadíssimos processos geológicos (muitas vezes decorrentes da acção de mecanismos de difusão intracristalina ainda não totalmente compreendidos). Quer isto dizer que, em muitas circunstâncias, a datação absoluta determinada para uma rocha poderá simplesmente representar a idade do evento geológico responsável pelo último fecho do sistema isotópico analisado. Ou seja, a interpretação correcta das idades absolutas depende muitas vezes do conhecimento geológico adquirido de forma independente, mesmo admitindo que se usaram técnicas espectrométricas adequadas à determinação precisa das abundâncias relativas dos isótopos considerados. Acresce mencionar que, na ausência de elementos que possibilitem uma datação fidedigna, se poderá enveredar pelo estabelecimento de correlações entre colunas litoestratigráficas, após satisfação plena dos requisitos exigidos pela extrapolação; mesmo assim, a incerteza associada é grande.

Tempo e espaço formam um binómio incontornável em Geologia. Por **espaço** entende-se o domínio tridimensional no qual o fenómeno natural se desenvolve ou ocorreu e onde se define o objecto em estudo, estando-lhe subjacente dois aspectos distintos: a escala e a dimensão. A **escala** traduz unicamente a resolução à qual o objecto é apreciado e observado. A **dimensão**, em sentido vulgar do termo (tamanho), corresponde à simples comparação volumétrica entre objectos similares ou entre os domínios do espaço que registam os efeitos de um determinado processo geológico. Poderemos ainda utilizar o termo dimensão na acepção matemática, i.e. no sentido da análise rigorosa da geometria apresentada

pelos volumes referidos; fala-se então de dimensão topológica ( $D_T$ , forçosamente inteira) e de dimensão fraccionária ou fractal (sempre que as dimensões de Hausdorff -  $D_H$  - ou de Capacidade -  $D_C$  - sejam diferentes de  $D_T$ ) - Mandelbrot (1982).

Não é difícil perceber que a singularidade e complexidade geométrica aumenta proporcionalmente com a redução da dimensão (tamanho) e com o aumento da escala (da pequena para a grande resolução). Daqui se depreende que poderá não ser possível extrapolar de forma fidedigna do pequeno para o grande e vice-versa. Todavia, como a morfologia complexa dos objectos naturais conduz invariavelmente a dimensões fractais, o estudo da auto-semelhança ou da auto-afinidade, determinística ou não, representa um auxiliar poderoso nas concepções actuais de extrapolação de escala e de análise das configurações espaciais associadas à distribuição das variáveis que caracterizam os sistemas dinâmicos em geral (e.g. Barton *et al.*, 1992; Turcotte, 1997).

Do exposto se retira também que quanto maior for o intervalo de tempo e maior a área de abrangência de determinado fenómeno, menos precisas serão as comparações. A **recorrência** (probabilidade de ocorrência de certos resultados) será, conseqüentemente, menor, aumentando a incerteza que se associa à extrapolação e à previsão. A extrapolação no espaço é tão difícil como a que envolve o tempo (extrapolação no sentido estratigráfico), daí o interesse crescente em refinar métodos (como os da interpolação fractal ou de análise multifractal) que permitam definir com maior acuidade a singularidade espacial dos efeitos induzidos por determinado evento geológico. Não se trata de uma falsa questão, nem tão pouco de um preciosismo. Pelo contrário: a extrapolação espacial constitui um problema extraordinariamente comum em Geociências, que mais não seja pelo facto de a superfície terrestre não apresentar idênticas condições de observação em todos os pontos. Nesta perspectiva, o parâmetro **localização** adquire importância fundamental.

De acordo com Schumm (1991), localização consiste simplesmente na região do espaço onde se realizam as observações, medições e amostragem com o propósito de caracterizar um sistema natural, ou parte dele. Assim, a extrapolação de informação obtida para localidades diferentes somente será válida se os dados disponíveis (nas vertentes tempo e espaço) para ambas mostrarem coerência interna. As correlações efectuadas podem, contudo, ser limitadas, contemplando apenas parte do sistema sob observação e análise. E isto porque a evolução de domínios particulares do sistema poderá ter sido distinta, algo que, a confirmar-se, confere valor local ou regional às conclusões/soluções encontradas, impedindo a sua generalização.

#### 2.1.5. Relações causa - efeito e multiplicidade nos sistemas naturais

A caracterização de processos e objectos geológicos tem, usualmente, como ponto de partida a formulação e inventariação de numerosas hipóteses de trabalho com base nas observações e medições realizadas em escala apropriada, seguindo metodologias adequadas a cada caso. Tal justifica-se porquanto é, com frequência, difícil inferir processos ou causas únicas com base nos efeitos (registo geológico). Significa isto que diferentes causas ou processos podem conduzir aos

mesmos efeitos, *i.e.*, há possibilidade de **convergência**. Mas o contrário também é vulgar; ou seja, causas similares ou processos semelhantes podem conduzir a efeitos distintos - diz-se então que há **divergência**. Em qualquer das circunstâncias, porém, há perda de analogia e, conseqüentemente, a extrapolação é imprópria. Quer isto dizer que o maior número de hipóteses possível terá de permanecer em aberto durante qualquer percurso investigativo em Geologia.

Nas abordagens investigativas realizadas no âmbito da Geologia, é também comum falar de **multiplicidade**. Esta relaciona-se com a diversidade natural e com a condição de ser variável, transcrevendo a acção simultânea de causas distintas na génese dos efeitos preservados no registo geológico. Difere, portanto, da divergência como uma equação a uma incógnita difere de uma correlação múltipla (Schumm, 1991), podendo ser representada por um diagrama de hipóteses compósitas. Em termos pragmáticos, tal significa que explicações simples não são, na maioria dos casos, suficientes para solucionar problemas suscitados pela caracterização de sistemas complexos, pelo que se deve procurar o conjunto adequado de explicações múltiplas.

No estabelecimento das relações causa-efeito, o impacto de um evento ou série de eventos que perturbem a evolução natural de um sistema, deve também ser alvo de preocupação, estimando a **eficiência** das causas que concorrem para o estabelecimento de singularidades não esperadas em determinados contextos. Este procedimento revela-se frequentemente necessário para uma extrapolação merecedora de crédito.

#### 2.1.6. Complexidade e sensibilidade dos sistemas naturais

Vimos que a singularidade constitui uma propriedade específica dos sistemas naturais. Para ela concorrem factores de diversa ordem que intervêm ao nível do binómio tempo-espaço ou ao nível das relações causa-efeito e cuja caracterização se afigura determinante na pesquisa de explicações compósitas e coerentes, fundamentando a extrapolação, a correlação e a previsão. Vimos também que os aspectos singulares apresentados por um sistema inscrito em determinada tipologia, constituem, na sua essência, função do comportamento manifestado por variáveis secundárias no espaço e no tempo. Muitas destas variáveis são, efectivamente, intrínsecas ao sistema, mas, em geral, somente se tornam extensivas para certos estímulos (ou modificações) exteriores. Importa, pois, saber qual a capacidade de o sistema reagir ao menor estímulo ou à menor variação externa, *i.e.*, qual a **sensibilidade** do sistema. Compreender e avaliar este parâmetro significa poder controlar muitos dos resultados experimentais, diminuindo as incertezas inerentes à sua extrapolação para a realidade; mais significa começar a entender a **complexidade** particular de cada sistema (algo de extrema importância quando, por exemplo, se examinam os impactos da actividade antropogénica sobre qualquer ecossistema).

Os sistemas naturais são inerentemente complexos, porquanto ao longo da sua evolução se mostram incapazes de se ajustar de forma progressiva e sistemática a perturbações induzidas externamente. Por outras palavras: na presença de um acontecimento particular, a evolução do sistema prossegue segundo um rumo não expectável e não determinístico, como se em um ponto singular da sua trajectória

evolutiva esta se ramificasse em diferentes percursos de igual probabilidade, sendo contudo apenas possível concretizar um deles. Neste sentido, poderemos dizer que os sistemas naturais enfermam de **criticalidade auto-organizada** (Bak, 1996), algo que inclusivamente permite explicar de forma elegante a razão de ser da fractalidade manifestada pela maioria das relações entre os parâmetros físico-químicos que condicionam a dinâmica dos sistemas naturais, bem como a dimensão fraccionária dos objectos ou dos domínios do espaço que registam os efeitos de um determinado processo geológico. A criticalidade auto-organizada pode então ser entendida como uma medida da complexidade natural (Bak, 1996; Turcotte, 1997).

## 2.2. Método e dialéctica

Os conceitos sumariamente abordados no subcapítulo anterior, reflectem-se necessariamente no método e dialéctica próprios deste ramo da Ciência. A aplicação do uniformitarismo, por exemplo, requer uma **dialéctica por analogia**, isto é, um raciocínio e uma demonstração que se fundamentam no reconhecimento prévio da semelhança entre as coisas (por motivos de similaridade composicional e/ou morfológica ou de dependência causal). A analogia representa, pois, uma peça fundamental na lógica da extrapolação em Geologia (e.g. Watson, 1969; Schumm, 1991) e assim no estabelecimento de hipóteses de trabalho que orientarão o percurso investigativo no sentido das explicações compósitas para séries encadeadas de questões menores resultantes da decomposição de um problema maior, por norma complexo.

As várias questões que sempre se levantam em torno do binómio tempo-espaço, das relações causa-efeito e da complexidade de qualquer sistema natural requerem, efectivamente, a formulação sistemática do maior número possível de hipóteses que, eliminadas de forma selectiva ou combinada, solucionam a problemática definida. Tal atitude, muito próxima da diagnose diferencial praticada em Medicina, resulta da aplicação do **método de hipóteses múltiplas**, utilizado em Geologia desde os meados do século XIX e cujo enunciado formal se deve a Chamberlin (1890). Este método, exigindo o abandono de raciocínios binários (comuns no âmbito da filosofia baconiana), já se encontrava plenamente enraizado na práxis geológica quando Popper, nos anos 30<sup>1</sup>, difunde as suas ideias acerca da prática científica - o que justifica a afirmação (algo irónica) de Seddon (1996): (...) "*Geologists were popperians long before Popper, although impure ones.*" (...).

Parece-nos ser hoje consensual a ideia da inexistência de um método único em Ciência. Se por **método científico** entendermos o procedimento adoptado com o propósito de construir conhecimento objectivo sobre qualquer coisa, então este poderá ser encarado como uma combinação em proporções variáveis das **componentes observacional/descritiva** (contextualizante, comparativa e tipológica) e **experimental** (verificativa e preditiva, fazendo uso de ensaios determinísticos ou da aplicação de modelos de simulação numérica e/ou de avaliação de

<sup>1</sup> A segunda edição em língua inglesa da obra original de Popper (1934, *Logik der Forschung*) data de 1968: *The logic of scientific discovery*. Harper & Row, 2<sup>nd</sup> ed., London: 480 pp.

comportamento analógico por forma a estudar as diversas relações causa-efeito). A adopção desta ou daquela componente dependerá dos objectivos a atingir e a combinação metodológica empreendida representará parte significativa da construção de um **percurso científico** que envolverá sempre as etapas seguintes: 1) problematização; 2) aquisição de dados e formulação de hipóteses de trabalho; e 3) teste das hipóteses equacionadas.

Debruçar-nos sobre a pertinência de cada uma destas etapas, bem como sobre a sua articulação, levar-nos-ia a muitos outros assuntos cuja natureza específica foge claramente aos propósitos do presente conjunto de reflexões. Todavia, na linha de raciocínio apresentada por Schumm (1991) e por Seddon (1996), acresce mencionar que o sucesso de qualquer processo investigativo depende tanto da "abertura de espírito" e da capacidade crítica do investigador durante as actividades de pesquisa como também dos procedimentos (métodos) utilizados. Por outras palavras: todas as abordagens metodológicas são possíveis e igualmente válidas, cabendo ao investigador a selecção das que melhor se ajustam à resolução do(s) problema(s) formulado(s). Em Geologia isto significa a procura da combinação metodológica apropriada à construção do conhecimento historicamente orientado e intemporal, ou seja, à solução das questões no âmbito da geohistória e da dinâmica dos processos geológicos, nas suas variadíssimas vertentes (fig.1).



Figura 1 - Interdependência entre parâmetros críticos na análise de sistemas naturais.

### 3. Desafios actuais e perspectivas futuras

Reflectir sobre os desafios actuais e perspectivas futuras da Geologia é pensar no modo como esta disciplina se relaciona e deverá rever-se cada vez mais no espírito abrangente das Geociências, cujos propósitos visam atingir o fim explicitado no prólogo do livro editado em 1993 pelo Conselho de Investigação Nacional dos

E.U.A. - **Solid Earth Sciences and Society** -, onde se pode ler: (...) "*The goal is: to understand the past, present, and future behavior of the whole earth system. From the environments where life evolves on the surface to the interaction between the crust and its fluid envelopes (atmosphere and hydrosphere), this interest extends through the mantle and outer to the inner core. A major challenge is to use this understanding to maintain an environment in which the biosphere and humankind continue to flourish.*"(...).

Desta forma se compreende porque razão se privilegiam as abordagens multi- e interdisciplinares em Geociências, bem como se explica a crescente preocupação destas em participar na resolução de questões de largo espectro com repercussões claras no avanço do conhecimento científico-tecnológico da Humanidade, no próprio ordenamento territorial e desenvolvimento sustentável da Sociedade. Mas Frodeman (1998) vai mais longe, afirmando que: (...), "*the ... geological reasoning ... also offers us the best model of the type of reasoning necessary for confronting the type of problems society will face in the 21<sup>st</sup> century.*"(...); para logo depois concluir que (...) "*a redefined discipline of the earth sciences, combining an examination of the lithosphere, hydrosphere, atmosphere, and biosphere, will become the bridge discipline between sciences, humanities, and public policy.*"(...)

A concretização destes propósitos e, conseqüentemente, a afirmação futura do papel das Geociências, passa, contudo, pela tomada de consciência de que os sistemas naturais são **sistemas críticos** cuja análise exaustiva deverá enriquecer substancialmente o conhecimento geológico na sua vertente intemporal, conduzindo: 1) à caracterização das propriedades críticas do sistema e dos aspectos inerentes à sua complexidade; e 2) à descrição (o mais sistemática possível) dos eventos, *a priori* imprevisíveis, que ocorreram e influenciaram os sucessivos estados evolutivos desse mesmo sistema. Esta é, conforme refere Bak (1996), (...) "*a new way of viewing nature.*"(...). Ou, nas palavras do mesmo autor, (...) "*The basic picture is one where nature is perpetually out of balance, but organized in a poised state - the critical state - where anything can happen within well-defined statistical laws. The aim of the science of self-organized criticality is to yield insight into the fundamental question of why nature is complex, not simple, as the laws of physics imply*"(...).

Na perspectiva actual da Geologia, o Planeta Terra emerge então como um megassistema dinâmico, aberto, onde diferentes geoesferas interactivam através de processos endógenos e exógenos que se complementam e influenciam mutuamente de forma complexa. Tal organização, permitindo o desenvolvimento de fenómenos intimamente relacionados entre si, traduz-se pela criação de balanços sucessivos que, em permanente evolução, evidenciam criticalidade própria. Da análise criteriosa destes parâmetros deverão resultar os alicerces dos renovados modelos físico-químicos da Natureza e, assim, as novas "visões do Mundo" fundamentadas na construção e articulação de um conhecimento científico integrado. Tal atitude confere uma pertinência jamais imaginada à implementação de percursos de investigação verdadeiramente interdisciplinares, constituindo simultaneamente um grande desafio metodológico (em termos conceptuais e tecnológicos).

O desenvolvimento tecnológico dos últimos 15 anos tem efectivamente permitido reavaliar muitos dos parâmetros previamente medidos e aceder a domínios do Planeta antes inacessíveis, existindo, como nunca, variadíssimos métodos de análise e de tratamento de séries de dados temporais ou intemporais. A par desta recente evolução no mundo da ciência e da tecnologia, parte significativa das preocupações investigativas voltaram-se para a sensibilidade e complexidade dos sistemas naturais, ou seja, para as respostas destes às modificações induzidas por factores externos. Tal comportamento não é, contudo, completamente alheio à própria evolução dos valores sócio-políticos, económicos e culturais manifestados pela Sociedade actual. Pretendendo avaliar, monitorizar e minimizar os efeitos da actividade antropogénica no Planeta, deveremos, antes de mais, compreender e explicar coerentemente o seu "funcionamento". Isto significa entender a linguagem do complexo e da dinâmica dos processos não lineares (determinísticos, ou não). Estamos, todavia, longe de dominar as técnicas de medição e de análise adequadas à caracterização global e parcial da verdadeira complexidade do Mundo há muito conhecida e anunciada pelos geólogos (a várias escalas, no tempo e no espaço)! Conseguimos apenas concretizar os primeiros passos neste sentido (e.g. Mann, 1970; Plotnick, 1986; Middleton, 1991; Barton *et al.*, 1992; Turcotte, 1997), não obstante os horizontes entretanto abertos se afigurarem extraordinariamente promissores.

#### 4. Cultura geológica

"Olhar" a Terra na perspectiva de um geólogo, significa observar, caracterizar, compreender e explicar a dinâmica dos sistemas naturais, algo que exige capacidades de análise, de discussão e de avaliação crítica do conhecimento geológico adquirido, integrando de forma sistemática os saberes obtidos no âmbito de abordagens multi- e interdisciplinares. Só assim é possível estudar e entender coerentemente quer os ciclos decorrentes das sucessivas interacções entre os vários sistemas activos a megaescala (como o ciclo da água, os ciclos petrogenéticos e geoquímicos, *etc.*), quer os fluxos (de matéria e de energia, em particular) que se estabelecem entre cada sistema e o ambiente. Só assim se adquirem realmente as noções de tempo e de espaço em Geologia. Só assim se consegue compreender, de facto, o sistema climático, bem como a verdadeira importância dos balanços que regem o sistema tectónico e, conseqüentemente, a razão pela qual o Planeta Terra corresponde, no dizer de Weiner (1985), a uma "Máquina Viva", "Azul", que intrinsecamente contempla condições adequadas à Vida em contextos muito diversos e, por vezes, inesperados (Ward & Brownlee, 2000). Racionalizar, ainda que em termos muito simples, tais conceitos, representa um **contributo inestimável para a Educação**, porquanto ajuda a destruir visões antropocêntricas do Mundo e/ou profecias assentes em premissas de carácter religioso, permitindo ao vulgar cidadão ajuizar muitos dos fenómenos naturais, inclusivamente os que colocam em risco a própria sobrevivência da comunidade em que se insere (sejam as tormentas ou os ciclos de instabilidade climática, sejam os riscos sísmicos, vulcânicos, de inundação, *etc.*).

Mas a enorme vitalidade dos processos endógenos e exógenos naturais encontra-se também na base da génese de numerosos recursos de que o Homem aprendeu a usufruir, criando uma sociedade de tal modo dependente da sua exploração que,

hoje em dia, se torna impossível avaliar os ciclos ou os fluxos naturais sem ponderar os efeitos da actividade antropogénica. A pesquisa, extracção e utilização de muitos recursos naturais (hídricos, minerais, pedológicos e energéticos, em particular), assegurando a sobrevivência e a expansão das comunidades humanas, desafiou e continua a desafiar a arte e o engenho do Homem. Equacionar estes assuntos significa adicionar ao contributo mencionado no parágrafo anterior, o [exame das complexas e multifacetadas relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade](#), que se revela imprescindível ao desenvolvimento de práticas lectivas de *aplicação edificante* (Mateus, 2000, recorrendo a uma expressão devida a Santos, 1989), cujo valor na formação para a cidadania é inquestionável.

A Tectónica de Placas, definitivamente consolidada a partir dos anos setenta, emerge, neste contexto, como uma [teoria global](#) que, não só unifica o conhecimento geológico adquirido, como também proporciona a edificação de um notável modelo lógico sobre a natureza complexa da dinâmica do Planeta Terra. Nesta teoria é ainda possível inscrever muitos dos problemas que, centrados no desenvolvimento sustentável da sociedade e em vários paradigmas (de onde se destacam os directamente relacionados com a preservação do ambiente), têm dominado as agendas sócio-política, económica e científica do Mundo Contemporâneo. A este propósito, veja-se, a título de exemplo, o extraordinário conjunto de reflexões inclusas na obra *Planet under stress: the challenge of Global Change*, editada em 1991 pela Royal Society of Canada, precedendo muitas das conclusões e recomendações oficiais resultantes, e.g., da Conferência Internacional de Madrid sobre Energia (1992), da Cimeira do Rio de Janeiro (1992), da Cimeira de Berlim sobre o Clima (1995) e da Conferência Habitat II ("Povoamentos Humanos" - Istambul, 1996).

#### 4.1. Valor educativo

O valor educativo das Geociências, fundamentalmente suportado pela elegante conciliação entre o conhecimento geológico intemporal e orientado historicamente, reside hoje mais do que nunca na sua imprescindibilidade para a construção de raciocínios coerentes acerca da fenomenologia natural (e.g. Orion, 1998a, b). As Geociências representam, pois, uma forma inestimável de estimular e desenvolver a curiosidade sobre o mundo físico em que vivemos, contribuindo igualmente de forma ímpar para a cultura científica de qualquer cidadão que se pretenda informado e participativo (Thompson, 1998; Mayer, 1998). Educar em Geociências constitui ainda a única forma de incutir a sensibilidade à tão necessária preservação do património geológico, levando, conseqüentemente, à tomada de consciência da [geodiversidade](#) (alicerce fundamental de qualquer ecossistema), algo que se enquadra harmoniosamente na perspectiva geral de valores em torno do respeito pela biodiversidade e pela diversidade cultural dos povos.

O conhecimento geológico historicamente orientado, passível de organização em sequências de questões logicamente encadeadas, encerra em si próprio a [narracão](#), um dos processos mais poderosos de comunicar ideias articuladas de forma coerente. Os saberes que daqui resultam não representam, pois, um mero somatório de simples proposições ou de conceitos, mas sim uma série de ideias interrelacionáveis que, no seu todo, constituem um esqueleto de grande utilidade para a compreensão de variadíssimos fenómenos, permitindo, por assim dizer, a

construção de um referencial que contextualiza as explicações de complexidade variável subsequentemente obtidas acerca deste ou daquele outro aspecto particular.

A "narrativa geológica" constitui também um recurso de significativa importância no entendimento das potencialidades e limitações dos conhecimentos científicos adquiridos, bem como nas vantagens em construir percursos de investigação multi- e interdisciplinar, levantando hipóteses múltiplas e procurando explicações compósitas. Neste contexto, deixar em aberto todas as alternativas não representa uma fraqueza, antes denota um sinal de humildade perante a complexidade dos fenómenos naturais, o que promove a criação de interdependências fortes entre o pensamento e o conhecimento: tomar consciência de que qualquer abordagem por mais completa que seja está longe de contemplar todas as variáveis; perceber que a precisão das extrapolações e previsões depende das incertezas inerentes quer à heterogeneidade natural, quer às limitações dos métodos de medição ou de análise utilizados; compreender que as relações entre variáveis causais são frequentemente de natureza estatística, afrontando deste modo a definição estrita de causalidade. Em suma, entender que a caracterização das variáveis intrínsecas e extrínsecas de qualquer sistema se afigura determinante na compreensão e explicação da singularidade e da complexidade dos objectos e fenómenos naturais, conduzindo à "chave" que permite decifrar a Magia Natural (fig.2).

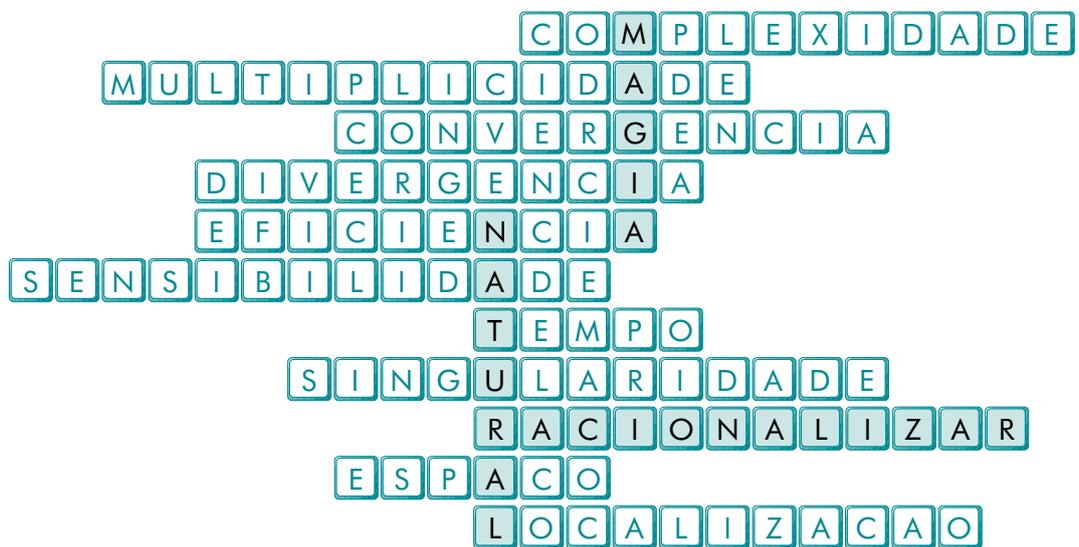


Figura 2 - A complexidade dos sistemas naturais decorre de uma multiplicidade de factores que, em convergência ou divergência, e dependendo da eficiência e sensibilidade para um dado intervalo de tempo, asseguram a singularidade, fazendo-a depender também do factor espaço e, conseqüentemente da localização. RACIONALIZAR representa, portanto, a chave para decifrar a MAGIA NATURAL.

A "narrativa geológica", se devidamente construída, possibilita ainda compreender de que forma os processos sociais condicionaram e condicionam a evolução das mentalidades e, conseqüentemente, o devir da Ciência. É efectivamente impossível conhecer a História da Humanidade sem avaliar o percurso histórico da pesquisa e extracção de recursos naturais (minerais e energéticos, em particular), ou sem avaliar os efeitos decorrentes da expansão e distribuição (cada vez mais assimétrica) da população humana. E como a repartição global dos objectos geológicos passíveis de exploração económica é alheia às fronteiras políticas, não é difícil perceber que em seu torno se tenham desenhado guerras entre povos, alimentando sonhos de expansão e de domínio territorial, conduzindo a um sem número de problemas sócio-económicos em variadíssimas regiões do Globo (muitos deles com repercussões plenas de actualidade).

A par desta última perspectiva, emerge naturalmente a que se relaciona com a evolução tecnológica, determinando a exploração e utilização (nem sempre racional) da matéria-prima (do fabrico de artefactos líticos à construção de edifícios inteligentes, do simples aproveitamento da matéria lenhosa à produção de energia nuclear, entre muitos outros exemplos). Daqui se poderá partir para variadíssimos assuntos que, directa ou indirectamente relacionados com o conhecimento geológico intemporal, permitem a introdução dos princípios subjacentes ao desenvolvimento tecnológico. Deste modo se destrói a visão reducionista da tecnologia como mero reflexo da aplicação do conhecimento ("ciência aplicada"), transformando-a na resposta cultural aos problemas, necessidades e oportunidades que moldaram, condicionam e influenciarão o desenvolvimento da Sociedade nas suas múltiplas vertentes. Criam-se assim as condições propícias à construção de pensamento, à promoção de arte e engenho, e, simultaneamente, ao estabelecimento das premissas necessárias à transformação da informação em conhecimento.

#### 4.2. Ensino da Geologia

A construção de um percurso de ensino/aprendizagem em Geologia coerente, eficaz e, porque não dizê-lo, atraente, não pode alhear-se dos princípios que regem a construção do conhecimento geológico historicamente orientado e intemporal. Tal significa a promoção de percursos investigativos orientados em torno de séries encadeadas de pequenos problemas cuja solução passe pela formulação de hipóteses de trabalho e exija a combinação das componentes observacional, descritiva e experimental.

Conforme explicitado anteriormente, a investigação dos acontecimentos que, em cada momento, determinam a evolução dos vários sistemas terrestres (ou suas partes), tem como base a [análise e descrição detalhada do seu registo geológico](#). Apenas deste modo se poderá: 1) identificar os marcadores atribuíveis a cada passo do percurso evolutivo experimentado pelo sistema em estudo, estabelecendo a sua cronologia relativa e avaliando a sua extensão espacial; 2) inferir os principais processos/mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento de tais marcadores; e 3) reconhecer e avaliar os parâmetros de natureza físico-química responsáveis pela conservação dos marcadores de cada estágio evolutivo. Daqui se depreende porque razão o trabalho de campo (nas suas múltiplas vertentes) é tão importante: sem ele não é possível definir cabalmente o sistema a estudar,

caracterizar a sua arquitectura e extensão no espaço e no tempo, examinar as suas componentes e avaliar as condições de fronteira requeridas pelo seu desenvolvimento/ estabilidade. Assim, toda e qualquer actividade de ensino em Geologia a nível elementar deve privilegiar o desenvolvimento de atitudes de problematização sobre os vários processos que se desenrolam nos diversos sistemas terrestres, visando a compreensão do registo geológico e a aquisição de capacidades de observação/ registo de factos, medição *in situ* de parâmetros críticos e/ou de resposta a questões específicas suscitadas durante o estudo de exemplos paradigmáticos. Mas como? Do ponto de vista metodológico tal significa (Mateus, 2000):

1. **introduzir globalmente o sistema a estudar** (Quais os seus constituintes elementares? Quais os factores que, regra geral, influenciam os processos condicionantes do seu desenvolvimento? Como se manifestam estes últimos? De que forma se processa a interacção entre o sistema em estudo com outros sistemas? Quais os fluxos que se estabelecem entre o sistema em análise e o ambiente?);
2. **seleccionar um exemplo** (objecto de estudo directo) **representativo da fenomenologia a estudar**, explicitando a razão de ser da escolha efectuada;
3. **contextualizar geologicamente o exemplo seleccionado** - nesta fase adquire especial relevo a interpretação de cartas geológicas (eventualmente complementada por outras cartas temáticas - geofísicas, geoquímicas, pedológicas, etc.), porquanto estas sintetizam de forma ímpar todo o conjunto de informações imprescindíveis ao reconhecimento do registo geológico de uma determinada região;
4. **promover actividades investigativas de campo**, levando os intervenientes ao registo individual (e em caderno próprio para o efeito) das observações e medições por eles realizadas *in situ* (mostrando, por exemplo, a pertinência dos conhecimentos básicos adquiridos na interpretação do que estão a observar e a importância dos dados que podem ser obtidos com o auxílio de equipamento auxiliar, como a lupa ou a bússola);
5. **introduzir e utilizar os meios** que vulgarmente se afiguram adequados à **referenciação geográfica das observações de terreno** (cartas topográficas e fotografias aéreas, em particular);
6. **fomentar o aparecimento de questões/problemas específicos cuja resposta possa ser obtida através da concretização de tarefas práticas adicionais**, como por exemplo: a) a recolha e subsequente caracterização de exemplares devidamente referenciados com vista à identificação dos constituintes básicos do objecto em análise; b) a projecção em carta apropriada (introdução do conceito de escala) de elementos colhidos durante o trabalho de campo; c) a concepção e elaboração de modelos analógicos; ou ainda, d) a realização de actividades experimentais relevantes para a resolução dos problemas levantados;
7. **discutir os resultados obtidos**, integrando-os, por forma a caracterizar as principais componentes do sistema e compreender os processos que condicionam a sua evolução global; e

## 8. avaliar o significado/pertinência da análise efectuada à luz das relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

A promoção deste tipo de percursos apresenta ainda a vantagem de inculcar na formação ministrada uma dialéctica distinta das ciências ditas clássicas e, em certa medida, uma metodologia particular que, fundamentada em testes de hipóteses múltiplas, surge com naturalidade e como resultado da combinação de regras de investigação lógicas perfeitamente adequadas ao exame dos sistemas constituintes do Planeta Terra.

### Agradecimentos

Uma palavra de profundo agradecimento ao Prof. Doutor Ricardo Quadrado, Professor Jubilado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pelos magistrais ensinamentos e reflexões conjuntas em torno da Ciência e da Educação. Ao Prof. Doutor António Ribeiro são também devidos sinceros agradecimentos pelas numerosas discussões acerca de algumas das matérias versadas neste conjunto de reflexões e pela indicação sempre oportuna de muitas obras de referência sobre o pensamento científico e a sua construção. Manifesta-se ainda reconhecido apreço a Jorge Figueiras e Mário Gonçalves, companheiros assíduos de discussões sobre a Ciência, a Geologia e muitos dos problemas que quotidianamente se levantam em torno do Ensino e da Educação em Portugal.

### Referências Bibliográficas

Bak P. (1996). *How nature works: the science of self-organized criticality*. Copernicus, Springer-Verlag, New York Inc.:212 pp.

Barton C.C., LaPointe P.R., Malinverno A. (1992). *Fractals and their use in the Earth Sciences and in the petroleum industry*. AAPG Schort Course Manual: 339 pp.

Bucher W.H. (1936). *The concept of natural law in Geology*. *Science*, 84: 491-498.

Chamberlin T.C. (1890). *The method of multiple hypotheses*. *Science*, 15: 92-96 (Reprinted 1965, *Science*, 148: 754-759).

Cheng Q. (1999). *Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation*. *Journal of Geochemical Exploration*, 65: 175-194.

Cheng Q., Agterberg F.P., Ballatyne S.B. (1994). *The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods*. *Journal of Geochemical Exploration*, 51: 109-130.

Christakos G. (1998a). *Spatiotemporal information systems in soil and environmental sciences*. *Geoderma*, 85: 141-179

Christakos G. (1998b). *Short Course on Spatiotemporal Analysis and Mapping*. Environmental Modelling Program, Dept. of Environmental Science & Engineering School of Public Health, Unc - Chapel Hill. Ischia, Italy.

Christakos G., Li X. (1998). *Bayesian maximum entropy analysis and mapping: a farewell to kriging estimators*. *Mathematical Geology*, 30(4): 435-462.

Frodeman R. (1998). *The epistemology of the earth sciences*. *Geociências nos currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.

Gary M., McAfee R. Jr., Wolf C.L. (1972) *Glossary of Geology*. Washington, D.C., American Geological Institute: 805 pp.

Gould S.J. (1965). *Is uniformitarianism necessary?* *Am.J.Sci.*, 263: 223-228.

Greten P.E. (1967). *Significance of the rare event in Geology*. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 51: 2197-2206.

Isaaks E.H., Srivastava R.M. (1989). *Applied Geostatistics*. Oxford University Press, Oxford: 561 pp.

Kitts D.N. (1963). *Historical explanation in Geology*. *J.Geol.*, 71: 297-313.

Kitts D.N. (1966). *Geologic time*. *J.Geol.*, 79: 127-146.

Kitts D.B. (1974). *Physical theory and geological knowledge*. *J.Geol.*, 82: 1-23.

Mandelbrot B.B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. Frema, San Francisco: 468 pp.

Mann C.J. (1970). *Randomness in nature*. *Geol.Soc.Am.Bull.*, 81: 95-104.

Mateus A. (2000). *Actividades práticas e experimentais no Ensino da Geologia: uma necessidade incontornável*. *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Universidade do Minho, Braga: 427-437.

Mayer V.J. (1998). *Earth System Science: the focus for developing global science literacy programs*. *Geociências nos currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.

Middleton G.V. (1991). *Nonlinear Dynamics, Chaos and Fractals eith Applications to Geological Systems* Geological Association of Canada: 235pp.

Oldroyd D. (1996). *Thinking about the Earth: a history of ideas in Geology*. *Studies in History & Philosophy of the Earth Sciences*. The Athlone Press, London: 410 pp.

Orion N. (1998a). *Earth science education: from theory to practice - How to implement new teaching strategies in different learning environments*. *Geociências nos currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.

Orion N. (1998b). *Implementation of new teaching strategies in different learning environments within the Science Education*. Conferência Internacional - *Projectar o Futuro: Políticas, Currículos, Práticas*. Departamento do Ensino Secundário, Ministério da Educação: 125-139.

Plotnick R.E. (1986) *A fractal model for the distribution of stratigraphical hiatuses*. *J.Geol.*, 94: 885-890.

Santos B.S. (1989) *Introdução a uma ciência pós-moderna*. Ed. Afrontamento, Porto.

Schumm S.A. (1991). *To interpret the Earth: ten ways to be wrong*. Cambridge University Press. First Paperback Edition, Cambridge: 133 pp.

Seddon G. (1996). *Thinking like a geologist: the culture of Geology*. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43(5): 487-495.

Shea J.H. (1982). *Twelve fallacies of uniformitarianism*. *Geology*, 10: 455-460.

Thompson D.B. (1998). *Challenges to the future*. *Geociências nos currículos dos Ensinos Básico e Secundário*, Universidade de Aveiro, Resumos de Palestras.

Turcotte D.L. (1997). *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*. 2<sup>nd</sup> ed., Cambridge University Press: 398 pp.

Ward P.D., Brownlee D. (2000). *Rare Earth - Why Complex Life is Uncommon in the Universe*. Copernicus, Springer-Verlag, New York

Watson R.A. (1969). *Explanation and prediction in Geology*. *J.Geol.*, 77: 484-494.

Weiner J. (1985). *Planeta Terra*. Gradiva - Publicações, Lda., Lisboa: 365 pp.

Wood R.M. (1985). *The dark side of the Earth*. George Allen & Unwin Publishers Lda., London: 246 pp.

## 2.4 A Biologia no contexto da Educação em Ciências

ANTÓNIO VERÍSSIMO, RUI RIBEIRO

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

A Biologia, apesar de ser considerada uma ciência “matura”, é, também, uma ciência muito jovem e em evolução vertiginosa, provavelmente a ciência que mais evoluiu no século que agora terminou, e, apesar de ser ignorada por uns, é, por vezes, apontada como a que mais influenciará o pensamento científico vindouro.

A Biologia ocupa-se do estudo da Vida ou, talvez com mais propriedade, do estudo dos sistemas vivos. Este ramo do conhecimento compreende, enfim, o conjunto de disciplinas devotadas ao estudo dos organismos vivos. Algumas vezes, tal conjunto de disciplinas é referido como as Ciências da Vida; uma terminologia útil, uma vez que distingue a biologia das Ciências físicas, cujo objecto se encontra no mundo inanimado.

Desde a revolução científica do século XVII, até provavelmente bastante depois do fim da 2ª Guerra Mundial, que o termo Ciência é entendido, pela maioria das pessoas, como ciências exactas; física, química, mecânica, astronomia, todas as que têm um forte suporte na matemática e que enfatizam fortemente o papel das leis universais. Durante este período, a Física foi considerada como a ciência exemplar. Comparativamente, o estudo do mundo vivo foi sempre considerado uma tarefa inferior ou não prioritária. Mesmo hoje em dia, existe um grande número de concepções erróneas sobre o que são, e qual a importância das Ciências da Vida. Estranha e infelizmente, muitos biólogos têm também uma visão obsoleta da sua própria ciência. Por culpa da vertiginosa evolução das referidas Ciências da Vida, muitos dos modernos biólogos, quiçá a maioria, tendem a ser extremamente especialistas e especializados, desinformados sobre os desenvolvimentos fora dos seus campos de especialidade, perdendo por vezes a noção dos extraordinários desenvolvimentos da Biologia como um todo. Esta falta de capacidade de apreciação verifica-se quer ao nível de produção de conhecimentos, quer ao nível da autonomia de construção da própria ciência, bem como dos processos sobre os quais as várias especialidades vão sendo construídas, sobre o que têm em comum..., em que diferem..., e, fundamentalmente, em que diferem das outras ciências, particularmente da ciência considerada exemplar - a Física.

Curiosamente, como é óbvio e notório, tal falta de apreciação não é impeditiva da construção e evolução científica; no entanto, ela pode ser mais preocupante em biólogos que, pela sua natureza profissional, necessitem obrigatoriamente de relevar a vertente holística das Ciências da Vida, como são sem dúvida os biólogos empenhados no ensino da Biologia, sobretudo em níveis não especializados.

Como se compreende, o objecto de estudo da Biologia é imenso e esta área do conhecimento, como outras, é um processo em contínua evolução. Não é por isso de esperar que a Biologia seja uma ciência homogénea e perfeitamente unificada. A Biologia é um ramo do conhecimento humano que, para além de o influenciar, sofre também influências directas do estado geral do Conhecimento.

Seja como for, o paradigma designado de organicista é hoje reconhecido por todos os biólogos como a raiz que suporta a construção de todo o conhecimento biológico. A base do organicismo radica no facto de os seres vivos constituírem sistemas organizados. Eles não são meros amontoados de caracteres ou de moléculas; a sua função depende inteiramente da sua organização, do seu inter-relacionamento mútuo, interacções e interdependências.

É agora claro que os dois grandes pilares capazes de explicar a biologia moderna estavam ausentes das primeiras representações explicativas (que buscavam a essência vitalista em forças de origem metafísica ou quiçá divina), por mais holísticas que estas se apresentassem. Um é o conceito de programa genético que estava ausente das primeiras concepções, uma vez que era totalmente desconhecido. Outro era o conceito de emergência, isto é, a ideia de que num sistema estruturado novas propriedades podem emergir em níveis mais elevados de integração: tais características da matéria não podem, no entanto, ser previstas por conhecimento dos componentes dos níveis mais baixos. Este conceito esteve durante muitos anos ausente, por não ser conhecido ou por ser considerado não científico e de origem metafísica. Por incorporação destes dois conceitos, o paradigma organicista assumiu-se como anti-reducionista, mas resta-lhe por vezes algum mecanicismo.

Em resumo, o organicismo é caracterizado pela perspectiva dual de considerar a importância do organismo como um todo e ao mesmo tempo pela firme convicção de que essa totalidade não deve ser considerada como algo de fechado à análise, mas antes que ele pode ser estudado e analisado, seleccionando os níveis correctos de análise. O organicista não rejeita a análise, mas insiste que tal análise só deve prosseguir, em sentido descendente de organização, até ao nível em que tal procedimento desenvolver informação relevante e nova. Todo o sistema, todo o integrão, perde informação e algumas das suas características quando é desmantelado, e muitas das importantes interacções entre os componentes de um organismo não ocorrem ao nível físico-químico, mas sim a um nível de integração mais elevado. Finalmente, o paradigma organicista transporta consigo a noção de que é um programa genético que controla o desenvolvimento e as actividades dos integrões orgânicos que emergem em cada nível sucessivo de integração.

Apesar destes princípios unanimemente aceites, a Biologia, talvez pela imensidade do seu objecto de estudo, é uma ciência onde coexistem uma multiplicidade de abordagens. De facto, existe heterogeneidade de objectivos, divergência nos interesses, variedade de técnicas, e tudo isso concorre para a multiplicação de

disciplinas. Nessa diversidade, podem destacar-se duas grandes tendências, duas atitudes que acabam por se opor radicalmente, mas, quem sabe, se no futuro acabarão por se complementar decisivamente.

A primeira dessas atitudes pode ser qualificada como integracionista. Nesta visão, o organismo é indissociável dos seus constituintes, e frequentemente ele é considerado como um elemento de um sistema de ordem superior, o grupo, a espécie, a população, a família ecológica. Esta biologia interessa-se pelas colectividades, pelos comportamentos e pelas relações que os organismos mantêm entre si e o ambiente. Impressionada pela incrível diversidade dos seres vivos, analisa a estrutura do mundo vivo, procura a causa das características existentes e descreve o mecanismo das adaptações. A sua finalidade é precisar as forças e os caminhos que conduziram os organismos aos seres que actualmente existem. Para um biólogo integracionista, o órgão e a função só têm interesse na medida em que fazem parte de um todo constituído não apenas pelo organismo mas pela população com as suas características que determinam o seu papel num conjunto mais vasto. Um biólogo deste tipo recusa considerar que todas as propriedades de um ser vivo, o seu comportamento e as suas realizações se podem explicar a partir das suas estruturas moleculares. Não porque não considere a física ou a química, mas porque considera que, em cada nível de organização, a integração dos elementos confere aos sistemas propriedades que os elementos não possuem: "o todo não é apenas a soma das partes".

Na outra extremidade, podemos encontrar uma atitude oposta que se pode classificar de tomista ou reducionista. Neste caso, o organismo funciona como um todo que só pode ser explicado pelas propriedades das partes que o constituem. Esta perspectiva interessa-se pelo órgão, pelos tecidos, pela célula, pelas moléculas, e procura descrever as funções a partir das estruturas. O biólogo tomista valoriza a unidade de composição e de funcionamento, que observa através da diversidade dos seres vivos, e perscruta nas realizações dos órgãos a expressão das suas reacções químicas. O importante é isolar os constituintes do ser vivo e encontrar as condições que permitam o seu estudo no laboratório. Variando as condições, repetindo incessantemente as experiências, precisando cada parâmetro, este tipo de biólogo tenta controlar o sistema e eliminar-lhe as variáveis. A sua finalidade é decompor a complexidade, tão minuciosamente quanto possível, de tal modo que possa examinar os elementos com o ideal de pureza e precisão que só a física e a química permitem. Todas as características do organismo podem, em última instância, ser descritas em termos do comportamento das moléculas e das suas interacções. No entanto, não se trata de negar os fenómenos de integração e de emergência. O todo pode ter propriedades que não existam nos seus constituintes, mas tais propriedades resultam da própria estrutura desses constituintes e do seu modo de actuação.

Estas duas atitudes extremas representam diferenças metodológicas, e de objectivo, e assentam em linguagens e esquemas conceptuais também diferentes. As ideias emergentes sobre os seres vivos e a sua finalidade são obviamente diferentes e muitas vezes radicam nessas diferenças grandes polémicas e muitos mal-entendidos. Ambas as perspectivas visam instaurar uma dada ordem no mundo vivo. Para uma, a ordem reside nas relações que ligam os seres vivos, no modo como se estabelecem as suas filiações, no modo como se desenham as

espécies e como estas constróem a sua própria história. Para a outra, a ordem encontra-se nas estruturas e nas suas relações, pelas quais se determinam as funções, se coordenam as actividades, se integra o organismo. Enfim, a primeira encara a Vida como um sistema muito vasto constituído pelos seres vivos que existiram e que existem num sistema ainda mais vasto que é a Terra; para a segunda, o sistema é o próprio ser vivo e, portanto, o organismo é a Vida.

Por mais paradoxal que possa parecer, as múltiplas perspectivas que a Biologia pode adquirir não se anulam, pelo contrário, coexistem frutuosa e resultam da evolução da própria ciência. Mais do que isso, implicam mudanças profundas que resultam na transformação da própria natureza do saber. No entanto, este turbilhão de mudança criativa pode ser gerador de perplexidade e com frequência surgem interpretações erróneas ou mal-entendidos, principalmente quando se radicalizam as atitudes e se inferem fenómenos quanto ao modo de considerar a Vida e o ser humano. No entanto, é de novo consensual entre os "praticantes da biologia" o reconhecimento das características distintivas da Vida e que inevitavelmente marcam a Biologia como ciência.

Hoje existe consenso sobre a natureza dos seres vivos. Pelo menos ao nível molecular e, provavelmente ao nível celular, a maioria das funções dos seres vivos obedecem às leis da física e da química. Não se considera, hoje, a necessidade de qualquer explicação de cariz ou de princípio vitalista (princípio explicativo das funções vitais de origem metafísica ou divina). No entanto, é também um dado perfeitamente consensual que os organismos são "matéria" fundamentalmente diferente da matéria inerte. Os organismos são sistemas hierarquicamente ordenados de que emergem muitas propriedades que nunca foram encontradas em matéria inanimada, e, provavelmente, mais importante do que isso, as suas actividades fundamentais são "governadas e geridas" por programas genéticos que resultam da acumulação de informação historicamente adquirida; este é outro aspecto crucial que está completamente ausente na natureza inanimada.

Como resultado, os organismos vivos apresentam uma admirável característica dualista. Tal dualismo não é, como antigamente era encarado, entre corpo e alma, ou corpo e mente, isto é, não é qualquer tipo de dualismo físico/metafísico. O dualismo que a moderna biologia enfrenta é consistentemente físico-químico e advém do facto de os organismos possuírem um genótipo e um fenótipo. O genótipo é constituído por ácidos nucleicos e requer para o seu entendimento explicações de "carácter histórico" - evolucionistas. O fenótipo, construído com base na informação proveniente do genótipo, é constituída por outro tipo de macromoléculas (proteínas, lípidos e outras) e requer explicações funcionais (mais proximais) para o seu entendimento. Este tipo de dualismo é completamente desconhecido no mundo inanimado, e, por isso, as explicações que incluem genótipo e fenótipo requerem, como se compreende, teorias diferentes, ou pelo menos complementares, das requeridas para a matéria inerte.

Podemos tentar enunciar pelo menos alguns dos fenómenos que são tipicamente característicos dos organismos vivos:

**Propriedades químicas peculiares** - apesar de, em última instância, os seres vivos serem constituídos pelos mesmos átomos que constituem a matéria inanimada, o tipo de moléculas responsáveis pelo desenvolvimento e pelas funções nos organismos vivos (ácidos nucleicos, proteínas, hidratos de carbono, lípidos, etc.) são macromoléculas que não são encontradas nos seres inanimados. A Química Orgânica e a Bioquímica demonstraram, no entanto, que todas as substâncias encontradas nos seres vivos podem ser "partidas" em moléculas inorgânicas mais simples e podem, em princípio, ser sintetizadas em laboratório.

**Mecanismos de regulação** - os sistemas vivos são caracterizados por vários mecanismos de controlo e regulação, incluindo os de "feedback" múltiplo, que mantêm um determinado nível de equilíbrio do sistema. Mecanismos deste tipo nunca foram encontrados em sistemas não vivos.

**Programações sujeitas a evolução** - os organismos são o produto de 3,8 mil milhões de anos de evolução. Todas as suas características reflectem essa história. Desenvolvimento, comportamento e todas as outras actividades dos organismos vivos são controlados, em parte, pelos seus programas genéticos (e somáticos), que são resultado da acumulação da informação genética através da história da vida. Deste ponto de vista existe uma cadeia inquebrável que une todos os seres vivos existentes ou que alguma vez existiram e que alguma vez existirão.

**Organização** - os organismos vivos são sistemas ordenados complexos. Este facto explica simultaneamente a sua necessidade e sua capacidade de regulação e de controlo bem como os seus constrangimentos quer de desenvolvimento, quer evolutivos.

**São sistemas teleológicos** - os organismos vivos são sistemas adaptados que resultam da selecção natural de incontáveis gerações antecedentes. Tais sistemas são programados para actividades teleológicas (direccionadas a um objectivo) desde o desenvolvimento embrionário até às suas actividades fisiológicas. Curiosamente, o aparecimento de novas actividades, por modificação das anteriormente existentes, é, basicamente, fruto do acaso e, como se referiu, da selecção natural.

**São delimitados por ordens de magnitude** - apesar do tamanho dos organismos vivos variar muito, desde as partículas virais mais pequenas até às grandes baleias ou às enormes árvores, a unidade básica da organização biológica, a célula, ou mesmo os componentes celulares, são muito pequenos, o que proporciona uma enorme flexibilidade quer de desenvolvimento, quer evolutiva.

**São sistemas abertos** - os organismos vivos necessitam de continuamente obter energia e materiais a partir do ambiente exterior e necessitam de eliminar os produtos finais do seu metabolismo. Desta forma, sendo sistemas abertos, não se encontram sujeitos à segunda lei da termodinâmica, isto é, diminuem a entropia por "inputs" de energia e de materiais.

Estas propriedades dos organismos vivos conferem-lhes algumas capacidades que não se encontram presentes na matéria inanimada:

- A capacidade de evolução.
- A capacidade para auto-replicação.
- A capacidade para o crescimento e diferenciação através de um programa genético.
- A capacidade para metabolizar (fundamentalmente deter, libertar e transformar energia).
- A capacidade de auto-regulação, de modo a manter um sistema complexo num certo grau de equilíbrio (ou, do ponto de vista termodinâmico, um certo grau de desequilíbrio); homeostasia.
- A capacidade de responder a estímulos oriundos do ambiente.
- A capacidade para mudar, a dois níveis: ao do fenótipo e ao do genótipo.

Todas estas características dos organismos vivos são categoricamente distintas dos sistemas inanimados. O reconhecimento gradual de tais características únicas do mundo vivo tem resultado na afirmação de um novo, mas em rápida expansão, ramo da Ciência chamado de Biologia e levou ao reconhecimento e ao desenvolvimento autónomo desta Ciência.

Do ponto de vista educativo, a Biologia deve ser encarada como fundamental na formação geral do cidadão. De facto, a liberdade de formular opções (éticas, sócio-económicas e políticas) depende do grau de literacia, também biológica, do cidadão. Esta interdependência liberdade/literacia biológica é particularmente determinante nas opções que se prendem com o futuro da espécie humana e com o ambiente.

Desta forma, a educação em Biologia, para além de se orientar pelos paradigmas didácticos mais consentâneos com as comunidades educativas em causa, deve seguir também o paradigma e, preferencialmente, as várias interpretações que definem hoje a construção da Biologia como Ciência.

Neste contexto, deve ser preocupação dos educadores em Biologia auxiliar os educandos na aquisição de um sólido conjunto de conhecimentos, que devem ter como referencial os conceitos essenciais, estruturantes, desta Ciência que reflectem as características dos sistemas vivos, em oposição aos sistemas inanimados:

- a) os sistemas vivos são caracterizados por um elevado grau de ordem;
- b) os sistemas vivos encontram-se organizados em níveis estruturais de complexidade crescente (níveis de organização biológica), sendo cada nível construído por integração das unidades do nível precedente;

- c) de cada nível de organização biológica emergem propriedades próprias, impossíveis de prever pela análise dos níveis precedentes;
- d) a estrutura e a função estão correlacionadas em todos os níveis de organização biológica;
- e) os sistemas vivos são sistemas abertos que interagem continuamente com o ambiente, trocando matéria e energia;
- f) os sistemas vivos asseguram a manutenção das suas características através de um equilíbrio dinâmico, proporcionado por mecanismos de controlo e auto-regulação;
- g) a Vida apresenta uma dualidade característica: diversidade versus unidade;
- h) a continuidade da Vida baseia-se em informação hereditária contida principalmente no programa genético;
- i) a evolução é a característica ímpar e unificadora de todos os sistemas vivos e é responsável pela ligação histórica entre todos eles, assim como pela unidade e diversidade da Vida.

Para além de tudo isto, a Biologia pode e deve contribuir para o reforço das capacidades que se consideram, em absoluto, os alicerces relevantes na Educação para a Cidadania, contribuindo assim para a formação de cidadãos mais aptos:

- a) *abstracção*: um esforço acrescido de abstracção e raciocínio lógico e crítico alicerça o desenvolvimento das competências para simplificar, ordenar, interpretar e reestruturar o aparente caos de informações emergente da elevada complexidade dos sistemas biológicos e para inferir e reconhecer o significado das inter-relações e interdependências características da realidade;
- b) *experimentação*: estabelecer relações causa-efeito, compreender articulações estrutura-função e explorar diferentes interpretações (mormente em sistemas complexos) são competências que mobilizam a confrontação racionalizada entre o previsto e o observado, *i.e.*, implicam percursos investigativos de cariz experimental e, subsequentemente, o desenvolvimento da curiosidade, da criatividade, da humildade, do cepticismo e da análise crítica;
- c) *trabalho em equipa*: reflectir a adequação das soluções biológicas diversas para as mesmas funções e avaliar a adaptação de técnicas para o estudo de sistemas complexos são competências potenciadas pelo trabalho em equipa, que apela à constante renegociação de estratégias e procura de consensos no balancear do esforço *versus* benefício, com o conseqüente reforço da expressão verbal, da fundamentação, da compreensão, da cooperação e da solidariedade;
- d) *ponderação e sentido de responsabilidade*: são capacidades que, mobilizadas com outras e com um conjunto sólido de conhecimentos, facultam competências para interpretar, criticar, julgar, decidir e intervir responsabilmente na realidade envolvente.

A Biologia pode, ainda, promover o contacto com um sistema de valores e, subsequentemente, contribuir para a assunção de atitudes associadas, nomeadamente, aos princípios de reciprocidade e responsabilidade do ser humano perante os seres vivos, em contraponto com os princípios de objectividade e instrumentalização característicos de um relacionamento antropocêntrico. Especificamente, considera-se crucial o assumir, por parte dos alunos, de três princípios éticos:

- a) valorização da diversidade biológica (estrutural e funcional, multi-sistémica e informacional);
- b) desvalorização do antropocentrismo (e.g., destruição do mito: "o Homem é o centro e o mais complexo e perfeito de entre os seres vivos");
- c) valorização da evolução biológica (o que implica imperativamente o respeito pelo processo evolutivo e pelo seu resultado - a diversidade biológica).

Desta forma a literacia biológica pode constituir uma das forças motrizes para uma melhor literacia científica, que, sem dúvida, será indispensável na formação dos cidadãos responsáveis e solidários do futuro.

## Bibliografia

AAAS/Project 2061 (1993). *Benchmarks for Science Literacy*. New York: Oxford University Press.

Campbell, N. A.; L. G. Mitchel e J. B. Reece (1999). *Biology*. (5ª Ed.). Menlo Park: Benjamin/Cummings Publishing Company.

Canavarro, J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Coimbra: Quarteto Editora.

Canavarro, J. M. (2000). *O que se Pensa sobre a Ciência*. Coimbra: Quarteto Editora.

Conselho Nacional de Educação (org.)(1999). *Ensino Experimental e Construção de Saberes*. Lisboa: Ministério da Educação.

Dawkins, R. (1988). *O Relojoeiro Cego*. Lisboa: Edições 70.

Gould, S. J. (1980). *O Polegar do Panda*. Lisboa: Gradiva.

Gould, S. J. (2000). *Full House, A difusão da Excelência de Platão a Darwin*. Lisboa: Gradiva

Gould, S. J.(1989). *A Vida é Bela*. Lisboa: Gradiva.

Jacob, F. (1985). *A Lógica da Vida*. (2ª Ed). Lisboa: Publicações Dom Quixote.

Jacob, F. (1985). *O Jogo dos Possíveis*. (3ª Ed). Lisboa: Gradiva.

- Jacob, F. (1997). *O Ratinho a Mosca e o Homem*. Lisboa: Gradiva.
- Jacquard, A. (1998). *A Equação do Nenúfar*. Lisboa: Terramar.
- Lenoble, R. (1990). *História da Ideia da Natureza*. Lisboa: Edições 70.
- Losee, J. (1998). *Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*. Lisboa: Editores Terramar.
- Mayr, E. (1997). *This is Biology*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.
- Perrenoud, P. (1993). *Práticas Pedagógicas, Profissão Docente e Formação: Perspectivas Sociológicas*. Lisboa: Publicações D. Quixote e Instituto de Inovação Educacional.
- Sagan, C. (1997). *Um Mundo Infestado de Demónios*. Lisboa: Gradiva.
- Tedesco, J. C. (1999). *O Novo Pacto Educativo*. Vila Nova de Gaia: Edição Fundação Manuel Leão.
- Wilson, E. (1997). *A Diversidade da Vida*. Lisboa: Gradiva.
- Wolpert, L. (1993). *The Unnatural Nature of Science*. Cambridge: Harvard University Press.

# 3

Educação em Ciências,  
Cultura e Cidadania

## 3.1 Educar em escolas abertas ao Mundo - Que cultura e que condições de exercício da cidadania?

M. ARMINDA PEDROSA<sup>1</sup>, A. MATEUS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Departamento de Geologia e CREMINER, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

### 1. Introdução

*Cultura* e *Cidadania* representam dois conceitos complexos e multifacetados, quantas vezes invocados de forma superficial sem se reflectir sobre a sua real importância na construção diária do todo social que marca de forma indelével a evolução da comunidade humana e as interacções que esta estabelece com o Mundo que a hospeda. *Cultura* integra conjuntos de valores, de costumes, de instituições e de obras que constituem a herança de uma comunidade ou grupo de comunidades; poderá também referir-se a conjuntos de acções que asseguram a integração de indivíduos em colectividades; ou aludir, de forma mais estrita, a conhecimentos construídos por alguém, garantindo-lhe o desenvolvimento de capacidades, designadamente intelectuais, necessárias à sua sobrevivência física e/ou exigidas pela contínua sede de saber, de criar, de construir, de sonhar e de ir cada vez mais longe na incansável busca da estética e aperfeiçoamento da comunicação (e.g. Damásio 1994, 2000; Boorstin, 1999). *Cidadania* inscreve-se, por sua vez, em intrincadas teias psico-sociais-jurídico-políticas que, estabelecendo a pertinência de um indivíduo enquanto ser social e cidadão de um país, o constitui num conjunto de direitos e de obrigações. Destes enunciados gerais, abertos a múltiplas interpretações, apropriações e comportamentos (no desenrolar da vida quotidiana de indivíduos e de grupos sociais), se depreende as dificuldades em enumerar e analisar os numerosos factores que em cada momento transformam, para cada indivíduo ou comunidade, os significados de *Cultura* e *Cidadania*, conferindo-lhes acrescida vitalidade e dinâmica próprias. Qualquer que seja a perspectiva, porém, não poderá deixar de se apreciar a inegável influência da educação na *Cultura* e na construção de entendimentos sobre como se pode e deve exercer a *Cidadania*. Deste modo, face a divergências entre sistemas de valores e às tendências de crescente alheamento cívico frequentemente manifestadas por gerações mais jovens (nas sociedades ocidentais, em particular), importa questionar a capacidade dos sistemas educativos vigentes para disponibilizar meios e promover o desenvolvimento pessoal e social consentâneos com os novos desafios e exigências desencadeados por novas realidades (multi-)

culturais e sociais, não raras vezes enquadradas por neoparadigmas emergentes (Santos, 2000). Estarão as escolas e os professores devidamente preparados para os enfrentar? Serão os currículos escolares adequados e estimulantes para explorar os novos caminhos que daqui decorrem, incorporando as grandes questões actuais, dinamizando e preparando activamente os cidadãos para enfrentarem os desafios que, numa sociedade em contínua e rápida mudança, permanentemente se colocam?

O exercício pleno da *Cidadania* pressupõe uma intervenção cívica consciente e construtiva, relacionando-se, conseqüentemente, com processos formativos a que os cidadãos acedem e em que se envolvem ao longo da vida, e não apenas na infância e juventude, designadamente enquanto estudantes. Mas, não obstante esta íntima relação constituir um princípio há muito conhecido e frequentemente enunciado em declarações políticas, tardam as iniciativas que efectivamente promovam condições de desenvolvimento cultural dos cidadãos, que os ajudem a tomar consciência dos seus direitos e deveres e, concomitantemente, os motivem e preparem para exercícios, informados e fundamentados, de uns e de outros. O frequente afastamento dos cidadãos de causas sociais e políticas, com excepção aparente de movimentos de defesa ambiental e de solidariedade social - estes manifestando-se particularmente no âmbito da saúde e em situações de pós-guerra ou no rescaldo de cataclismos naturais -, é preocupante; perturba e pode colocar em risco o funcionamento das sociedades democráticas ocidentais, inviabilizando os procedimentos participativos em que se fundamentam e que as caracterizam. Urge, portanto, reestruturar os sistemas educativos, tendo em vista a promoção e consolidação das desejadas e necessárias mudanças de atitudes (Tedesco, 1999), o que se afigura difícil, exigindo grandes investimentos e declarada vontade política de combater o assinalável divórcio entre instituições escolares e mundo real. Significa e implica isto que caminhos de mudança requerem a abertura das escolas ao Mundo, promovendo uma cultura de interacção com o seu ambiente físico e social, desenhando e implementando actividades escolares que estimulem a sua constante renovação e promovam sintonia entre problemas e recursos actualizados, oferecendo, em todos os níveis de ensino, um leque diversificado de opções que assegure formação actualizada e continuada aos que neles estudam e/ou exercem actividade profissional. Para tal, importa questionar, reflectir e rever profundamente os propósitos dos diversos níveis de ensino da educação formal, particularmente no que respeita à articulação curricular, dotando simultaneamente as escolas de infraestruturas adequadas e de profissionais devidamente qualificados. Só assim a escola poderá cumprir a sua missão: *educar, ensinando a pensar e a agir, satisfazendo e estimulando a curiosidade, para aprender a aprender e a adoptar comportamentos coerentes com responsabilidades pessoais e sociais.*

Preparar cidadãos para uma intervenção social consciente e esclarecida deve representar uma das prioridades de qualquer sistema educativo, concebida de forma a poder atingir-se com esforço ao alcance de todos e durante as sucessivas etapas da sua vida. Daqui emerge a necessidade de se privilegiar o desenvolvimento de capacidades de abstracção, análise crítica e pensamento sistémico, independentemente de percursos educativos empreendidos por cada um. E, num quadro de mudança em que a escola retoma, ou deveria retomar, a sua função de agente dinamizador de cultura, o papel da educação científica afigura-se insubstituível, porquanto revela potencial inestimável para a criação de

hábitos de problematização, de reflexão, de pesquisa individual e em grupo, de modo a transformar informação coligida em conhecimento, a permitir e a estimular questionamento de valores e de atitudes, conduzindo à busca de novos valores, especialmente quando perspectivas sócio-culturais se adicionam aos seus propósitos fundamentais<sup>1</sup>. Todavia, para que as necessárias mudanças ocorram no sistema educativo e para que estas sejam, de facto, consequentes, importa não só cuidar de infraestruturas, mas sobretudo animar de forma consciente, coerente e duradoura, os professores para os múltiplos papéis que lhes cabem no conjunto das transformações a empreender. Afigura-se então prioritário (re)credibilizar a função (missão) dos professores, investindo mais e melhor na sua formação (inicial e) contínua, pelo que, sem deixar de lhe dar o devido realce, vamos deter-nos em aspectos que reputamos, por uma ou outra razão, como essenciais ou relevantes no contexto de movimentos de reforma educativa que parecem atravessar a generalidade dos países ocidentais.

## 2. Cidadania e Ensino das Ciências.

Que responsabilidade das comunidades científico-educativas?

O exercício pleno da *Cidadania* representa um dos maiores desafios das sociedades humanas actuais. Nele se inscreve a participação dos cidadãos nas comunidades a que pertencem, tão necessária como desejavelmente multifacetada, concorrendo para o desenvolvimento de uma opinião pública esclarecida, activa e preocupada com a coerência de posições que assume e comportamentos que adopta. Dele depende, cada vez mais, a busca de percursos e de soluções alternativas que informem e consubstanciem de forma articulada as grandes decisões políticas, sociais e económicas, conciliando as legítimas aspirações dos cidadãos a uma qualidade de vida melhor em sintonia com os requisitos impostos pelo indispensável desenvolvimento harmonioso e sustentável das sociedades. Dele resulta, potencialmente, uma gestão participada e consciente da complexa teia de interesses sociais e económicos, não raras vezes conflituais, com vista à resolução sensata de problemas à escala local, regional, nacional e global, no pressuposto de que tal se fundamenta na pesquisa sistemática de balanços críticos que devem respeitar as diferenças culturais e princípios humanistas, repartindo recursos e criando mecanismos de responsabilização individual e colectiva pela evolução de todas as comunidades humanas em saudável convivência no Mundo e com o Mundo.

Aceder à informação em geral e à construção de conhecimento de ciências e de tecnologias afigura-se essencial ao desempenho esclarecido da *Cidadania* nas sociedades contemporâneas. O reconhecimento deste facto atribui às comunidades científicas e educativas responsabilidades inalienáveis nos múltiplos processos que intervêm na formação gradual e global do indivíduo enquanto cidadão e, consequentemente, no desenvolvimento da sociedade. A responsabilidade

<sup>1</sup> Acerca deste assunto, recomenda-se a análise da declaração final da Conferência Mundial sobre *Ciência para o Século XXI: Um Novo Compromisso*, realizada em 1991 sob a égide da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) e do Conselho Internacional da Ciência

que aqui se invoca não se centra na dimensão relativa à produção de conhecimento científico e tecnológico, também importante, referindo-se antes à transformação desse conhecimento para efeitos de transposição para situações de educação formal, designadamente para integrar inter-relações Ciência-Tecnologia-Sociedade - vulgo *ensino CTS* -, e as múltiplas valências mais ou menos implícitas nesta designação em ensino e aprendizagem das ciências. Estas abordagens, aparentando encerrar grande potencial para estimular aprendizagens significativas (e.g., Canavarro, 1999), parecem ainda longe de ter sido devidamente ensaiadas, testadas e avaliadas a ponto de ser claro o *que* verdadeiramente se entende por integrar inter-relações *CTS* no ensino das ciências, *para quê* fazê-lo, *porquê* e, não menos importante, *como* fazê-lo.

Afirmações do tipo "nesta era de avanços científicos e tecnológicos em que vivemos ...", surgem frequentemente em contextos e com propósitos diferenciados parecendo, amiúde, já um lugar comum. A realidade, contudo, encarrega-se de demonstrar que asserções destas levantam várias e legítimas dúvidas, apesar do consenso que aparentam congregar, destacando-se desde logo problemas decorrentes do posicionamento da *população em geral* relativamente a questões tão genéricas quanto fundamentais:

- Como perceciona as ciências, os cientistas e os *empreendimentos científicos e tecnológicos*?
- Relaciona meios, recursos e processos utilizados na vida quotidiana com *empreendimentos científicos e tecnológicos*? Se sim, que relações estabelece? Serão fundamentada e equilibradamente positivas ou, pelo contrário, assumem contornos de eudeusamento ou de menosprezo?
- Tem consciência de que utiliza no seu dia a dia recursos emergentes de intervenções científicas e tecnológicas? Qual a relação entre estes e o tipo e qualidade da sua vida quotidiana?

As respostas vão depender dos significados que cidadãos, na população em geral e/ou em amostras devida e propositadamente caracterizadas, atribuem a *empreendimentos científicos e tecnológicos*. Discrepâncias entre elas, se revelarem profundo desconhecimento e/ou desinteresse, constituirão motivo de preocupação, quanto mais não seja pela eventualidade de indiciarem diferenças (prováveis) entre desígnios estabelecidos para a escolaridade obrigatória e aquilo que, com intervenção dela, emergirá. Analisar estas diferenças não deverá, contudo, fazer-se superficialmente e de ânimo leve, porquanto vários factores e interações entre eles (em contraste com vários factores operando independentemente uns dos outros) contribuirão para as explicar.

Qualquer população, humana, vivendo em dada época e em certo contexto geográfico-político (por exemplo, hoje em Portugal), agrega diversos grupos etários e sócio-económicos caracterizáveis em termos de acesso a educação formal, por exemplo. Será, por conseguinte, razoável esperar que as suas concepções de *empreendimentos científicos e tecnológicos* sejam influenciadas por experiências e vivências relacionadas com a utilização de diversos recursos associados a tais empreendimentos, pelo acesso à educação formal e pelo tempo

de exposição ao ensino de ciências. Será ainda lícito esperar que aquelas concepções dependam, nomeadamente, de grupos etários e suas características sócio-económico-educacionais. Subsistem, contudo, dúvidas relativamente a aspectos que, defraudando expectativas criadas por apreciações superficiais e precipitadas, reforçarão convicções radicadas na necessidade de *melhorar a qualidade das aprendizagens de ciências*, quiçá num quadro de mudança que também obrigue a repensar propósitos enunciados para os diferentes ciclos de escolaridade instituídos nos sistemas educativos ocidentais.

Problemas complexos como os de ensino e de aprendizagem não obedecem a simples somatórios de relações causa-efeito, antes resultam de dinâmicas singulares que, envolvendo factores diversificados e interacções entre eles, dependem muitas vezes de características específicas de comunidades escolares. Por isso, os efeitos resultantes da aplicação de medidas institucionalmente aprovadas para a totalidade das escolas podem tardar e/ou surgir em tempos diferentes, não raras vezes adquirindo uma expressão que é própria de cada centro educativo (Bybee, 1997). Daí que dificilmente sejam eficazes as medidas e/ou intervenções no sentido de resolver de forma centralizada os problemas previamente reconhecidos, ignorando a realidade de cada escola e não considerando o envolvimento efectivo de todos os profissionais que nela desenvolvem a sua actividade. A concretização efectiva de propósitos educativos de enunciados curtos, genéricos, abrangentes e com implicações a vários níveis dos sistemas educativos, como *melhorar a qualidade das aprendizagens de ciências*, requer envolvimento de diversas comunidades científico-educativas, desde logo de professores que desenvolvem investigação nas diversas áreas de ciências e didácticas respectivas, exigindo igualmente a cooperação efectiva de professores de ciências dos ensinos básico e secundário. Os envoltimentos que aqui se preconizam pressupõem e reclamam a construção de múltiplos consensos, designadamente acerca das mudanças necessárias ao nível *do que ensinar, porque ensinar, para quê ensinar* e, não menos importante, *como ensinar*. Requerem, pois, esforço e medidas de articulação entre Ministérios, particularmente entre o da Educação e o da Ciência e Tecnologia que, estimulando a construção destes consensos, criem condições para mudanças efectivas. Ora, criar condições de mudança exige, como primeiro passo, a identificação de problemas de aprendizagem em ciências, desde logo os relacionados com *literacia científica*, em grupos de alunos frequentando diferentes ciclos ou níveis de escolaridade (por exemplo, no termo de cada um dos ciclos de ensino básico, no fim do ensino secundário e nas derradeiras etapas da formação inicial de futuros professores de ciências).

### 3. Literacia Científica

O termo literacia científica configura múltiplas concepções, algumas associadas a posições críticas e algo cépticas sobre a sua adequação como propósito educativo (Shamos, 1995). Nas sociedades ocidentais, literacia científica consubstancia uma dimensão cultural contemporânea (Jegade, 1994; Ogawa, 1986; Pomeroy, 1994) e as ciências escolares podem ser vistas como um meio de enculturação, ou assimilação, dos alunos na subcultura destas áreas de conhecimento (Aikenhead, 1996). Contudo, literacia científica, por ser um conceito complexo e multidimensional, integra também a dimensão relativa a concepções de ciências

(e.g., Bybee, 1997), pelo que diagnosticar ou avaliar literacia científica de populações, de âmbito geral ou específico, não poderá deixar de as contemplar.

### 3.1. Concepções de Ciências e Ensino das Ciências

Numa investigação recentemente realizada em Portugal (1997), partindo de uma amostra de 500 estudantes portugueses com menos de 20 anos a frequentar pela primeira vez o 1º ano do ensino superior, identificaram-se e caracterizaram-se concepções de ciências, relacionando-as com actividades escolares e não escolares (Canavarro, 2000, pg. 97). Neste estudo, reconheceram-se e caracterizaram-se concepções adequadas e ingénuas de ciências. As primeiras manifestaram-se sobretudo em estudantes "oriundos de níveis sócio-económicos alto ou médio-alto, de meio urbano e expressam uma frequência elevada de consumo informal de ciência (manifestam hábitos de consumo informal de ciência)" (*ibid.*, pg. 160). As segundas predominaram em estudantes "oriundos de níveis sócio-económicos baixo ou médio-baixo, de meio rural e revelam uma frequência reduzida de consumo informal de ciência" (*ibid.*, pg. 159-160). Aparentemente, no que respeita a esta dimensão de *literacia científica* (concepções de ciências), as escolas portuguesas, em geral, e o ensino das ciências, em particular, não contribuem para atenuar as diferenças sociais dos estudantes, concorrendo antes "para a reprodução dessas diferenças por omissões no cumprimento do papel regulador consignado às escolas nos estados democráticos." (*ibid.*, pg. 164). Por outro lado, conforme destaca Canavarro (2000), os resultados obtidos podem interpretar-se, ainda que parcialmente, com base no contexto português específico de "mais canais de televisão; alargamento de ofertas mediáticas (acesso à televisão via satélite e por cabo; oferta mais generalizada de publicações nacionais e estrangeiras sobre divulgação científica; abertura de espaços interactivos de ciência e tecnologia.)." (*ibid.*, pg. 166). Os condicionamentos ainda impostos ao acesso e à distribuição de muitos destes serviços - por não serem economicamente acessíveis, nem se encontrarem homoganeamente distribuídos pelo território nacional -, tendem a favorecer os que vivem em meios urbanos e pertencem a classes sociais mais elevadas. Os factores escolares, designadamente a frequência de disciplinas de ciências durante três anos (ensino secundário), aparentam não influenciar significativamente as concepções de ciências dos estudantes abrangidos por este estudo. O recurso a meios informais não-escolares, como por exemplo, assistir a programas de televisão e/ou ler revistas de divulgação científica e tecnológica, e/ou visitar Museus de Ciência e de Tecnologia, e/ou interactivar com profissionais de áreas científicas e tecnológicas, terá, pelo contrário, contribuído para concepções mais adequadas de ciências. Tais resultados devem inquietar as comunidades educativas e poderes políticos quanto ao papel que escolas, em geral, e o ensino das ciências, em particular, têm vindo a desempenhar, particularmente na construção de imagens públicas destas áreas de conhecimento incompatíveis com níveis aceitáveis de *literacia científica*.

A importância atribuída ao desempenho dos professores de ciências na promoção de *literacia científica* é inquestionável. Todavia, os objectivos que genericamente se podem equacionar para a educação em ciências em torno da *literacia científica* parecem não ser suficientemente audazes para estimular o questionamento e a reflexão indispensáveis à necessária mudança das práticas docentes. Efectivamente,

Bybee (1997) sustenta que a designação *literacia científica* como objectivo de educação em ciências tem a vantagem de reunir amplo consenso entre os vários actores sociais nela envolvidos ou implicados, mas incorre na inconveniência de incluir múltiplas concepções acerca do que é literacia científica e de como se deve fazer para despertar os estudantes para aprendizagens que a promovam. Este autor defende que a maioria dos profissionais envolvidos nos sistemas educativos carece de indicações mais específicas para, no contexto contemporâneo, enquadrarem actividades concretas de ensino e de aprendizagem em propósitos gerais de educação em ciências, afirmando: "Se de facto estamos interessados numa ampla reforma educativa, em larga escala e a longo prazo, teremos de dispender esforço e tempo consideráveis nas interfaces entre domínios e todos os envolvidos na comunidade educativa de ciências têm de reconhecer que a reforma ocorrerá através da tradução coordenada, consistente, e coerente de propósitos, em políticas, programas e práticas." (*ibid.*, pg. 213). Relevando o papel do ensino e da aprendizagem para desenvolver *literacia científica*, Bybee destaca, adicionalmente, a importância da clarificação e do compromisso alargado para: 1) os conteúdos de ciências que os estudantes devem aprender; 2) as estratégias de ensino que contribuirão para melhorar as aprendizagens; 3) a coerência e consistência entre as avaliações que se realizam e os assuntos que, na prática, se valorizam; 4) as formas como a cultura e organização escolares se alinham com as desejáveis mudanças educativas; e 5) as necessidades de desenvolvimento profissional dos professores de ciências.

Orientar reformas educativas em larga escala, reunindo e coordenando esforços de comunidades profissionais diversificadas, é uma ideia cuja implementação depende e reside fundamentalmente no genuíno espírito de colaboração entre profissionais. Estes serão membros daquelas comunidades que, capazes de vencer rotinas, manifestam interesse e humildade necessários para mobilizar conhecimentos e competências dos diferentes intervenientes nas várias etapas de desenvolvimento dos programas em que se envolvem. "Precisamos de cientistas que compreendam as subtilidades de conceitos-chave; investigadores que compreendam a dinâmica de aprendizagem; de especialistas em desenvolvimento curricular que compreendam as complexidades de criar materiais didácticos; de especialistas em avaliação que compreendam os problemas de identificar realizações dos estudantes; [...] e de professores que compreendam as questões de ensino e de aprendizagem nas suas salas de aula. Precisamos de todos os especialistas e experiência na comunidade profissional a trabalhar em conjunto. Do que não precisamos é de indivíduos e grupos que [...] afirmem as suas ideias pela autoridade, posição, [...]. Precisamos de genuínas especialidades apropriadamente aplicadas." (*ibid.*, pg. 223-224).

Mas, a inovação - perspectivando e implementando reformas educativas em larga escala, mobilizando e organizando esforços de comunidades profissionais diversificadas -, sendo indispensável, é muito mais fácil de enunciar do que, efectivamente, realizar.

### 3.2. Reformas Educativas

Procede-se presentemente em Portugal a revisões curriculares, designadamente para o ensino secundário, procurando compatibilizar os programas das diversas disciplinas com uma nova orientação global dos currículos. Aparentemente, os

processos em curso não deixam de se preocupar com a multiplicidade de factores que condicionam muitas das inovações educativas, muito embora sejam discutíveis os métodos utilizados pelas instituições oficiais na apreciação/discussão de diversos assuntos, colocando por vezes em risco o relativo sucesso da sua aplicação futura. De entre estes, salienta-se os referentes à adequação de habilitações, qualidade do ensino e de outras actividades desenvolvidas pelos professores. E tal não é de somenos importância, pois por estes profissionais passa, ou neles converge, um número significativo de variáveis e, se problemas com estas relacionados não forem devidamente equacionados e resolvidos, podem comprometer irremediavelmente quaisquer iniciativas de mudança no sistema educativo. Efectivamente, dos professores se espera conhecimento científico específico (disciplinar) e em didáctica das ciências que lhes permita, entre outros, reconhecer problemas de aprendizagem e utilizar recursos e estratégias que contribuam para a sua resolução. Nesta perspectiva, o conceito de *literacia científica*, entendido como parte integrante e insubstituível da cultura das sociedades contemporâneas, adquire particular relevância. Se a sua conceptualização se não coadunar com este entendimento, então importará questionar se os múltiplos processos e meios que as diversas ciências têm vindo a construir para observar, registar, medir, interpretar e explicar fenómenos do mundo material, não serão património cultural das sociedades contemporâneas. Se sim, impõe-se o seu reconhecimento como dimensões culturais que, embora diversas de outras - quiçá mais divulgadas e reconhecidas como tal -, reclamam medidas que traduzam, na prática, reconhecimento de relevância idêntica, que terão de passar por novas organizações curriculares e recriação de espaços escolares, sem, no entanto, se limitar a eles. É pertinente recordar que "[...] a controvérsia das "duas culturas", um debate acerca dos méritos relativos de uma literacia estrita versus uma educação científica, surgiu pela primeira vez em meados do séc XIX, emergindo novamente em meados do séc XX [...]" (Shamos, 1995, pg. 101) e "[...] Um debate recorrente refere-se à relação entre ciência e cultura em geral, e entre ciência e artes, em particular. [...] Esta percepção do lugar da ciência na cultura - que há, de facto, duas culturas: ciência e o resto - tornou-se parte da sabedoria popular" (Gregory e Miller, 1998, pg. 46).

Problemas reais das sociedades contemporâneas e do Mundo que as sustenta são transdisciplinares por natureza, pelo que apreciá-los, compreendê-los e construir percursos investigativos com vista à sua resolução requer contributos de diversas áreas disciplinares, tecendo-se, assim, nesse contexto e com esse propósito, interdisciplinaridades necessárias. Mas, como a existência de diferentes disciplinas e o seu desenvolvimento são pressupostos subjacentes a empreendimentos interdisciplinares, o conjunto de requisitos necessários à compreensão e resolução de problemas reais do nosso tempo encerra uma contradição aparente, parecendo de algum modo paradoxal. Com efeito, os tempos requeridos a uma formação disciplinar, coerente e conseqüente na lógica de desenvolvimento da própria disciplina, sendo elevados, limitam severamente o recurso a abordagens multidisciplinares e/ou tentativas interdisciplinares. Reforçando, pelo contrário, leituras perigosamente generalistas e falsamente transdisciplinares, incorre-se em processos incapazes de sustentar aprendizagens significativas com real impacto em atitudes e comportamentos futuros dos alunos enquanto cidadãos. A solução reside, muito provavelmente, na construção de percursos investigativos, partilhados nas diferentes etapas do seu desenvolvimento por várias disciplinas,

que, por se tratar de abordagens bem diferentes daquelas a que estamos habituados, exigem grande esforço de concepção, coordenação e implementação. A este respeito Molero (1999) sugere: "Num mundo repleto de problemas com carácter interdependente e global, o currículo mais idóneo não parece ser o composto por múltiplas parcelas desconexas de conteúdos, pois este não facilita a compreensão inter-relacionada dos problemas reais do mundo em que vivemos." (pg. 55), acrescentando: "Portanto, não se trata tanto de um currículo humanístico ou científico-técnico na educação geral, mas de uma fórmula complementar, que permita aos cidadãos compreender os problemas da vida real, já que o ensino tem como missão primeira servir para a vida dos humanos. Vida entendida no seu sentido mais amplo e não só como vida natural, mas também social, ética, pessoal, laboral, intelectual, etc." (pg. 53-54).

Será a dificuldade de encontrar a tal fórmula complementar, ou melhor, será porque não existe fórmula, ou fórmulas, cuja aplicação resulte na compreensão dos problemas da vida real, como tal percebidos pelos alunos, que o ensino, em geral, e o das ciências, em particular, se confronta com inúmeras dificuldades e contradições de percurso, destacando-se as relacionadas com problemas de aprendizagem de ciências e de literacia científica manifestadas por diversas populações estudantis?

É neste contexto que surgem iniciativas e propostas de ensino que explicitamente contemplam inter-relações CTS, que incluem perspectivas investigativas para percursos educativos, reclamando participação e envolvimento de professores e de alunos. Todavia, é necessário desenvolver investigação para conceber, implementar, testar e avaliar novas estratégias de ensino, o que pressupõe e requer participação e envolvimento activo e cooperativo de professores nesses empreendimentos. As suas salas de aula, com a multiplicidade de fenómenos e acontecimentos que as caracteriza, têm de passar a ser encaradas como objectos de estudo em que os professores, tendo em conta os problemas de aprendizagem previamente diagnosticados, se envolvem na concepção de actividades de ensino e de aprendizagem emergentes de problemas relevantes, as desenvolvem com os seus alunos, monitorizam os processos de implementação, identificam dificuldades e ganhos de percurso (particularmente nas aprendizagens), e avaliam a sua eficácia. A este propósito, Ballenilla (1997) estabelece paralelismo entre as actividades dos alunos centradas em problemas e o que designa por modelo didáctico investigativo: "Se, além disso, é a investigação de problemas relevantes que rege e organiza a actividade dos alunos, fica clara a relevância deste princípio, e daí a proposta de utilizar como referência um *Modelo Didáctico Investigativo*" (pg. 66).

#### 4. Formação Contínua de Professores e Integração de Inter-relações CTS no Ensino das Ciências

Apresenta-se, seguidamente, uma breve resenha relativa à política que em Portugal tem enquadrado a formação contínua de professores, salientando alguns aspectos relevantes do seu ordenamento jurídico recente. Tal representa o resultado de iniciativas claras dos poderes políticos no sentido de regulamentar e incentivar a promoção de actividades formativas complementares, reconhecendo o

seu valor intrínseco na melhoria subsequente da qualidade do ensino ministrado como, aliás, há muito vinha sendo reivindicado por numerosos profissionais.

Desde a promulgação da Lei de Bases do Sistema Educativo<sup>2</sup> que se reconhece a todos os educadores e professores o direito à formação contínua por forma a: i) assegurar o aprofundamento e a actualização de conhecimentos; ii) garantir, no quadro de novas perspectivas educativas, a competência profissional; e iii) permitir mobilidade e progressão nas carreiras. O Estatuto da Carreira de Educadores e Professores dos Ensinos Básico e Secundário<sup>3</sup> consagra também a formação contínua como uma das modalidades mais significativas de formação complementar e reconhece a sua importância para aperfeiçoamento profissional e promoção de competências pedagógicas e científicas, reforçando, assim princípios já enunciados em legislação anterior. O Regime Jurídico da Formação Contínua de Professores estabelece objectivos para as acções de formação a implementar, regulamentando a nível nacional a sua estrutura e funcionamento. Nos diplomas legais que definem a formação contínua de professores<sup>4</sup>: i) cria-se o Conselho Científico-Pedagógico da Formação Contínua; ii) simplifica-se o processo de acreditação das entidades formadoras e das acções de formação; iii) introduz-se maior exigência nas qualificações dos formadores; e iv) restringe-se as acções de formação para efeitos de progressão na carreira às que se repercutam em desempenhos profissionais. Cria-se, subsequentemente, o Programa FOCO<sup>5</sup>, desenvolvido no âmbito do PRODEP<sup>6</sup>, que estabelece como principais objectivos o aperfeiçoamento, reciclagem e reconversão profissional de docentes do ensino não superior e de outros profissionais de educação com funções técnico-pedagógicas e vínculo ao Ministério da Educação. Mantém-se, nos diversos instrumentos jurídicos referentes à formação contínua destes profissionais, a relevância inicialmente atribuída às instituições de ensino superior como entidades formadoras. A estas se reconhece: i) vocação preferencial para coordenar acções de aprofundamento e consolidação de conhecimentos e para especializar docentes, desempenhando tarefas de formação, ou que pretendam vir a desempenhá-las; ii) participação importante, à luz das novas exigências pedagógico-científicas, em programas de actualização de conhecimentos para professores em exercício; e iii) papel insubstituível de consultoria científica e metodológica nos centros de formação das associações de escolas, através da celebração de protocolos, de contratos-programa e de outras convenções de colaboração.

No âmbito da formação contínua de professores e no que se refere aos papéis das instituições de ensino superior, a manifesta sintonia entre princípios expostos na Lei de Bases do Sistema Educativo e as expectativas criadas por legislação decorrente desta não impediram que algumas destas instituições tenham revelado resistência em diligenciar e valorizar seriamente os seus contributos nestas matérias. No caso

<sup>2</sup> Diário da República n.º237, I Série, de 14 de Setembro de 1986.

<sup>3</sup> Decreto-lei n.º139A/90, de 28 de Abril.

<sup>4</sup> Decreto-lei n.º149/92, de 09 de Novembro, ratificado pela Lei n.º60/93 de 20/08, cuja redacção consta do Decreto-lei 274/94, de 28 de Novembro, apresentando-se a revisão de alguns dos seus artigos no Decreto-Lei n.º207/96, de 02 de Novembro.

<sup>5</sup> Formação Contínua de Professores e de Responsáveis pela Administração Educacional

<sup>6</sup> Programa de Desenvolvimento Educativo para Portugal

específico de faculdades de ciências ou de ciências e tecnologia, foram também necessários alguns anos para quebrar os alheamentos com que frequentemente se distinguíam as licenciaturas vocacionadas para a formação inicial de professores. Os tempos hoje são outros, poderá dizer-se. Ainda assim, urge encontrar medidas que conduzam a mudanças de rumo nos currículos da formação inicial de professores e, em especial, no que se refere a articulações entre esta e os ciclos formativos complementares (incluindo os de pós-graduação), mormente os destinados a suprir eventuais carências em conhecimento teórico-conceitual e/ou prático-processual. Importará notar a importância destes ciclos formativos no futuro desenvolvimento de propostas da revisão curricular emergente. Mais, saliente-se a sua pertinência para ajudar a resolver problemas educativos que, radicados em carências formativas de professores, foram a seu tempo reconhecidos em escolas do ensino básico e/ou secundário; refira-se, ainda, que carências na formação de professores tendem a reflectir-se negativamente nas aprendizagens dos alunos, gerando teias complexas de relações causa-efeito que se influenciam mutuamente e podem constituir ciclos viciosos passíveis de multiplicação e degeneração em problemas de resolução cada vez mais difícil.

No quadro das abordagens emergentes de investigação em didáctica das ciências, destacam-se as de *ensino CTS* (e.g. Canavarro, 1999). Nestas, identificam-se e distinguem-se variadas ênfases e orientações que não se revelam contraditórias entre si, parecendo antes complementares (Ziman, 1994, citado em Canavarro, 1999). Aqui se situam as abordagens *transdisciplinar* e *problemática*, que se destacam pela relevância que se lhes reconhece quer na concepção e desenvolvimento do "Programa de Formação no Ensino Experimental das Ciências"/1999 - intrinsecamente relacionado com a presente publicação -, quer na influência que este Programa tem tido noutros com destinatários e orientações semelhantes. Para ajudar a compreender e apreciar melhor os aspectos mais relevantes destas abordagens sugere-se, para além de bibliografia sobre este assunto (designadamente a já referida), a leitura do capítulo 2 de "CONCEPÇÃO E CONCRETIZAÇÃO DAS ACÇÕES DE FORMAÇÃO. 1" e cita-se Canavarro (1999): "Parece que a ciência aprendida na escola não é interiorizada. A explicação para acontecimentos do mundo tem para os estudantes muito mais a ver com experiências vividas pelo sujeito do que com conteúdos e teorias aprendidas na escola. O que parece eventualmente necessário é a promoção de experiências, de vivências, com significado para os estudantes de maneira a que eles interiorizem a explicação decorrente dessas experiências." (pg. 130).

A relação estreita entre as ideias que orientaram a concepção daquele Programa de Formação e as expressas nesta transcrição poderá apreciar-se lendo uma pequena parte do já referido capítulo 2, que, pela sua pertinência, se transcreve: "Nesta perspectiva reconhece-se a construção gradual do conhecimento e valorizam-se interacções (reflexão - discussão - trabalho em colaboração) entre os intervenientes no processo (inicialmente nas AF, entre formadores e formandos; mais tarde, entre professores-formandos e os seus alunos) e o mundo em que estão inseridos. A mensagem implícita refere-se à importância de se expor aprendizagens (formandos nas AF e alunos em actividades lectivas) aos mesmos objectos e de se conceber estratégias e recursos que proporcionem, ou facilitem, a aproximação de experiências e vivências. Simultaneamente, incentivem a construção de intersubjectividades, procurando relacionar experiências, vivências e saberes dos

intervenientes com currículos de Ciências que lhes estimulem curiosidade, interesse e reconhecimento de relevância indispensáveis para aprender." (pg. 42).

A construção de percursos investigativos que contemplem a participação e envolvimento dos alunos na identificação e compreensão de problemas, e na procura e construção disciplinar ou multidisciplinar de soluções educacional e culturalmente relevantes - designado *ensino por pesquisa* por Cachapuz et al. (2000) -, põe à prova a *literacia científica* do professor e exige-lhe elevada competência profissional em termos científicos e didáticos. Obriga, por outro lado, a estabelecer condições propícias ao desenvolvimento de actividades de colaboração com os alunos e outros professores, edificando e verificando sucessivamente hipóteses de trabalho e optando, em cada momento, por metodologias diversificadas (as mais adequadas à resolução dos pequenos problemas que invariavelmente surgem quando se trilham caminhos desconhecidos ou incipientemente testados). Daqui se depreende a importância do património vivencial de cada professor em percursos desta natureza que, se inexistente ou exíguo, poderá inibir qualquer tentativa de construção de percursos investigativos. Aqui reside, pois, o maior obstáculo à implementação destas abordagens de ensino e aprendizagem de ciências. Com efeito, poucos serão os professores que, enquanto alunos ou docentes, experimentaram e beneficiaram de empreendimentos congéneres. Não será, portanto, razoável, esperar que estes profissionais, carecendo de vivências inspiradoras e/ou modelares de ensino das ciências, fomentem e orientem acções que integrem a genuína identificação e resolução de problemas, particularmente os que se revelam educacional e culturalmente significativos. Devem assim promover-se programas de formação contínua de professores de ciências que explicitamente se orientem e desenvolvam neste sentido. Não o fazer, pretendendo simultaneamente introduzir mudanças educativas com tal orientação, é um risco com repercussões difíceis de prever, não sendo, além do mais, intelectualmente defensável nem eticamente aceitável!

## 5. Em jeito de conclusão

Da educação formal emergem vectores fundamentais à promoção de *Cultura* e à construção de entendimentos sobre como se pode e deve exercer a *Cidadania*. Em sociedades abertas, complexas e dinâmicas, os sistemas educativos não podem fechar-se em si próprios, devendo veicular organizações curriculares que, articulando devidamente saberes disciplinares, integrem e permitam compreender o essencial dos principais problemas do Mundo de hoje, identificando e resolvendo problemas pertinentes. Deste modo se contribuirá para uma formação mais global dos alunos, proporcionando-lhes os meios necessários à sua afirmação como pessoas e cidadãos informados e participativos. Neste contexto, a educação em ciências afigura-se particularmente importante, revelando-se decisiva para a construção de saberes específicos inter-relacionados com a vida quotidiana, para além de permitir a aquisição de competências técnicas e o desenvolvimento de capacidades intelectuais, de pensamento sistémico, de valores e atitudes coerentes com a promoção de desenvolvimento sustentável em democracias efectivamente participativas.

Abordagens de ensino das ciências que privilegiem a integração de interrelações CTS, concorrendo para aprendizagens significativas, veiculam a ideia de uma escola rejuvenescida, aberta ao Mundo, harmoniosamente integrada e interactuante com a comunidade a que pertence, onde dá "gozo" aprender. As diversas dimensões de *literacia científica* assim contempladas valorizam e alargam o conceito que vulgarmente se tem de *Cultura*, enriquecendo também de forma ímpar as práticas de *Cidadania*. Deste contexto emerge ainda com naturalidade o quadro complexo em que se inscreve a acção dos professores em geral e a dos de ciências, em particular.

Face aos desafios actuais, importa reconceptualizar a formação inicial e contínua de professores de ciências, reestruturando-as por forma a fortalecer gradualmente a autonomia destes profissionais (Pombo, 1993). Definir e resolver, mesmo que parcialmente, problemas pessoal e/ou socialmente relevantes que, simultaneamente, sejam adequados à implementação e desenvolvimento de percursos educativos inovadores, pressupõe e requer maior autonomia dos professores no exercício da sua actividade. Torna-se, por isso, fundamental que os professores construam um património de múltiplos conhecimentos e competências necessários ao exercício da sua actividade, em vez de a reduzirem a mera retenção, transmissão e reprodução acríticas de saberes pouco reflectidos, articulados e/ou aplicados.

#### Agradecimento:

Pela disponibilidade para ler versões anteriores deste capítulo e pelas sugestões, exprimimos o nosso apreço e agradecemos à Helena Dias.

#### Referências Bibliográficas

Aikenhead, G. S. (1996). *Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science*. *Studies in Science Education*, 27, 1-52.

Ballenilla, F. (1997). *Enseñar Investigando. Como Formar Profesores desde la Práctica?* (2ª ed). Sevilla, Díada Editora S.L.

Boorstin, D. J. (1999). *Os Pensadores*. Lisboa, Gradiva Publicações Lda.

Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy: from Purposes to Practice*. Portsmouth, Heinemann.

Cachapuz, A. F.; Praia, J. F.; Jorge, M. P. (2000). *Perspectivas de Ensino das Ciências*. Porto, Centro de Estudos de Educação em Ciência.

Canavarro, J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Coimbra, Quarteto Editora.

Canavarro, J. M. (2000). *O que se Pensa sobre a Ciência*. Coimbra, Quarteto Editora.

Damásio, A. R. (1994). *O Erro de Descartes. Emoção, Razão e Cérebro Humano*. Lisboa, Edição do Círculo de Leitores.

Damásio, A. R. (2000). *O Sentimento de Si. O Corpo, a Emoção e a Neurobiologia da Consciência* (5ª edição). Lisboa, Publicações Europa-América.

Gregory, J.; Miller, S. (1998). *Science in Public: Communication, Culture, and Credibility*. New York, Plenum Press.

Jegede, O. J. (1994). *African cultural perspective and the teaching of science*. In J. Solomon and G. Aikenhead (eds.), *STS education: International perspectives on reform*. New York, Teachers College Press.

Molero, F. M. (1999). *La Didáctica ante el Tercer Milenio*. Madrid, Editorial Síntesis, S. A.

Ogawa, M. (1986). *Toward a new rationale of science education in a non-western society*. *European Journal of Science Education*, 8, 113-119.

Pombo, O. (1993). *Para um modelo reflexivo de formação de professores*. *Revista de Educação*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, III(2), 37-45.

Pomeroy, D. (1993). *Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers and elementary teachers*. *Science Education*, 77, 261-278.

Santos, B. S. (2000). *Para um novo senso comum: a Ciência e a Política na transição paradigmática*. Volume 1 - *A Crítica da Razão Indolente; contra o desperdício da experiência*. Porto, Edições Afrontamento.

Shamos, M. H. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Jersey, Rutgers University Press.

Tedesco, J. C. (1999). *O Novo Pacto Educativo: Educação, Competitividade e Cidadania na Sociedade Moderna*. Coleção FML, Edição da Fundação Manuel Leão.

## 3.2 Educação em Ciências e Cidadania: Porquê, Onde e Como

ANTÓNIO VERÍSSIMO, RUI RIBEIRO

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Para certos sectores sócio-profissionais mais relacionados com a prática científica, é hoje unanimemente aceite a importância do ensino das ciências. Para os estudiosos da didáctica isso não representa em si um problema, uma vez que o verdadeiro objecto do seu estudo é a importância das metodologias de ensino e de aprendizagem das ciências. No entanto, provavelmente para a maioria da sociedade, a importância de ensinar e aprender ciência não parece estar demonstrada. A melhor prova disso é que amplos sectores da sociedade hoje activos não tiveram, reconhecidamente, educação científica, mas não parecem sentir falta da mesma nem tão pouco a reivindicam como fundamental para as gerações vindouras. Mais do que isso, o actual processo de revisão curricular que decorre no Ensino Secundário em Portugal não consagra, e por isso não adopta, o paradigma da "educação científica para todos", que vigora nalguns países.

Neste contexto não parece ser descabido, antes de discutir qual a melhor forma de educar em ciência, defender e, quiçá, lutar activamente pelo reconhecimento da crucial importância educativa das Ciências.

### Porquê

No início do século XXI, é absolutamente crucial expandir e conceder importância prioritária à educação em ciências por três ordens de razões:

- a) Para um aprofundamento dos modelos democráticos de decisão e quiçá pela própria sobrevivência da Democracia.
- b) Para o desenvolvimento de capacidades e aquisição de competências, que podem propiciar aos indivíduos uma melhor competitividade na sociedade do futuro e, assim, melhorar a qualidade dos cidadãos.
- c) Para promover o contacto dos indivíduos com um sistema de valores, de modo a permitir a escolha e assunção livre de atitudes.

A ideia de que só uma cultura humanista (geralmente reconhecida, de base artístico-literária) é capaz de transportar e transmitir um sistema de valores democráticos está hoje profundamente abalada. As sociedades modernas de raiz ocidental têm uma forte sustentação científico-tecnológica, vertente que provavelmente tenderá a ganhar cada vez maior importância. Neste contexto, o simples contacto com conceitos oriundos das ciências habilita o cidadão a participar melhor (mais livre e consciente) e mais activamente no próprio processo de desenvolvimento social de que faz parte. Mas, se isso não bastasse, o contacto com a forma como a ciência é e foi construída é, porventura, a forma mais fácil de transmitir valores: como a importância e o respeito pela diversidade, que são, por si só, o próprio fundamento da Democracia.

O aprofundamento democrático advém também do reconhecimento, por parte dos cidadãos, da importância social das diferentes ciências em cada momento. Este facto, mais do que a capacidade de apropriação da tecnologia gerada (que aumenta a qualidade de gestão pragmática da vivência social), representa de facto um aprofundamento democrático, porque pode incrementar e descentralizar as áreas de tomada de decisão social e inclusivamente influenciar o próprio desenvolvimento científico.

Por outro lado, o conhecimento científico por parte dos cidadãos permite a resistência a movimentos de tendência totalitária, que por vezes se instalam na sociedade através de visões distorcidas da realidade.

Finalmente, a visão da realidade disponibilizada pela ciência não impede nem inviabiliza outras visões da mesma realidade, geralmente proporcionadas pelas diversas formas de manifestações artísticas; pelo contrário, pode, pelo contraste de processos de construção e de resultados, enriquecer a capacidade de apreciação de tais visões.

Estudos recentes realizados por uma instituição representativa de grandes grupos empresariais europeus procurou caracterizar o perfil do trabalhador ideal do presente ou do futuro próximo. Tal documento apela à formação de *indivíduos completos*, dotados de conhecimentos e competências mais amplas que profundas, capazes de aprender a aprender, e convencidos da necessidade de desenvolver continuamente o seu nível de conhecimentos.

Quando deixam a escola, os jovens deviam estar na posse de um conjunto de aptidões gerais científicas e literárias, dispor de capacidade de juízo crítico e ter um bom domínio básico dos três pilares do saber: ciências e tecnologia, cultura humanística, e disciplinas sócio-económicas. Deviam também saber comunicar, assumir responsabilidades e integrar-se no trabalho em equipa. Estas características do *trabalhador do futuro*, que lhe permitirão competir qualificadamente no mercado de trabalho, implicam o desenvolvimento de quatro qualidades básicas, para as quais a educação em ciências é fundamental:

- i) Abstracção
- ii) Pensamento sistémico
- iii) Experimentação
- iv) Capacidade de trabalhar em equipa

Estas qualidades, para além de garantirem uma melhor competitividade no mercado do trabalho do futuro, são também qualidades fundamentais para qualquer cidadão, proporcionando-lhe uma inserção social mais apta e livre.

O ensino/aprendizagem da ciência baseado em paradigmas modernos, capazes de valorizar a contextualização no desenvolvimento dos conceitos e que se aproximam metodologicamente dos paradigmas em que assentam a construção das próprias ciências, são um meio de excepção para desenvolver as capacidades fundamentais citadas como primordiais na sociedade do futuro.

De facto, o desenvolvimento das competências para simplificar, ordenar, interpretar e reestruturar o aparente caos de informação emergente da elevada complexidade da realidade, sobre a qual a ciência se debruça, reforça sem dúvida a capacidade de abstracção, bem como a inferência e o reconhecimento do significado de inter-relações e interdependências características da realidade reforçam a capacidade de pensamento sistémico.

O estabelecimento de relações causa-efeito, o processo de compreensão das articulações estrutura-função, bem como a exploração de interpretações variadas (mormente em sistemas complexos), tão característicos dos processos de construção científica, são competências que mobilizam a confrontação racionalizada entre o previsto e o observado, que implicam percursos investigativos e, subsequentemente, o desenvolvimento da curiosidade, da criatividade, da humildade, do cepticismo e da análise crítica, que definem a capacidade de experimentação.

A reflexão sobre a adequação de soluções diversas para as mesmas funções, assim como a avaliação da adaptação de técnicas ou processos para o estudo de sistemas complexos, são processos muito próprios da construção de qualquer ciência e representam competências fortemente potenciadas pelo trabalho em equipa, que constantemente apela à renegociação de estratégias e à procura de consensos no balancear do esforço versus benefício, com o conseqüente reforço da expressão verbal, da fundamentação, da compreensão, da cooperação e da solidariedade dos indivíduos. Estas competências são geradoras da capacidade de ponderação e sentido de responsabilidade, que, em conjunto com um amplo conhecimento da realidade, propiciado pelo conhecimento científico, desenvolvem as faculdades necessárias para interpretar, criticar, julgar, decidir e intervir responsabilmente na realidade envolvente.

A educação em ciência pode também propiciar o contacto com um sistema de valores, quiçá menos óbvios noutras representações da realidade, que, em confronto, ou complementarmente a outros entretanto adquiridos, permita a assunção mais livre dos princípios éticos e das atitudes por parte dos indivíduos. Por exemplo, a valorização da Diversidade Natural (estrutural, funcional, informacional e multi-sistémica); a valorização dos princípios de complementaridade, reciprocidade e responsabilidade na e pela Natureza, em contraponto com os princípios de objectividade e instrumentalização; a desvalorização do mito da perfeição associada à complexidade, bem como a valorização do passado na preservação do presente para a construção do futuro, são sistemas de valores com que a educação em ciências pode confrontar os indivíduos, despertando-os para

atitudes mais consentâneas com formas sociais mais esclarecidas, tolerantes e solidárias e de profundo respeito multicultural como se deseja na sociedade do futuro.

Poderá dizer-se que outras fórmulas educativas que não passam pela educação em ciências podem também formar competências e atitudes semelhantes às que se descrevem. É possível! No entanto, a educação em ciências é seguramente uma delas, quiçá a mais eficaz! Mas mesmo que não seja, porquê retirar a possibilidade de uma dada visão da realidade na construção do cidadão do futuro?...

## Onde e Como

A Família, a Escola e a Igreja foram as principais instituições que desde sempre asseguraram o papel educativo, "sensu lato" (socialização primária e secundária e algum grau de formação profissional). Principalmente depois da emergência do conceito e da implementação da escolaridade pública e obrigatória, a relação entre estas instituições assumiu um carácter conflituoso. Os modelos adoptados em tal relacionamento foram naturalmente evoluindo ao longo do tempo e, hoje em dia, a conflitualidade parece centrar-se principalmente entre a família e a escola e será resultado das modificações drásticas – "crise" - que afectam ambas as instituições. Tal relacionamento tortuoso, curiosamente não reconhecido pelo todo social nem tão pouco pelo poder político, resulta numa sintomatologia facilmente reconhecida por todos e dramaticamente vivenciada pelos jovens: rejeição à atitude socializadora da família, ou, mais vulgarmente, à da escola, fracasso na aprendizagem, condutas violentas, consumo de drogas e marginalidade social e, menos notado, mas igualmente inquietante, a indiferença e a falta de aplicação quer à vivência familiar quer ao trabalho escolar.

Especificamente em relação à educação em ciências, o referido relacionamento difícil entre Família e Escola é irrelevante. Tradicionalmente, a Escola era a única instituição onde a educação científica era abordada e daí não se antever nenhum tipo de incompatibilidade entre os papéis esperados de ambas as instituições. Curiosamente, neste caso particular, o relacionamento da Escola com a Igreja não é absolutamente pacífico, pois, nalguns países, existe grande controvérsia sobre os conteúdos científicos que fazem parte das aprendizagens em ciência na Escola, embora, na maioria dos países europeus em que o laicismo é predominante, estes efeitos antagónicos não se fazem sentir.

No caso da educação em ciências e porventura noutros casos também, a(s) Escola(s) assume(m)-se como centro(s) principal(is), mas não único(s), de ensino/aprendizagem. É hoje perfeitamente claro que da actual organização social emergem novos factos que devem gerar novas ideias em termos educativos globais:

- a) o papel educativo da Família é cada vez menor e à(s) Escola(s) são atribuídos papéis diferentes dos de antigamente, aos quais esta(s) devem tentar responder coerentemente.

- b) existem novas instituições, que antigamente não existiam de todo, ou que detinham um papel educativo desprezível e que, hoje em dia e provavelmente num futuro muito próximo, poderão desempenhar papéis centrais na educação dos cidadãos.

Requer-se hoje, da Escola, papéis antes atribuídos a outras instituições, como por exemplo, parte da tarefa da socialização primária. Como pode a escola responder aos novos desafios?... Provavelmente assumindo-se como a principal instituição, mas não a única, formadora de personalidades ou de *indivíduos completos*, isto é, como já se referiu, para além de transferir conhecimentos, a Escola tem que ser capaz de formar competências e confrontar valores e atitudes. Como já discutimos anteriormente, as ciências são com certeza um domínio do conhecimento em que mais facilmente e com maior eficácia tais objectivos podem ser alcançados. Assim, a educação em ciências, nomeadamente o paradigma da educação em ciências para todos, pode funcionar como um meio de arquitectar o novo conceito de Escola que deve emergir nos tempos próximos. Desta forma, as ciências podem e devem servir como polo aglutinador da Nova Escola, capaz de resolver os conflitos latentes com outras instituições, mas sobretudo, e mais importante que isso, que tenha a capacidade de aproximar de novo, mas de forma diferente, os jovens da Nova Instituição Escolar. Neste contexto, a uniformização não faz qualquer sentido, uma vez que a realidade local deve ser obviamente privilegiada em relação a qualquer modelo globalizante, quicá de grande riqueza teórica, mas sem aplicação pragmática. Nesta Nova Escola, a diversidade de modelos é, então, a chave do sucesso. Cada escola é vista como uma instituição, mais global, independente e responsável pelo seu projecto educativo. Desta forma se assegura que as metodologias educativas tenham aplicação efectiva às diferentes realidades sociais e que os processos de ensino/aprendizagem sejam mais eficazes, respeitando as culturas e subculturas, valorizando a multiculturalidade. Nesta visão, ao Estado são definidos três propósitos fundamentais:

- a) a determinação de objectivos e prioridades essenciais, elaborados através de mecanismos de discussão democráticos;
- b) a concepção e implementação de mecanismos que permitam avaliar os resultados obtidos no cumprimento dos objectivos definidos, concedendo elevados níveis de autonomia às instituições e instâncias locais para definirem os processos mediante os quais pretendem obter esses resultados;
- c) a aplicação de mecanismos eficientes de compensação de diferenças que neutralizem os riscos antidemocráticos inerentes às estratégias descentralizadoras.

Deste modo, combater-se-ia a propensão reguladora e centralizadora dos grandes aparelhos burocráticos, como são os actuais sistemas educativos, e propiciar-se-ia a tendência para uma maior autonomia institucional, privilegiando a inovação institucional ao invés da tradicional reforma dos sistemas. De resto, a generalização da capacidade de inovar com sucesso deve ser tida como mais importante do que a generalização das próprias inovações, porque só assim o velho sistema educativo e as Novas Escolas evoluirão.

Para além da Escola, emergem agora novas instituições (por vezes designadas de educação não formal, precisamente como oposição à formalidade da "velha Escola") que começam a desempenhar um papel cada vez mais importante na educação dos cidadãos e particularmente na educação científica. Nestas podemos destacar instituições de vários tipos:

- a) os museus, particularmente os modernos museus de ciência, em que o paradigma da interactividade impera. Tal paradigma nem sempre atinge as funções didácticas mais adequadas, mas cumpre, no entanto, outras funções, como por exemplo, as de carácter lúdico e motivacional, que são provavelmente tão importantes como outras, por vezes consideradas mais nobres. Associados a estes museus podemos encontrar, nalguns casos, centros de recursos educativos, centros de demonstração científica ou mesmo centros de apoio à actividade experimental em ciências. A cooperação activa destas instituições com a Nova Escola é, sem dúvida, de crucial importância para a emergência e consolidação de ambas as instituições, uma vez que é uma forma ímpar de ambas se adequarem à realidade onde se inserem, beneficiando assim de condições de inovação continuada. Outra faceta importante da referida interacção é o aproximar das comunidades escolares (que frequentam mais assiduamente a escola) e as comunidades que não têm ligação tão directa à instituição escolar, podendo tais instituições funcionar como aglutinadores e integradores sociais de grande valor;
- b) as instituições de produção científica, onde cada vez mais os cientistas sentem necessidade, por motivações variadas, de divulgar a sua actividade. O papel educativo das instituições de investigação científica é cada vez mais importante; provavelmente assumirá no futuro uma importância crucial, uma vez que pode permitir o contacto directo do cidadão, ou da população da Nova Escola, com a ciência e com os produtores da ciência. Tal contacto é sem dúvida de grande importância para o cientista, que, para além de ver reconhecido o interesse social do seu trabalho, pode deste modo influenciar directamente as orientações políticas das opções sociais sobre a investigação científica. Para o cidadão escolar, ou não, trata-se de uma oportunidade única de confrontar as suas previsões do que é a ciência com a realidade, isto é, ele próprio pode "experimentar"; sobretudo pode aperceber-se directamente da realidade da construção científica. Embora, porventura, a grande vantagem seja para a própria ciência, uma vez que tais contactos representam uma forma ímpar para se defender das suas próprias fraquezas, sobretudo contrariando o carácter mítico que lhe é hoje socialmente atribuído, confundindo-a perigosamente com a pseudociência.
- c) os media, principalmente a televisão, que na sociedade actual se intrometeu decisivamente nos sistemas e nos processos educativos e que representa (embora não se assuma nem por vezes seja reconhecida como tal) uma instituição educativa. O papel educativo da televisão e dos mass media não está suficientemente estudado, no entanto, pode dizer-se que se trata do veículo de comunicação que mais divulgação tem dado à ciência nos últimos anos, embora possa provavelmente dizer-se, com igual certeza, que é o meio que tem divulgado a ciência da pior forma. Apurar o saldo é porventura tarefa desinteressante e inconsequente; o que interessa é perspectivar o papel cada

vez mais relevante destes meios de comunicação no futuro. O principal problema do papel educativo destes meios em relação às ciências reside no facto de ela ser apresentada de forma completamente acrítica, geralmente mitificada, detentora da verdade absoluta, sendo assim curiosamente caracterizada como pseudociência, isto é, o oposto da ciência. O problema é complexo, uma vez que isto só pode resultar de as comunicações serem realizadas por profissionais com uma obviamente deficitária formação científica. Nos meios de comunicação de interesse público, o papel do Estado pode e, provavelmente, deve ser evocado na definição da aferição da qualidade da divulgação científica e, assim, o seu papel assemelha-se ao que foi referido em relação à escola. Quanto aos meios de comunicação em que o Estado não tem, nem deve ter, intervenção e que se regem por critérios que, neste caso, podem não ter qualquer relação com a qualidade da divulgação científica, só as outras instituições interessadas na educação em ciências podem desempenhar um papel correctivo. Neste particular, uma Escola aberta ao dia-a-dia pode e deve desempenhar o tal efeito de confrontação entre o divulgado e o adquirido como realidade cientificamente aceite, auxiliando, assim, a longo prazo, à devida correcção da própria percepção de ciência nos meios de comunicação.

- d) os meios de divulgação e informação virtuais, e mais concretamente, os novos meios de educação à distância, nomeadamente o e-learning. Todos estes meios alargam, de uma forma ainda não completamente compreendida, as facilidades de acesso à informação e provavelmente ao conhecimento (*sensu lato*); assim sendo, são obviamente meios propiciadores de aprofundamento democrático e como tal devem ser entendidos. O único problema reside precisamente na aplicação dos mecanismos de compensação de possíveis desvios antidemocráticos que, como já foi referido, os sistemas descentralizados podem propiciar. A capacidade crítica no acesso à informação é neste caso crucial e este aspecto deve ser também criteriosamente considerado na instituição que aqui se designa de Nova Escola. Curiosamente, uma das formas da Nova Escola pode passar pelo aproveitamento destes novos meios de divulgação de conhecimento propiciados pelas novas tecnologias e, sem dúvida, que de futuro a e-Escola pode ser uma forma de atingir a excelência na educação e nomeadamente na educação em ciências.

Por último, uma referência aos educadores de ciências, entre os quais se encontram os "Novos Professores de Ciências". No conceito de uma instituição escolar aberta e descentralizada, é sobre eles que recai a grande responsabilidade de gerir as melhores formas de atingir os objectivos traçados e que terão que ser coerentemente avaliados. Desta forma, a sua formação científica (pobre ou rica), o seu conhecimento didáctico (teórico ou prático), a sua vivência (maior ou menor), o seu bom senso, o seu inigualável sentido de militância e a humildade necessária que permite a discussão e a partilha com os colegas, em conjunto com os seus alunos e com a comunidade em que o seu estabelecimento de ensino se encontra, construirão uma instituição dinâmica interventiva e aberta à inovação permanente a que poderão chamar de Nova Escola. Só desta forma poderão recuperar a admiração e o estatuto social que ambicionam e que por direito, sem dúvida, lhes pertence pelo relevante papel que desempenharão na organização social.

## Conclusões

Assumindo que conhecimento científico, “sensu lato”, constitui provavelmente a variável mais relevante na explicação das novas formas de organização social e económica, a educação em ciências representa uma mais valia na qualidade de cidadania e uma exigência democrática. Tal exigência é reforçada quando se perspectivam possíveis soluções para a actual crise da instituição escolar.

Numa instituição Escolar aberta, autónoma e inovadora, a diversidade de abordagens metodológicas nos processos de ensino/aprendizagem constitui fonte de riqueza inovadora que, após devidamente avaliada, é o cerne da evolução do sistema educativo do futuro.

Para além da Escola, emergem novas, ou renovadas, instituições que desempenham um papel cada vez mais importante na educação em ciências e não só. Uma interacção frutuosa e eficiente entre as diversas instituições que, de algum modo, promovem a educação em ciências só pode resultar em benefício para o cidadão e para a construção social.

## Bibliografia

Canavarro, J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Coimbra: Quarteto Editora.

Canavarro, J. M. (2000). *O que se pensa sobre a Ciência*. Coimbra: Quarteto Editora.

Conselho Nacional de Educação (org.)(1999). *Ensino Experimental e Construção de Saberes*. Lisboa: Ministério da Educação.

Jacob, F. (1997). *O Ratinho, a Mosca e o Homem*. Lisboa: Gradiva.

Jacquard, A. (1998). *A Equação do Nenúfar*. Lisboa: Terramar.

Lenoble, R. (1990). *História da Ideia da Natureza*. Lisboa: Edições 70.

Losee, J. (1998). *Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*. Lisboa: Editores Terramar.

Mayr, E. (1997). *This is Biology*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press.

Perrenoud, P. (1993). *Práticas Pedagógicas, Profissão Docente e Formação: Perspectivas Sociológicas*. Lisboa: Publicações D. Quixote e Instituto de Inovação Educacional.

Sagan, C. (1997). *Um Mundo Infestado de Demónios*. Lisboa: Gradiva.

Tedesco, J. C. (1999). *O Novo Pacto Educativo*. Vila Nova de Gaia: Edição Fundação Manuel Leão.

Wolpert, L. (1993). *The Unnatural Nature of Science*. Cambridge: Harvard University Press.

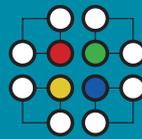




# ENSINO EXPERIMENTAL DAS CIÊNCIAS

#3

Lisboa, Outubro/2000



eec  
ensino experimental  
das  
ciências



Ministério da  
Educação



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
DEPARTAMENTO DO ENSINO SECUNDÁRIO