

**Instituto Politécnico de Castelo Branco**  
**Escola Superior de Educação**

**História e Filosofia da Ciência:  
Construir uma Nova Imagem de Ciência  
na Formação de Professores**



**Lição apresentada à Escola Superior de Educação  
do Instituto Politécnico de Castelo Branco  
para concurso de acesso à categoria de Professor-Coordenador  
para a Área Científica de Supervisão e Didáctica das Ciências**

**Maria de Fátima Carmona Simões da Paixão**  
**CASTELO BRANCO 2003**

---

## **História e Filosofia da Ciência: Construir uma Nova Imagem de Ciência na Formação de Professores**

*Para podermos captar verdadeiramente o sentido da ciência precisamos de algo mais que conhecer princípios, leis, conceitos, termos e experiências embrulhados em teorias científicas.*

*S. Esteban, 2001*

### **Introdução – Apresentação e Objectivos**

Depois de situar a História e Filosofia da Ciência no seu domínio e clarificando as suas principais correntes e as direcções que a sustentam no tempo actual (ponto 1), defendemos que a História da Ciência, e em particular o estudo de algumas controvérsias científicas, traz à Educação em Ciência uma diferente perspectiva que exige uma adequada Formação de Professores (ponto 2). E para sustentar esse entendimento apresentaremos, como parte central da lição, a análise do caso histórico da controvérsia que representou a construção e afirmação da ideia de conservação da massa, ou seja, a passagem da teoria do flogisto (a Sublime Teoria) para a teoria do oxigénio (a teoria da Nova Química) evidenciando a estrutura contextualizada da construção do conhecimento científico (ponto 3).

O remate da lição tem, necessariamente, que se direccionar para a apresentação de alguns contributos da nossa experiência como profissional da formação de professores, experiência essa que dialoga com o quadro de princípios que enunciámos e que defendemos. Apresentaremos, então, aspectos da reflexão final sobre a percepção do contributo formativo da História e Filosofia da Ciência, realizada por alunos nossos da disciplina de História e Epistemologia das Ciências, que leccionamos desde o ano lectivo de 2001/2002, e na qual parte desta lição se poderia enquadrar (ponto 4).

Deste modo, podemos apontar como **Objectivos Gerais da Lição**:

- 1 - Clarificar as teses históricas e actuais da Filosofia da Ciência.
- 2 - Evidenciar as estreitas relações da História e Filosofia da Ciência com o conhecimento sobre ciência, indispensável à Educação em Ciências.
- 3 - Evidenciar a controversa construção da ciência através da sua história.
- 4 - Ilustrar a dependência contextual, evidenciando as inter-relações Ciência, Tecnologia e Sociedade, no estabelecimento da ideia de conservação da massa.
- 5 - Realçar a importância da História e Filosofia da Ciência na formação de professores reflexivos.

### **1 - A História e Filosofia da Ciência: O seu sentido e o seu papel – correntes e direcções no tempo actual**

Não se pode entender o mundo e a vida sem tomar em consideração o que a ciência nos pôs e nos vai pondo à disposição (Sánchez Ron, 2000), não sendo, embora, já vista como o cume e a essência da racionalidade humana.

Depois da primeira grande guerra a ciência alcançara especial notoriedade tanto pelos seus êxitos na medicina e na tecnologia, como pelo seu potencial universalista de se converter no antídoto dos nacionalismos particulares e das divisões no género humano. Iniciava-se uma ideologia de progresso e optimismo baseada na ciência. G. Sarton, presumível pai da História da Ciência, organiza uma filosofia holista que abarca ciência e arte, conhecimento e vida, e assenta em ideais fabianos de unidade e bem-estar.

Inevitavelmente, a visão do mundo em geral e da ciência em particular alteraram-se. A imagem de uma ciência universal património da humanidade e núcleo da organização democrática e racional da sociedade começava a ceder terreno frente à percepção das irracionalidades e crimes que sustentava e, em breve, perderia a função luminosa que inaugurara no século XVIII e que o entre-guerras ampliara.

A emigração filosófica europeia de Carnap e Hempel injectou nos Estados Unidos uma boa dose de **neopositivismo** com a sua ideologia associada ao cientismo e à tecnocracia. A insistência em questões analíticas e do método, deixando as questões substantivas para os respectivos especialistas, assim como a insistência numa linguagem

formal, tenderia a afastar do tratamento filosófico as questões da ciência real e das suas múltiplas relações, nomeadamente com a ética e a política, pelo que a filosofia dos neo-positivistas era passível de se poder adequar a uma sociedade não solidária presidida por uma racionalidade ligada a interesses particulares e não ao conjunto da cidadania.

De facto, a primeira instituição dedicada à emergente disciplina de Filosofia da Ciência foi a cátedra que Schlick ocupou em 1922 na Universidade de Viena<sup>1</sup>, rodeado por um influente grupo de reflexão. Centraram-se na aplicação da estrutura lógica às ciências com conteúdo empírico e, por esse motivo, se chamou ao seu posicionamento empirismo lógico ou empirismo científico. Em 1929 Hans Hahn, Otto Neurath e Rudolf Carnap publicaram o Manifesto e passaram a denominar-se Círculo de Viena. As suas posturas são nitidamente opostas à metafísica. Pretendiam a redução de todos os enunciados científicos a uma linguagem fisicalista, estritamente empirista, como meio de conduzir uma unificação de todas as ciências. A indução e a lógica matemática permitiriam construir teorias e enunciados mais gerais. Centraram-se no verificacionismo, exigindo que os enunciados científicos fossem comprovados na realidade e por observação.

Mesmo após a dispersão do Círculo de Viena, o programa do empirismo lógico continuou a desenvolver-se passando a ser a tradição dominante até à década de 50, e todos os avanços na Filosofia da Ciência foram tendo lugar na tradição do empirismo, do verificacionismo e do indutivismo, sendo que a maioria dos filósofos da ciência estavam de acordo com os postulados básicos. Pouco a pouco, foram surgindo críticas e o debate foi-se tornando mais agudo.<sup>2</sup>

**Popper** foi um dos primeiros críticos de tal concepção analítica, juntamente com Quine, Putnam e Toulmin, entre outros, que discutiram o problema da oposição entre o observacional e o teórico e as regras de correspondência.

Em particular, no que diz respeito a Popper, a principal novidade que introduziu na metodologia científica refere-se à importância atribuída às teorias. Para Popper (1970; 1987) “As ciências empíricas são sistemas de teorias” e a Filosofia da Ciência é uma disciplina metateórica que reflecte as teorias científicas. A metáfora “As teorias são

---

<sup>1</sup> Podemos contudo considerar como precursores da Filosofia da Ciência alguns cientistas e historiadores da ciência anteriores como Mach, Russell, Duhem, Poincaré, etc. e tendo como antecessores mais longínquos Hume e Comte.

<sup>2</sup> Em 1962 Putnam propôs englobar as ideias básicas do neo-positivismo e da filosofia analítica da ciência, sob a designação de concepção herdada (received view).

redes que lançamos para apanhar aquilo a que chamamos mundo: para o racionalizar, explicá-lo e dominá-lo. E tentamos que a malha seja cada vez mais apertada” traduz bem a sua tese das conjecturas para conhecer o mundo. Na sua perspectiva, a avaliação de uma teoria faz-se introduzindo o critério de falsificação por meio da experiência. E àquelas que se tornam juízes falsificadores de uma teoria em favor de outra que resiste por mais tempo, Popper chamou-lhes “experiências cruciais”. Considerou-se, a si próprio, como um pensador realista (realismo crítico). Podemos apresentar razões para conjecturar que uma teoria seja verdadeira, mesmo que seja para proceder à sua eventual falsificação..A verdade continua a ser o objectivo da ciência e só se aprende e se aumenta o conhecimento por meio da crítica racional, defende Popper.

Podemos dizer que até aos anos 70 dominou uma filosofia do conhecimento científico.<sup>3</sup> A crise iniciou-se com a publicação, em 1962, da *Estrutura das Revoluções Científicas*, de Kuhn, obra que revolucionou profundamente a reflexão filosófica. As propostas de Kuhn são principalmente contra a concepção cumulativista do progresso científico e em defesa da existência de paradigmas e de revoluções científicas. Nesta visão a ciência não se desenvolve mediante a acumulação de descobertas e inventos individuais, mas por uma acção colectiva levada a cabo pelas comunidades científicas com base em crenças, métodos, conceitos e valores partilhados, a cujo conjunto se chama paradigma. As revoluções científicas implicam paradigmas rivais e comunidades científicas em oposição. A experiência não vale como juiz nessas controvérsias, porque os defensores de paradigmas opostos podem chegar a ter percepções heterogéneas do mundo. Os próprios termos básicos mudam de significado...

Para Solís (1998), Khun é um dos mais salientes pensadores da segunda metade do século XX pela “mistura de intuições profundas, novos pontos de partida e questões abertas surgidas da sua obra (que) impregnaram e orientaram indagações em (...) quase todos os âmbitos da cultura” (p. 14).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Para alguns autores ela foi até mais longe, mantendo-se como Filosofia do Conhecimento e só tendo reformulado os seus posicionamentos transformando-se em Filosofia da Actividade Científica, nos anos 80 (Echeverría, 1999; 13).

<sup>4</sup> Os anos sessenta assistiram também, além da publicação da obra fundamental de Khun, à tradução da obra de Heidegger, ao interesse por Husserl (que se refere à crise das ciências europeias) e às análises de Habermas e Marcuse (este último centrado especialmente sobre a sociedade industrial norte americana com o seu uso da ideologia analítica do cientismo para ocultar, atrás de uma capa de racionalidade, o domínio de uma parte da sociedade). O mito da unidade racional da ciência ocultava a diversidade de interesses e perspectivas.

A tensão essencial, entre a convergência no que respeita à implantação social da ciência e a divergência em relação à universalidade dos seus procedimentos e resultados, deu lugar à alta tensão entre o racionalismo e um certo relativismo que a filosofia de Khun insuflou na filosofia da segunda metade do século XX (op. cit., 13).

Kuhn cortou com os pressupostos angélicos da Filosofia da Ciência vigente, tornando irrelevantes as normas metodológicas universais e pondo em questão a existência de uma racionalidade geral acima dos compromissos tácitos das comunidades científicas.

Para a alteração da reflexão filosófica, contribuíram a transformação da historiografia da ciência e a consolidação de outro tipo de estudos, como a sociologia, a psicologia e a antropologia da ciência. Sublinhou-se a influência de diversos aspectos culturais e sociais sobre a ciência. Contrariamente à preocupação dos anteriores historiadores da ciência de descobrir nos autores e nas teorias antigas o que podem ter de actualidade, pressupondo que a ciência actual é o centro a partir do qual há que interpretar a ciência de épocas anteriores (deformando inexoravelmente o pensamento dos cientistas do passado), no caso da História da Ciência, o posicionamento de Kuhn caracteriza-se por afirmar a irredutibilidade das épocas científicas anteriores.

A História da Ciência irrompeu como fonte de argumentos e desenvolvimentos teóricos pertinentes, nomeadamente para a interpretação da ciência actual. O declínio da historiografia que usa o passado para justificar o presente, significa abandonar a concepção da história como uma evolução para algo (a verdade), para entendê-la como uma evolução dos quadros conceptuais anteriores nos quais se imbricam aspectos internos e externos da ciência. Assim praticada, a História é a base da Sociologia e da Filosofia da Ciência, estabelecendo-se uma maior ligação das antes separadas disciplinas e retomando, num outro nível, a visão holística.

#### **De Khun ao pós-kuhnianismo**

Na ideia de que cada revolução acaba gerando a sua própria contra revolução (Carpinter, 1998; 78), a teoria das revoluções científicas de Kuhn já não é vista como “a

teoria contemporânea da ciência” mas, quiçá, como geradora de uma “mudança de sentido”<sup>5</sup>.

Kuhn juntamente com Hanson e Feyerabend eram considerados representantes do que se entendeu chamar a Nova Filosofia da Ciência e esta caracterizava-se, por oposição à “velha” Filosofia da Ciência, pela sua atitude declaradamente revolucionária perante assuntos polémicos tais como a questão da distinção entre o enfoque heurístico e o enfoque lógico ou metodológico da ciência, a questão da correlação entre “experiência” e “teoria” ou a questão da “comparabilidade ou incomparabilidade interparadigmática”, interpretada, no início, como se se tratasse da traducibilidade ou intraducibilidade das linguagens correspondentes a teorias e constelações de teorias ou “paradigmas” contrapostos... A Nova Filosofia da Ciência tem, deste modo, um carácter emancipatório.

Longe de ser independente do contexto, o todo da ciência – isto é, o todo da ciência do momento – insere-se ou, pelo menos, entrecruza-se com muitos e diversos contextos, sejam eles teóricos, técnicos ou práticos, pois o cientista ou a comunidade científica não são alheios ao resto da humanidade na sua luta por organizar-se socialmente, nem permanecem insensíveis a qualquer género de instâncias de ordem moral. Dito assim, a ciência não é só “uma linguagem bem feita”, mas uma complexa actividade, enquanto tal, e imersa na infinita complexidade das demais actividades dos seres humanos (como diz Kuhn). Mas Kuhn não precisava de ir tão longe na sua oposição à racionalidade científica. Bastava-lhe ver que os cientistas actuam “racionalmente” – quando, depois de aderirem a um dado paradigma, se instalam no cultivo da “ciência normal”, da qual tentam extrair o maior rendimento possível até que – ante uma “crise”, provocada pela sua incapacidade para fazerem frente a uma acumulação de “anomalias”, e em presença de um paradigma de mudança – se decidem por reverem as suas prévias adesões e darem entrada a uma “revolução científica”. Algumas das reacções suscitadas por Kuhn vieram dar mais um contributo ao *boom* da Sociologia da Ciência, só comparado ao experimentado antes pela História da Ciência, e que representa o traço que reveste a Filosofia da Ciência mais actual.

É com os contributos das teses de Kuhn e dos seus sucessores que se constrói e organiza o quadro teórico que fundamenta a reflexão sobre a ciência actual. Por esse

<sup>5</sup> Um indicador pode ser que a bibliografia de e sobre Kuhn experimenta um incremento desde meados dos anos sessenta, alcança o seu apogeu entre meados dos anos setenta e oitenta, mantém-se com relativa firmeza até aos anos noventa e começa a decrescer bruscamente a partir daí (como se aponta na tese de Doutoramento de Zamora Baño, 1993 referida por Carpinter, 1998; 77).

motivo se refere, embora de modo muito sintético, o pensamento de diversos autores que poderíamos reunir com o título de teses pós-kuhnianas.

### **Teses Pós-kuhnianas**

**Lakatos** acusa Kuhn de considerar a mudança científica como uma “conversão mística”, espécie de “mudança religiosa” não governada por regras da razão e que por isso falha no domínio da psicologia da descoberta (Lakatos, 1970; 93). A proposta de Lakatos, que se pretende apresentar como uma postura realista, é que se deveria considerar o empreendimento científico como uma luta entre teorias rivais, em que o mundo actua como árbitro. É sua opinião que a valorização dos méritos relativos de teorias competitivas deveria manter-se até que os respectivos defensores de uma e de outra tivessem tido tempo de explorar modificações que as pudessem colocar em melhores condições de superar essas anomalias. Não se deveria abandonar uma teoria, a favor de outra diferente, sem antes explorar a possibilidade de que uma modificação conveniente produzisse uma teoria melhor que as duas. Tal aspecto condu-lo a sugerir que a unidade de apreciação não deveria ser uma teoria isolada mas uma sequência de teorias, cada uma engendrada por modificação da precedente – Programa de Investigação Científica (PIC). E Lakatos especifica as três componentes de um PIC: núcleo central, heurística negativa e heurística positiva, representando as heurísticas linhas de conduta geral que representam as direcções de desenvolvimento do programa. Sobre os PIC refere Lakatos (1978, in Newton-Smith, 1987; 96) que são progressivos enquanto mantêm a capacidade de predizer factos novos com êxito, podendo tornar-se estacionários ou regressivos até à sua eliminação. Para ele, a comunidade científica acredita na verdade do núcleo central que é reforçada pelo êxito do PIC e trabalha pela extensão de um cinto protector do PIC.

Para **Laudan**, que tem Kuhn como ponto de referência (1984; 1986), “a ciência é, em essência, uma actividade de resolução de problemas”. Ora, resolver problemas não se reduz a explicar factos. Ele próprio afirma: “A verdade ou a falsidade são irrelevantes para a resolução de problemas”.

Para desenvolver a sua teoria do progresso científico, Laudan tem que ter em conta a avaliação de problemas e a avaliação de teorias enquanto resolventes de problemas, sendo consciente que os critérios de avaliação que os cientistas usam mudam ao longo do tempo; daí que afirme um critério de racionalidade baseado na ideia

de progresso e coincidindo quase completamente com Lakatos: “A racionalidade consiste na escolha de teorias mais progressivas” (Laudan, 1984; 33).

De acordo com Laudan, a História da Ciência apresenta-se como uma competição entre teorias e tradições de investigação rivais, especialistas na tarefa de resolver problemas (Echeverría, 1995; 93). Ele insiste menos que Lakatos na heurística positiva de um programa de investigação, ou seja, a capacidade para propor problemas novos e sugestivos.

**Toulmin** (1990) prediz o esbatimento das “ilusões revolucionárias” de Khun e a sua progressiva substituição por um “sossegado” “evolucionismo”, na linha da ecologia sociocultural que auspícia e celebra o contínuo fomento da biodiversidade teórica na história das ideias. Como referia: “a ciência faz propostas inovadoras” e entre as muitas possíveis seleccionam-se as preferidas e desenvolvem-se, difundem-se e impulsionam-se.

**Putnam** abandona a “verdade como correspondência”, mas empenha-se em manter uma noção absoluta que lhe permita afirmar que os enunciados têm um valor de verdade próprio, que não se pode alterar ou perder, enquanto que para Kuhn existia a verdade partilhada (Pérez Ransanz, 1998). A principal ideia de Putnam (1990) em relação ao seu realismo interno consiste fundamentalmente na ideia de que é impossível ter uma visão do mundo que não esteja situada em algum ponto de vista específico; é impossível ter um ponto de vista desde parte nenhuma. “O mundo não é um produto. É só o mundo” (op. cit., 28).

**Rorty** (1983) previne contra uma indesejável absolutização da verdade e sustenta que a “verdade em si” é indistinguível da nossa eventual adesão àquilo que temos como verdadeiro, pelo que só nos é possível falar dela contextualizando-a no espaço e no tempo, isto é, nas concretas circunstâncias sócio-históricas em que se produz um determinado consenso acerca da verdade.

Para Rorty, não podemos educar no dogmatismo do “absolutamente verdadeiro” mas tão pouco no ceticismo da renúncia da busca da verdade, como se pode querer inferir de posicionamentos mais relativistas do apoiante incondicional de Kuhn que foi Feyerabend. A vontade de buscar a verdade deve ser ensinada, o que se pode traduzir

pelo educar na veracidade, sendo esta algo que não tem tanto a ver com a razão teórica mas com a razão prática e com a ética.

Nunca houve uma crítica tão cerrada à racionalidade e ao método científico como a que **Feyerabend** desenvolveu nas suas obras (Newton-Smith, 1987; 141). “Uma sociedade livre é aquela em que todas as tradições gozam de direitos iguais, independentemente do que delas possam pensar as outras tradições” (Feyerabend, 1991a; 32). Feyerabend duvida que a conquista do saber aconteça de modo ordenado e linear e que não tem significado a não ser no contexto. A sua célebre posição do “tudo vale”, que identifica o anarquismo ou relativismo radical é, nas suas palavras: “tudo o que é susceptível de fazer progredir o conhecimento na perspectiva de um investigador privado ou de uma tradição de investigação” (Feyerabend, 1991 b; 49), sendo que, para ele: “A investigação bem sucedida não obedece a parâmetros gerais: depende de um artifício agora, outro depois, e os movimentos que a fazem progredir nem sempre são conhecidos de quem os desencadeia” (op. cit., 328). Na sua fase final regressou do anarquismo ou relativismo radical para posições mais moderadas, sentindo até necessidade de justificar essa anterior opção.

Sobre as novas teses da Filosofia da Ciência pós-kuhniana centramo-nos, por fim, na obra de Ian **Hacking**, *Representing and Intervening*, publicada em 1983.

Relativamente a Hacking trata-se de estudar o conhecimento científico enquanto transformador do mundo. Para este autor não há uma única metodologia da ciência, nem indutiva nem dedutiva: “Os filósofos da ciência debatem constantemente sobre as teorias e as representações da realidade, mas não dizem quase nada sobre a experimentação, sobre a tecnologia ou sobre o uso do conhecimento para alterar o mundo” (Hacking, 1983; 149).

De acordo com Echeverría (1995), as teses de Hacking sobre a observação e a experimentação tendem a sublinhar que, além de carregadas de teoria elas estão, sobretudo, carregadas de prática, e de uma prática competente. O que Hacking propõe é que os filósofos da ciência estudem mais a observação científica enquanto acções (ou experimentação), e menos os enunciados observacionais (ou experimentais). O essencial não é a verdade científica, mas a capacidade inovadora da ciência. Tal capacidade tem a ver com as teorias, os factos, os conceitos, as leis, os métodos de cálculo, os artefactos científicos... O principal objectivo da ciência é a produção de novos fenómenos e graças

a eles é-se capaz de intervir na natureza, conhecê-la melhor e transformá-la. Trata-se de uma tese ontológica realista. Nesta sequência, para Echeverría (1995, 42), entraram em crise dois dos postulados da filosofia do segundo terço do século XX: a busca de um critério de demarcação entre ciência e não ciência e a distinção de Reichenbach entre contexto de justificação e contexto de descoberta. E propõe uma distinção entre quatro contextos alternativos, referindo que em vez de um contexto para a filosofia ou para a epistemologia (o de justificação) e outro para a sociologia ou para a psicologia (o de descoberta), como fizeram Reichenbach e os positivistas, se insista nos vínculos e inter-relações que os quatro contextos têm entre si, num quadro mais flexível, que permite reflectir sobre a ciência em toda a sua complexidade e distingue quatro âmbitos interdependentes: contexto de educação (ensino e difusão da ciência), inovação, avaliação e aplicação.

Também para **Chalmers** (1992) a finalidade da ciência não é só a produzir conhecimentos mas, como a tese de Hacking, intervir e controlar o mundo.

### **Ciência e valores**

A concepção herdada em Filosofia da Ciência entendia a ciência, antes de mais, como a busca de conhecimento verdadeiro, fecundo, coerente e, se possível, bem ordenado, e respondeu plenamente a um tipo de posicionamento que isolava estritamente os valores como a verdade, a coerência, a simplicidade ou a capacidade de previsão. O conhecimento científico deveria ser descritivo, explicativo ou compreensivo “do que é”, mas em caso algum “do que deve ser” (que seria para éticos, políticos, ideólogos...).

Partindo do posicionamento de que a ciência é uma actividade humana e transformadora do mundo, entende-se que esta não se limita à indagação de como é o mundo, mas que trata de o modificar em função de valores e fins e a Filosofia da Ciência interessa-se, então, por valores que determinam a praxis científica (Echeverría, 1995; 68). Aumentando os vínculos entre a ciência e a tecnologia, passou, nomeadamente, a falar-se de tecnociência. Echeverría (1995, 40) afirma que “para o bem ou para o mal, a ciência, e sobretudo a tecnociência, é uma acção modificadora e transformadora da “realidade” ou do “mundo”, sejam estes o que forem. O conhecimento científico não é mais que uma parte da acção tecnocientífica.

Conhecemos para modificar e, inclusivamente, para transformar radicalmente aquilo que conhecemos”.

Precisamente porque a ciência é uma actividade social que transcende as culturas e as nações, as avaliações sociais das inovações científicas são muito mais severas, mais cedo ou mais tarde, do que as avaliações que fazem as próprias comunidades científicas (Echeverría, 1995; 159).

O processo de avaliação de teorias rivais é muito mais complexo do que o supunha a filosofia empirista da ciência. A racionalidade científica depende de uma pluralidade de valores partilhados, cuja combinação flutuante suscita a escolha de uma teoria face a outra (Echeverría, 2002). Para Echeverría, a investigação científica, e em concreto a escolha de uma teoria, implica ainda outros valores: precisão, coerência, universalidade (amplitude), simplicidade, fecundidade, ajuste à natureza ou aos dados, utilidade social, etc.<sup>6</sup> Por exemplo, reconhecemos a sobreposição da teoria do oxigénio, no século XVIII, face à teoria do flogisto por um conjunto de valores mais amplos do que verdade, coerência e simplicidade. É fácil identificar, por exemplo, a sua fecundidade ou a utilidade social pelos desenvolvimentos subsequentes que impulsionou. Mas o prestígio social de Lavoisier poderá também ser contabilizado na aceitabilidade da teoria do oxigénio.

### **Nova História da Ciência: a mudança e as inter-relações**

A História da Ciência constitui a base da Sociologia e da Filosofia da Ciência. A teoria de Kuhn consiste em fazer ver a História da Ciência como um acervo de algo mais do que situações episódicas passadas e cronologia e em extrair consequências deste novo ponto de vista consistente com uma nova imagem da ciência e do seu desenvolvimento. O antigo tipo de historiografia fazia com que a História da Ciência aparecesse como um desenvolvimento cumulativo do conhecimento no qual o progresso recente nunca mudava essencialmente o conhecimento anterior, além de aumentar a precisão ou alguma restrição não essencial. Aliás, a filosofia positivista da ciência distinguiu-se pelo seu desinteresse pela história da ciência, em que o contexto não forma parte da construção do conhecimento científico. Tomada a ciência como uma “linguagem bem feita”, o contexto é irrelevante<sup>7</sup>. Esta História constrói-se de dois

<sup>6</sup> A questão do valor e dos limites da ciência é mais amplamente abordada pela autora no artigo “Valor e Limites da Ciência: Contributos para uma reflexão” (Paixão, 1995).

<sup>7</sup> Aliás, no posicionamento clássico de Reichenbach que distinguiu contexto da descoberta e contexto da justificação era indiscutível o domínio do segundo sobre o primeiro, isto é, os argumentos lógicos ou

modos: em primeiro lugar, a selecção do que há-de fazer parte da narração histórica guia-se pelo conteúdo da ciência actual, de modo que só se consideram historicamente valiosos os elementos da ciência passada que fazem parte da do presente. Em segundo lugar, o que resulta historicamente válido representa-se mediante os conceitos da ciência actual, o que pode levar a uma distorção séria do conhecimento passado. Esta velha historiografia não permite o possível carácter estranho e insólito da ciência do passado, não permite que ela seja substancialmente distinta da ciência de hoje. Mas como podemos alcançar uma imagem não distorcida da ciência antiga? A chave é uma leitura hermenêutica dos textos adequados. Só são adequados os escritos contemporâneos, como as fontes publicadas, artigos e livros de texto, ou material não publicado como cartas, diários, notas de laboratório, etc. Procurando nas obras originais de Lavoisier a ideia de conservação da massa, encontramos-nos perante um enunciado com uma riqueza a que nenhum manual escolar se aproxima. A leitura hermenêutica das ditas fontes trata, na medida do possível, de extrair delas o seu significado, em vez de projectar sobre elas os conceitos, problemas e normas da ciência actual. É nesta perspectiva que, por exemplo, a teoria do flogisto é completamente ignorada nos manuais escolares ou em outros textos de ciência; é considerada simplesmente errada, por não ter tradução na ciência actual – ignora-se o valor de tal teoria e os professores desconhecem-na, ou se a referem, como teoria errada, é apenas para realçar o valor da teoria e enaltecer a figura de Lavoisier, e não para ajudar, nomeadamente, a compreender esta e o imbricado processo de construção do conhecimento científico.

Os dados que a Sociologia e a Filosofia da Ciência podem manejar são os produzidos por essa historiografia com uma perspectiva metodológica orientada para recuperar o carácter estranho e insólito de uma ciência passada mercê de uma hermenêutica insistente. A imagem da ciência derivada dessa historiografia é muito distinta da antiga e coloca problemas sociológicos e filosóficos muito distintos. Há que ver, em primeiro lugar, que o desenvolvimento de uma disciplina determinada só se pode entender em relação à comunidade científica pertinente. O que rege o trabalho científico não é uma abstracta “lógica da descoberta científica”, uma metodologia universal ou o método científico (Hoyningen-Huene, 1998; 97). Existe um sistema de valores cognitivos que influencia as decisões individuais sem, contudo, as determinar.

---

“justificativos” sobrepunham-se aos condicionamentos psicológicos ou sociológicos e, em definitivo, históricos, da “descoberta” científica.

Além disso, tal sistema de valores cognitivos varia de comunidade para comunidade, assim como com o passar do tempo. Um segundo resultado da nova historiografia é a distinção, bem conhecida, entre duas fases do desenvolvimento científico em relação às quais se não-de colocar questões sociológicas e filosóficas muito distintas. Durante a ciência normal, por exemplo, as teorias fundamentais não se submetem a prova nem se confirmam. Daí que nem sequer se podem colocar os problemas da teoria da confirmação que eram de primeira importância na Filosofia da Ciência tradicional. Por outro lado, na ciência extraordinária não tem lugar a confrontação típica dos dados empíricos com uma teoria, já que o que agora temos é uma comparação de, pelo menos, duas teorias em relação à sua capacidade relativa de solucionar problemas.

Um resultado igualmente controverso da nova historiografia da ciência é a tese de que uma mudança teórica é acompanhada de uma mudança mais ou menos subtil dos conceitos científicos que leva a uma relação entre teorias sucessivas que Kuhn denominava de “incomensuráveis”. ... Se existem mudanças conceptuais, então há toda uma série de problemas novos que se não-de colocar em Filosofia da Ciência. Por exemplo, o que pode querer dizer o progresso científico se não se entende exclusivamente como algo cumulativo?...

Da perspectiva da história da ciência, quando se fala de descoberta e de invenção científica, não se alude só à enunciação de uma nova lei ou à observação de um novo facto. Também são inovações os instrumentos de medida, de observação e de experimentação, as notações, as linguagens e as representações, assim como as técnicas de armazenamento, recuperação e distribuição de informação e conhecimento. Os critérios axiológicos que determinam a maior ou menor cientificidade de umas ou de outras inovações são muito diversas e mudam com o tempo. Há ainda outros valores, como a simplicidade, a generalidade ou a beleza, que tiveram um importante papel em muitos momentos chave da história da ciência. Mesmo assim há que ter em conta a fecundidade e a potencialidade heurística das inovações científicas: uma conjectura, um problema e uma teoria podem gerar muitas propostas científicas, apesar de não serem demonstráveis num momento histórico dado ou não poderem ser testadas empiricamente.

A história da ciência permite compreender que não há experiência crucial nem valor supremo que determinem de uma vez por todas o veredicto dos cientistas relativamente a uma inovação científica ou técnica. A racionalidade da ciência tem uma complexidade maior do que pensaram muitos filósofos empiristas, quando tentaram

propor um critério único e definitivo para decidir sobre a cientificidade ou não de um enunciado ou de uma teoria.

A história mostra ainda um evidente pluralismo metodológico em cada uma das ciências e uma panóplia de métodos científicos (Echeverría, 1999). Apesar de algumas tentativas, particularmente clássicas de concepções unitárias da ciência com base na noção de método científico, verifica-se que não têm tido êxito e impõe-se, sim, o pluralismo das ciências e o pluralismo metodológico de cada uma delas.

### Síntese

Tentámos evidenciar que a evolução da Filosofia da Ciência ao longo do século XX fez entrar em crise a concepção herdada. Kuhn faz intervir a História e a Sociologia da Ciência mas está ainda centrado nas teorias científicas. A partir de Kuhn ficou claro que os processos de mudança científica são muito mais complexos do que o que se pode antever das concepções cumulativistas do progresso científico. Para os pós-kuhnianos sobressaem aspectos bastante diferentes dos puramente teóricos considerando que, para além de conhecimento, a ciência é um conjunto de actividades (ou intervenções no mundo), cujos objectivos não se circunscrevem à busca da verdade ou a um melhor conhecimento da realidade. Como dizem muitos autores, há que estudar a ciência no seu contexto histórico ou actual, mas que é sempre social. A ciência é, na actualidade, uma forma de cultura de grande influência na sociedade, que por sua vez está profundamente influenciada por esta.

No terreno epistemológico, como no ético e no político, a tendência dominante nos finais do século XX e que está a marcar a inauguração do nosso século XXI, é a admissão da pluralidade. Esta pluralidade requer a adopção de um relativismo moderado que não exclua a possibilidade de crítica desde pontos de vista diferentes mas que, pelo contrário, dê conta de como a crítica é indispensável para o progresso do conhecimento. O pluralismo saudável permite entender que não há mistério ao afirmar que apesar de que o mundo muda com o tempo e de comunidade para comunidade, contudo esse é o mundo real com o qual interactuamos.

É na perspectiva apontada que o ideal de sociedade democrática não prescinde de cidadãos cientificamente mais cultos e à escola cabe uma quota-parte na sua formação.

## **2 - A História e Filosofia da Ciência na Educação em Ciência e na Formação de Professores**

No processo de educação, sendo este sempre uma intenção de transformar as mentes, a percepção do mundo e as competências práticas, a ciência tem que ser encarada de uma nova forma, capaz de dar sentido ao desenvolvimento científico quanto ao seu papel na construção das novas sociedades do conhecimento, que têm de ser, necessariamente, sociedades de elevada democraticidade. Muitos autores se têm vindo a referir à urgência de traçar caminho para a nova sociedade e são conscientes do valor da ciência e da tecnologia nessa construção, bem como da necessidade de novas competências básicas para o novo cidadão (Morin, 2000; Cachapuz, Sá-Chaves & Paixão, 2002).

Não sendo já a única finalidade da Educação em Ciência a de preparar futuros investigadores, as perspectivas do ensino seguem, então, novas orientações.

Como já noutra ocasião referíamos (Paixão, 1998), há a considerar a célebre tríade de Hodson (1992) das dimensões da Educação em Ciência: aprender ciência (adquirir conhecimento conceptual e teórico), aprender sobre ciência (desenvolver compreensão da sua natureza e métodos e as complexas interações entre Ciência, Sociedade e Tecnologia) e fazer ciência (envolver-se e desenvolver habilidades na investigação e resolução de problemas). Com semelhante entendimento, Millar (1996) argumenta que a finalidade da Educação em Ciência é aprender alguma coisa acerca do corpo de conhecimentos da ciência, alguma coisa sobre os processos pelos quais o conhecimento científico é gerado e alguma coisa acerca da maneira como é construído em contexto social.

Passar mensagens acerca da natureza da ciência e da actividade científica é um factor que influencia uma atitude em relação à ciência (e que pode até influenciar a opção por cursos de ciência) (Hodson 1986). Se queremos que os alunos adquiram uma compreensão adequada e uma apreciação sobre tais assuntos é necessário que considerações filosóficas tenham mais predominância e proeminência nas situações de aprendizagem da ciência. Muitos investigadores (Forge, 1979; Abimbola, 1983; Brickhouse, 1989; Cleminson, 1990; Veiga, 1991; Pomeroy, 1993; Matthews, 1994a; Níaz, 1994; Gil Pérez, 1996; Monk & Osborne, 1997; Justi & Gilbert, 1999; Hogan, 2000; Irwin, 2000; Chin & Malhotra, 2002; Níaz & Arelys Maza, 2002, entre outros) analisam as tendências inovadoras nas orientações para a educação em ciência, no

sentido de alterar as visões deformadas e empobrecidas sobre a ciência e sobre o trabalho científico, responsáveis, em grande medida, por atitudes negativas para com a ciência e a sua aprendizagem. Aliás, sobre as visões deformadas, um conjunto de investigadores (Fernández et al.; 2002) organizou-as tendo em conta a sua incidência na literatura e isolou sete: - concepção empírico-indutivista e atórica; - concepção rígida; - concepção apromática e ahistórica da ciência; - concepção exclusivamente analítica; - concepção meramente cumulativa do desenvolvimento científico; concepção individualista e elitista da ciência e – visão descontextualizada, socialmente neutra da actividade científica. Tais visões compõem, em boa medida, a imagem pública da ciência, que a educação em ciência deveria contribuir para alterar.

As perspectivas contemporâneas da Filosofia da Ciência, mais baseadas nas perspectivas kuhnianas e pós-kuhnianas (que considerávamos no ponto anterior), resumem alguns aspectos consensuais que contribuem para a imagem de ciência actualmente apontada como ajustada ao entendimento da ciência e que seria desejável que, em diferentes mas convergentes aspectos do ensino, passasse para os alunos (Paixão & Cachapuz, 1998), contrariando as visões deformadas.

Como resultado de uma apropriação didáctica de tais orientações da Filosofia da Ciência de sentido pós-positivista, a perspectiva de Ensino Por Pesquisa desenvolve um quadro de referências para fundamentar diferentes práticas valorizando contextos CTSA e componentes experimentais (Cachapuz, Praia & Jorge, 2002).

Um dos aspectos valorizados nas novas perspectivas apontadas é o uso da História da Ciência como forma de apresentar uma actividade humana com forte sentido cultural, social e ético, que permite uma compreensão mais global da natureza da ciência, do conhecimento científico e do próprio trabalho dos cientistas que se desenvolve em comunidades de rostos humanos (Paixão, 1998).

Para a renovação nas orientações curriculares e no ensino da ciência é crescente a convicção de que a História e Filosofia da Ciência têm um papel importante a desempenhar. Alguns autores apontam motivos que justificam a sua consideração como uma parte importante da Educação em Ciência.

Solomon *et al.* (1992) apontam alguns dos benefícios: - Melhor aprendizagem dos conceitos científicos; - Aumento do interesse e da motivação no assunto; - Uma introdução à Filosofia da Ciência; - Desenvolvimento de uma melhor atitude pública face à ciência; - Compreensão da relevância social da ciência.

Matthews (1992) dá igualmente algumas justificações: - Motiva e encoraja os alunos; - Humaniza o assunto; - Promove melhor compreensão dos conceitos científicos dando conta do seu desenvolvimento e refinamento; - Tem valor intrínseco compreender certos episódios fulcrais da história da ciência; - Demonstra que a ciência é mutável e alterável; - Combate a ideologia do cientismo; - Conduz a melhor compreensão do método científico...

Num outro artigo de Matthews (1994b), este autor refere-se à crise contemporânea do ensino das ciências e ao alarmante analfabetismo científico. Para este autor, a história, filosofia e sociologia da ciência não têm todas as soluções para a crise mas têm algumas respostas: Podem humanizar as ciências e aproximá-las mais dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos; podem tornar a aula mais estimulante e reflexiva, aumentando as capacidades de pensamento crítico; podem contribuir para uma maior compreensão dos conteúdos científicos e podem contribuir para superar o "mar de sem sentidos" das aulas de ciências em que se recitam fórmulas e equações, mas onde poucos conhecem o seu significado.

Também de acordo com a "Science for all Americans", há duas principais razões para incluir alguma história no ensino da ciência: é que as generalizações acerca de como opera a empresa da ciência fica vazia sem exemplos concretos e alguns episódios da história do empreendimento científico têm um significado acrescido para a nossa herança cultural (Bybee *et al.*, 1991).

Os educadores de Estudos Sociais vêem ainda o ensino acerca da história e natureza da ciência e tecnologia através de outras lentes - a necessidade de os alunos se transformarem em competentes decisores em áreas sociais e cívicas:

Os cidadãos de hoje são não só afectados pelos desenvolvimentos baseados na ciência, como são chamados cada vez mais, através da sua participação nos processos políticos, a intervir nas decisões públicas relativas ao desenvolvimento e aplicação da ciência e da tecnologia (Bybee *et al.*, 1991).

Além disso, estudar a história da ciência e da tecnologia ajuda os cidadãos a reconhecerem factores que influenciam a inovação e a actuarem quando confrontados com ela (Burke 1978 in Bybee *et al.*, 1991). Do mesmo modo, nesta era científica e tecnológica, algum conhecimento da história da tecnologia é necessária para rejeitar ciladas dos políticos configuradas com utopismo tecnológico.

Os currículos que enfatizam os produtos da ciência introduzem os alunos no campo científico sem explorar nenhum dos aspectos que contribuem para que "seja como é" e "como é que se lá chegou". Fazendo isso tais currículos falham nos aspectos significantes deste produto cultural que chamamos ciência - o significado da criatividade e da imaginação e o facto de o pensamento científico ser histórica e socialmente situado.

Na convicção de que o conhecimento dos alunos/cidadãos pode ser mais seguramente construído se o processo da construção do conhecimento científico for, ele próprio, uma parte explícita do currículo de ciência, os aspectos considerados apontam para a inadequação da mera autoridade ou de perspectivas de ensino lineares como base para o conhecimento e requer professores que incorporem a dimensão histórica e filosófica no seu **ensino** da ciência.

Apenas integrar história da ciência no ensino não é suficiente. A história da ciência pode ser escrita/encarada de muitas maneiras. Como explicitam Monk e Osborne (1997) "Não é a depurada história das ideias completamente desenvolvidas que é necessária, mas uma história da criação dessas ideias, das pessoas que as criaram e dos impactos que causaram na sociedade".

Sendo muitos os argumentos em defesa da inclusão da História e Filosofia da Ciência nos currículos e do seu uso em estratégias de ensino (Dana, 1990; Bybee *et al.*, 1991; Sprod, 1993...), é ainda tímido o número de trabalhos publicados com contributos para essa perspectiva. É possível, contudo, avançar alguns, em concreto, em áreas diferenciadas das ciências e, nomeadamente, de autores portugueses (Berg, 1990; Matthews, 1990; Praia, 1995; Marques, 1995; Paixão, 1998, entre outros). O campo está, portanto, ainda em aberto para a criação, organização e teste de bons materiais de ensino.

Insistentemente, desde o início dos anos 90 que a literatura aponta a necessidade de identificar temas centrais relacionados com a história e a natureza da ciência e tecnologia, delinear o alcance, extensão e sequência para desenvolver a compreensão dos alunos em relação a esses temas, e proporcionar recomendações para os introduzir nos currículos e os implementar nas práticas. Mas, principalmente, tem-se sublinhado a necessidade de **dar atenção à formação de professores** no sentido de os preparar para

ensinarem acerca da história e filosofia da ciência e tecnologia, por se identificarem as dificuldades como resultado da sua deficiente preparação.

A formação em História e Filosofia da Ciência é imprescindível para uma análise da fundamentação das disciplinas e matérias de ciências, ajudando os futuros professores a explicitar os seus pontos de vista sobre a construção do conhecimento científico.

Na formação de professores precisa-se, portanto, de uma melhoria, principalmente qualitativa, contribuindo para um conhecimento mais profundo da estrutura da ciência e do seu lugar como marco intelectual.

E se é à escola que compete iniciar um debate sério sobre a ciência, a sua natureza, a sua relação com a sociedade, questões éticas que a ciência coloca e sobre as quais os cidadãos devem ter uma opinião, os professores devem, eles próprios, ter oportunidade de formação que lhes proporcione a aquisição de tais competências (que os faça encontrar-se com uma imagem de ciência e construção do conhecimento científico numa diferente perspectiva)...

A formação de professores, todos mas em particular dos de Ciências, deve então cuidar de semear a ciência como cultura de criação de uma imagem não distorcida, crítica e informada da ciência. Deve afastar a imagem ingénuo da ciência... sem bem nem mal, porque a imagem tem de ser aquela em que a informação e a formação científica são um meio indispensável para que o bem se sobreponha ao mal. A História da Ciência pode ajudar a construir uma tal imagem (Monk & Osborne, 1997).

Reforça-se, então, a ideia de que os professores e futuros professores precisam de compreender profundamente o seu assunto científico nas múltiplas inter-relações que são o domínio de análise e reflexão da Filosofia da Ciência, e que só a história da descoberta desse assunto clarifica e permite consolidar<sup>8</sup>.

Apresentámos o quadro e as convicções nos quais tem sentido evidenciar, na formação de professores, a controversa construção da ciência. E porque entendemos que tal constitui, para os futuros professores, uma forma privilegiada de “encontrar” a ciência, concretizamos, no ponto seguinte, um modo de apresentar a “construção histórica da ideia de conservação da massa”.

---

<sup>8</sup> Certamente que outros aspectos são igualmente relevantes e se inter-cruzam com a História da Ciência na concepção e desenvolvimento de práticas de ensino consistentes. Referimo-nos, por exemplo, ao Trabalho Experimental ou à Resolução de Problemas, sempre sustentados e entendidos à luz do quadro da Filosofia contemporânea.

### **3 – A evidência da controversa construção da ciência através da sua História: A ideia de conservação da massa**

Embora as ideias sejam fruto de uma imaginação criativa como, por enquanto, só tem a mente humana, elas têm uma história e, por vezes, muitas estórias associadas. As ideias científicas não são excepção. Porque haveriam de o ser? Por vezes impõe-se a continuidade ao longo de muito tempo, outras vezes algumas ideias conduzem a rupturas. Mas também, neste caso, há prenúncios e anúncios e histórias de exigência de crescimento que tais rupturas impõem.

Assumíamos no ponto anterior que a história da ciência ajuda a compreender melhor a ciência, o conhecimento científico, os cientistas e também, e principalmente, a nossa Sociedade que é impregnada de Ciência e de Tecnologia, e que estas três componentes estão, e sempre estiveram, muito relacionadas.

A ideia de conservação da massa é uma ideia aparentemente simples no nosso tempo. Deixa de ser tão simples quando pensamos, por exemplo, nos problemas do lixo... e das suas formas de tratamento... Em todas elas o problema é a conservação da matéria. Incineração e co-incineração não são milagres para fazer desaparecer a matéria indesejada, mas para a transformar. E se hoje sabemos que o que permanece são os átomos dos diferentes elementos que constituem as substâncias dos materiais e que, por esse motivo, nas transformações químicas apenas se reorganizam para formar diferentes substâncias (muitas vezes de toxicidade desconhecida ou duvidosa, algumas vezes controlada), contudo, nem sempre assim foi.

Esta ideia foi difícil de consolidar. Outras tiveram de se alterar. Tiveram que colaborar, de modo estreito, a mente e as mãos na concepção e na construção de muitos instrumentos. Aliás, tratou-se, antes, de uma alteração de cosmovisão, do modo global de entender a ciência, o mundo e a vida (ou seja, o ser humano e a sua relação com o mundo) mais do que só de uma vulgar questão de química! Estamos, deste modo, a evidenciar a tese de Hacking da capacidade inovadora da ciência, valorizando o papel do uso do conhecimento, da experimentação e da tecnologia para alterar o mundo e a imagem que temos dele.

A massa é a quantidade de matéria que um objecto informa e que o faz ter peso. Um objecto material tem massa, e esta pode medir-se com uma balança, por

comparação com a de outros corpos. Aliás, como vamos tratar da ideia de conservação da massa, o papel da balança estará sempre presente.

Vamos, então, ver como se organiza este ponto central da lição que pretende dar um contributo para a compreensão de aspectos que permitiram interpretar as reacções químicas (e por isso também a conservação da massa), e como é que tal conhecimento se construiu ao longo do tempo e que contextos o circundaram e quem foram os seus intervenientes e que exigências se foram desenhando e que implicações tiveram no campo social, político, económico, científico, tecnológico... humano, afinal! Evidencia-se uma perspectiva contextualizada da construção do conhecimento científico, adoptada desde Kuhn e especialmente enaltecida por Rorty.

Pretendemos, deste modo, passar a mensagem de que, para lá do conceito químico de conservação da massa, quase sempre linearmente apresentado aos alunos e compreendido pelos professores, se esconde uma riqueza imensa que permite evidenciar a complexa estrutura da construção do conhecimento científico.

São, deste modo, aspectos convergentes a considerar: A matéria (concepções sobre), as suas transformações e o papel da balança (de diferentes instrumentos, mas em particular da balança). Os sujeitos que intervieram na construção do conhecimento e os seus múltiplos contextos. As teorias e a interpretação dos fenómenos.

A perspectiva de abordagem é a histórica, na função interpretativa e crítica que lhe reconhecemos em ponto anterior. Por uma questão de organização evidenciam-se alguns períodos e relevam-se alguns âmbitos particulares.

### Da Alquimia à Química

A química da pré-história e da antiguidade é essencialmente uma técnica de fabricação de cores, de certos alimentos (por exemplo, bebidas fermentadas), de certos medicamentos, do vidro, do sabão, dos perfumes, de preparação dos metais... São conhecidos certos produtos, como por exemplo, o enxofre, a cal... Paralelamente surge a reflexão sobre a matéria, a sua natureza, as suas formas, as suas transformações. A técnica é obra dos artifices, a reflexão, dos filósofos. No final da antiguidade a síntese dá-se num sistema esotérico, encarnação química do pensamento mágico, a Alquimia. O personagem que se intitula alquimista, e de que um dos fins pretendidos é a

transmutação em ouro dos metais vulgares é, ao mesmo tempo, mais ou menos curandeiro, mágico, astrólogo... Independentemente das considerações místicas de que ele rodeia as suas práticas, acontece-lhe, pelo menos em certos casos, tomar notas das suas observações no quadro das suas ideias. Acontece-lhe contribuir para a elaboração das técnicas de fabrico deste ou daquele produto. Com uma interpretação marcada pelo pensamento mágico, participa na progressão do conhecimento.

Foi Aristóteles quem se referiu à "física da qualidade", cujas influências perdurariam, por muito tempo, pela tese dos quatro elementos. Nela, toda a experiência sensorial se baseia em quatro qualidades - quente, frio, seco e húmido -, que se juntam a uma matéria-prima que, de si, não tem propriedades e não existe no estado isolado, e dão, por combinação das qualidades, os elementos: o fogo (quente e seco), o ar (quente e húmido), a terra (frio e seco) e a água (frio e húmido). A existência de uma "Química" justifica-se pelo facto de as qualidades se poderem substituir, num elemento, pela qualidade oposta. O ar transforma-se em água, se o quente é substituído pelo frio. Nesta explicação, os elementos não são imutáveis e é possível, partindo de várias substâncias, obter outras completamente diferentes, sem que restem quaisquer traços das primeiras.

Aristóteles não passou de interpretações, mesmo com o mérito de explicações sistemáticas para as múltiplas transformações que a misteriosa matéria desenrola, sem nunca ter realizado qualquer experiência. Ele não teria usado nunca a balança.

No sentido da implicação de uma prática, Zózimo (séc III dC) é habitualmente considerado o pai da Alquimia. Baseando-se em concepções próximas das de Aristóteles, teve, por exemplo, como pensava, a confirmação experimental de que água aquecida num recipiente aberto se reduz a uma exalação que se mistura com a atmosfera e deixa no fundo uma terra branca, pulverulenta, de tal modo que a conclusão de que a água se transforma em ar e terra era inevitável. Sobressai a evidência de que as observações não são neutras, mas influenciadas pelos referenciais do pensamento de quem as realiza. Zózimo dispensa a balança naquela constatação. Mas pôde tê-la usado. Conhecem-se representações de Oficinas de alquimistas em que a balança figura entre os instrumentos em uso.

Alguns autores defendem que, numa primeira fase, estes alquimistas em nada se importavam com a filosofia, mas com o rendimento fácil que obtinham com a composição de misturas e drogas mágicas... No fim do século III dC junta-se-lhe a vigarice. Contudo, a Química ia progredindo, sem dúvida que necessitando do

progresso instrumental que advém de tais práticas. A Escola de Alexandria forneceria aos ourives imitações de ouro e falsificaria pedras preciosas, com as quais se enganava com facilidade qualquer cliente ingénuo, a ponto de, em 290, o Imperador Diocleciano publicar um decreto segundo o qual toda a "obra de química e magia" devia ser queimada (Reichen, 1966). Evidenciam-se valores menos ortodoxos associados à prática e ao progresso científicos.

Os químicos bizantinos tiveram o mérito de inspirar vários pesquisadores árabes do século VII cujo trabalho foi desenvolvido, de novo, quase cientificamente. Para Amorim da Costa (1986) a origem da ciência árabe, pela sua curiosidade, merece ser referida. Com o avanço do islamismo na Europa ocidental, a partir do século VIII, o Alcorão ganha terreno e o ensino fica nas mãos dos mestres e filósofos árabes. Sevilha, Granada, Toledo e sobretudo Córdoba, na Espanha, e Salerno, na Itália, tornam-se grandes centros culturais marcados pelo desenvolvimento científico árabe. Filósofos, médicos, físicos e alquimistas refugiaram-se em Constantinopla após a queda do Império Romano do Ocidente, acabando por se espalhar pela Síria, Pérsia e Caldeia, formando Escolas e divulgando as obras que traduziram do grego para o siríaco. Assim se encontraram os árabes com as obras de Ptolomeu, Hiparco, Galeno, Platão e Aristóteles e as traduziram adaptando os textos às exigências e linhas do islamismo. Como apontámos de Toulmin, as propostas inovadoras desenvolvem-se, difundem-se e impulsionam-se, por vezes num sossegado evolucionismo.

Khalid ben Yezid, que morreu em 707, deixou no "Livro de Crates" símbolos convencionais para designar metais e outros materiais então conhecidos e, ainda, a descrição de quatro aparelhos destinados à destilação e à sublimação. Evidencia-se a inovação e a valorização de artefactos para a prática.

Os maiores alquimistas árabes foram Geber (722-803), a quem se atribui também a invenção da álgebra, "muito realista e avesso às extravagâncias de numerosos alquimistas do seu tempo" (Amorim da Costa, 1986) e Rhases (860-940). O laboratório do primeiro, em Kufa, forneceu inúmeros esclarecimentos sobre as suas actividades e a sua técnica. Entre as suas descobertas encontram-se diversos sais de arsénio, de enxofre e de mercúrio e algumas observações, em imensos registos bem ilustrados, sobre calcinação dos metais. Diz Geber: **"O chumbo não mantém o seu peso quando calcina. Pelo contrário, adquire peso suplementar"** (Reichen, 1966). Do ponto de vista teórico, Geber ficou célebre pela sua concepção do mercúrio e do enxofre "filosóficos" que, coadjuvada pela sua concepção de sal, será retomada pela maior parte

dos alquimistas do ocidente, embora não se devam confundir estes princípios com os corpos materiais que lhes correspondem. O princípio do enxofre designa a propriedade da combustibilidade, o princípio do mercúrio as propriedades da fusibilidade e volatilidade, o princípio do sal a solidez e a permanência. Ou, tudo o que arde revela o enxofre, tudo o que se funde e se evapora, o mercúrio, e tudo o que subsiste após a **combustão**, o sal. Misticamente, o enxofre é um princípio masculino, quente e activo, o mercúrio feminino, frio e passivo, e o sal o hermafroditismo e a esterilidade. Assim, ao unirem-se, enxofre e mercúrio, podem criar inúmeras composições. É Bacon quem faz chegar algumas destas interpretações. O sucessor de Geber, Rhases (séc X) é menos teórico: descreve, por exemplo, um processo de desidratação do álcool com a ajuda da cal, ensina a preparar óleo de vitriolo (ácido sulfúrico) a partir do vitriolo verde (sulfato de ferro). No século XII, quando as suas obras começam a atingir a Europa Ocidental, os seus conhecimentos não eram de desprezar: os árabes sabiam preparar sais de amónio, o óleo de vitriolo, a água forte (ácido azótico) e a água régia (ácido azótico e ácido clorídrico) que dissolvia o ouro. Utilizavam a pedra infernal (nitrate de prata), o litargírio (protóxido de chumbo fundido e cristalizado em lâminas vermelho-alaranjado), o mínio, amálgamas de sulfuretos metálicos, por exemplo o cinábrio ou ouro-pigmento (venenoso, com enxofre e arsénio) e serviam-se de alambiques para obter álcool puro. Os árabes descobrem, ainda, o bismuto, sais de arsénio, o cloreto (ou manteiga) de antimónio e as reacções de precipitação. Instruem doutores e alquimistas latinos, em Espanha. Esta é a época dos grandes alquimistas, deslocando-se o palco para a Europa Ocidental, e recuperando e perpetuando duvidosas tradições falsárias.

No período áureo da Idade Média, é grande o número de iniciados na arte alquímica e são de realçar os nomes de Rogério Bacon, Alberto Magno (1193-1280, bem sucedido na Sorbone), Tomás de Aquino, Arnaldo de Villanova (1240-1311), Raimundo Lúlio, Nicolau Flamel, Basílio Valentim e Bernardo-o-Trevisano. Têm outras preocupações em mente e a alquimia deve ser considerada como iniciação espiritual. Ao mesmo tempo que trabalham com as mãos, empreende-se uma ascese. "Se representava a transmutação dos metais vis em ouro e prata, a pedra filosofal representava também o segredo de se ultrapassarem os contrários para fazer do infinitamente pequeno a imagem exacta do infinitamente grande e para fazer do homem o reflexo perfeito do cosmos" (Waldstein 1973, *in* Amorim da Costa, 1986; 95). O alquimista constrange-se à discricção e usa uma linguagem cerrada, extraordinariamente rica em sinais, símbolos e alegorias de toda a espécie, explora anagramas e

criptogramas. "O alquimista deve ser silencioso e discreto; abster-se de revelar seja a quem for o resultado das suas experiências" (Alberto Magno, *Alchimia*, in Amorim da Costa, 1986; 97). A pedra filosofal é o fermento indispensável, preparado num balão especial, hermeticamente fechado e exposto durante muito tempo a um calor regular: o ovo filosófico. Esta maravilha devia, contudo, permanecer secreta. Diz Artéfilo: "Triste tolo, serias tu ingénuo a ponto de acreditar que te ensináramos explicitamente o mais magnífico dos mistérios?" E Valentim Andrade, nas "Bodas Químicas" previne que "um segredo divulgado perde todo o seu valor. Não se deitam pérolas a porcos, nem se faz uma cama de rosas a burros". O árabe Bar Bahloul dá realmente a receita mágica, mas ela é tão complicada, empregando mercúrio, enxofre, alúmen lamelado, estrume de cabra e processos inúmeros que, depois de ler o seu texto, não se fica mais esclarecido do que anteriormente (Reichen, 1966).

Em 1182, Roberto Castrensis compilou o "Liber de Compositione Alchemioe" e, em 1572, aparecerá uma colecção reproduzindo manuscritos muito mais antigos com o título: "Artis auferoe quam chemiam vocant" (A arte de fazer o ouro e à qual se chama química). Se o alquimista medieval dispõe de uma vasta gama de especialidades, compõe amálgamas, ligas de chumbo para engastar os vitrais das catedrais góticas, corantes para tons indelévels, unguentos e remédios para uso dos boticários, cosméticos e perfumes ou venenos eficazes, "ele não exerce tais actividades senão para manter as aparências e para ganhar o seu pão, sendo o seu trabalho secreto e esotérico a transmutação dos metais em ouro" (Reichen, 1966; 26). Alia-se, ainda hoje, à Alquimia um carácter secreto e sagrado, pelas inúmeras lendas que se perpetuaram para lá do fim da Idade Média.

Para muitos historiadores da ciência (Reichen, 1966; Jaffe, 1967; Debus, 1984) Paracelso (1493-1541) foi um dos mais prestigiados alquimistas, já no século XVI. Inaugurou a primeira cátedra de Química fundada no mundo, na Universidade de Basileia, em 1527, embora não tenha lá ficado muito tempo. Entre contradições e incoerências, de que é acusado, Paracelso efectuou observações com muito interesse. Reconheceu, por exemplo, que o ferro atacado pelo vitríolo (ácido sulfúrico), em presença da água, originava "uma libertação semelhante ao vento" (hidrogénio)<sup>9</sup> e

<sup>9</sup> Dando-se, embora, conta da libertação de um gás, não estavam reunidas as condições para falar de descoberta do hidrogénio. Tardaria ainda mais de dois séculos.

verificou que, através da **combustão, ou calcinação, o estanho aumentava de peso.** Ele usava a balança.

Paracelso abandonara os quatro elementos de Aristóteles e substituiu-os por três princípios, já herdados dos árabes, que agora associam ao mesmo tempo a antiga ideia de elemento e de qualidade. No seu quadro de explicações, o princípio enxofre é substituído pelo princípio sal e o metal morre deixando cinzas. Como um corpo morto que jaz imóvel, a matéria torna-se mais pesada depois da calcinação. "Aqueçam-se essas cinzas com algum fermento (entenda-se carbono) e volta a obter-se o metal primitivo graças ao fermento, símbolo da ressurreição" (Reichen, 1966; 26-30). Ou seja, a balança pode então dar conta da revitalização pela diminuição da massa.

Paracelso estudou na Universidade de Montpellier, vagueou entre Bolonha e Pádua, Espanha e Portugal, antes de viajar para Inglaterra. Clamou pela necessidade de experimentação (Jaffe, 1967; 26). Considerava que as mudanças que ocorrem no corpo são químicas, as doenças devem ser tratadas pelos químicos, a vida é essencialmente um processo químico e o corpo um laboratório no qual os princípios do mercúrio, sal e enxofre se misturam e reagem para trazer a doença ou a saúde. A elaboração de remédios exigia pesagens atentas. Publicamente a sua posição era de que "o verdadeiro uso da Química não é fazer ouro mas preparar medicamentos", contudo, em privado, tentaria preparar ouro alquímico (*op. cit.*, 30).

Pela mesma altura, a prática química em Portugal, ao serviço da medicina e da farmácia, era influenciada por Fioravanti, com João Bravo Chamisso, no seu tratado *De Medendia Corporis Malia*, a considerar a alquimia como "parte integrante da cirurgia", e Duarte Arraes, no seu *Tratado dos Oleos de Enxofre*, em que cita Paracelso e Arnaldo Vilanova. Sabe-se ainda que, nos séculos XVI-XVII, Frei Vicente Nogueira (1586-1654) possuía uma biblioteca recheada de preciosos tratados alquímicos, com obras de Hermes Trimegisto, Raimundo Lúlio, Basílio Valentim e do próprio Paracelso, que a Inquisição terá apreendido e queimado (Amorim da Costa, 1992; 157-158).

O uso da balança, sem ser sistemático, continua a expandir-se. Jean Rey (1583-1645), médico de Périgord, França, conta: "*Há alguns dias querendo calcinar estanho, pesei duas libras e seis onças do mais fino de Inglaterra, coloquei-o num vaso de ferro adaptado a um forno aberto e, a fogo vivo, agitando-o continuamente sem lhe juntar mais nada, em seis horas converti-o numa cal muito branca. Pesei-o para saber o resíduo e achei duas libras e treze onças. O que me causou um espanto extraordinário,*

*pois não podia imaginar de onde tinham vindo as sete onças a mais*” (R. Massain in Rosmorduc, 1983; 128). Ele concluiu, muito judiciosamente, que o ar era a causa deste aumento de peso que a balança acusava. Emitiu uma ideia de conservação da matéria: “O peso que cada porção de matéria adquire no berço, será por ela levada até ao túmulo”. Rey pode ser considerado o mais directo precursor de Lavoisier no que diz respeito ao princípio de conservação da matéria. Mesmo que normalmente atribuído a Lavoisier, por tê-lo tomado sempre como hipótese de trabalho e por o ter evidenciado com precisas e cuidadas experiências, foi Rey quem, com um século de adiantos se antecipou de forma muito evidente nesta ideia. Supostamente, tal ideia de conservação seria mesmo anterior e seria conhecida por muitos alquimistas da Idade Média. Ao questionarmos por que não se teria então imposto este conhecimento, nesta data, evidencia-se a não linearidade e a dependência contextual do progresso científico e da afirmação das teorias.

#### **Firmar uma teoria: De Boyle a Sthal e à teoria do flogisto**

Para os partidários da hipótese corpuscular, desde a antiguidade que a luz, forma de fogo, era uma matéria no sentido comum do termo. Mas seria ela uma substância ponderável? É a questão que se põe a Boyle (Irlanda, 1627-1691), o grande químico do século XVII, de ideias e trajectórias muito diferentes dos anteriores sem deixar de estar influenciado por eles (Esteban, 2001), em consequência da doutrina atomista de Gassendi, aceitando uma teoria corpuscular (corpúsculos como princípios). Boyle faz uma profunda crítica aos conceitos de Aristóteles (quatro elementos), mas também aos de Paracelso (três princípios) no que respeita à ideia da pré-existência de formas e qualidades responsáveis pelas propriedades de cada uma das substâncias da natureza. Esta crítica é plasmada na sua obra “O químico céptico” (1666) escrita em forma de diálogo entre quatro personagens. Ele calcina metais e pesa, na balança, os produtos da reacção. Como estes se revelam mais pesados que os corpos iniciais ele conclui que a diferença de peso provém da junção de uma parte do fogo, ou seja, a luz. Agora, uma luz material. E tira a conclusão da aptidão desta para unir-se quimicamente a outras substâncias, facto que a balança lhe evidencia. Newton, na sua Óptica, parece aprová-lo: “Não poderá haver uma transformação recíproca entre os corpos grosseiros e a luz? (...) A transformação dos corpos em luz e da luz em corpos é uma coisa muito conforme com o curso da natureza, a qual parece comprazer-se nas transformações”. Um dos pontos notáveis é que, nesta ocasião, Hooke, ajudante de Boyle, desenvolveu o

“microscópio composto”, facto tecnológico que contribuiu para a aceitação da teoria. Também ajudado por Hooke construiu uma máquina pneumática que abriu caminho ao estudo dos gases. Este é um aspecto em que se nos impõe a evidência da inter-relação ciência e tecnologia na interpretação de muitos episódios da construção do conhecimento científico.

No século XVII as grandes guerras europeias (como a dos trinta anos, de 1618 a 1648) sangraram a economia dos países europeus, pelo que se impôs uma política de fomento das indústrias e da exploração das matérias-primas. É deste modo que, por exemplo, na Alemanha, no Sacro Império Romano-Germânico, se impulsionaram a exploração mineira e a metalurgia, mas também todo o tipo de produção (vidro, cerâmica, tecidos, cerveja...). A indústria que se ia tornando mais forte, desenvolveu-se em íntima relação com a oficina de alquimia. Um exemplo é o de Joachim Becher (1635-1682) que foi protegido pelo imperador Leopoldo I da Áustria.

Becher dá um passo muito decisivo. As suas obras *Oedipus Chimius* (1664) e *Physica Subterranea* (1669) rapidamente se impõem como dois textos base sobre os elementos, os princípios e os processos químicos. Nelas, Becher rejeita a doutrina relativa aos quatro elementos de Aristóteles, afirmando que o fogo não é um verdadeiro elemento e considerando que os princípios elementares de todas as coisas são o ar, a água e a terra. Porém, destes três, mais do que elemento constitutivo, o ar é, antes, um instrumento de mistura e, portanto, os elementos que são realmente base de todas as coisas materiais são a terra e a água. Considerando as diferentes propriedades dos metais e outros minerais, Becher foi levado a admitir três tipos de terra, afastando-se também dos *tria prima* de Paracelso: uma que explicasse a substância, outra, a sua cor, e uma terceira, a sua sutileza, odor e peso. Na natureza existiriam, pois, uma terra *vitrescible* (responsável pela fusibilidade), uma terra *fluida* (responsável pela volatilidade e carácter metálico) e uma terra *pinguis* (de carácter oleoso e sulfúreo, sobretudo responsável pela combustibilidade).

A *Physica Subterranea* de Becher fascinou particularmente o químico alemão George Stahl (1660-1734) que a considerou um dos mais importantes textos químicos que já haviam sido escritos. Stahl analisou-a com cuidado e reeditou-a em 1703, incluindo um longo comentário de sua autoria, sob o título *Specimen Becherianum*.

Stahl identificou a *terra pinguis* de Becher com o princípio sulfuroso de Paracelso, também responsável pela combustibilidade dos corpos em cuja composição entre. E, na sequência da tradição alquímica, chamou a essa terra flogisto (Amorim da Costa, 1988).

Não se trata, para ele, de uma substância mas de um princípio, o princípio do fogo. Não é o fogo material, que se vê quando um corpo arde. Embora querendo negá-lo, a influência do aristotelismo faz-se ainda sentir aqui. O princípio do fogo é qualquer coisa como o fogo em potência, sendo o fogo real, o fogo em acto. Todo o corpo susceptível de combustão contém flogisto e quando arde, o flogisto escapa-se. Muitas vezes se constata, nestes casos, através da balança, um aumento de massa. Tal não embaraça Stahl: o flogisto não é uma matéria ponderável mas um princípio de leveza e, ao escapar-se, deixa o corpo mais pesado. E a balança podia confirmar tal ocorrência.

Este flogisto tornou-se a base dum novo sistema teórico explicativo de todos os fenómenos químicos que, neste contexto, rapidamente se impôs e se constituiu na teoria verdadeiramente compreensiva que dominaria ainda durante quase todo o século XVIII. A combustão é o resultado de os metais perderem o seu flogisto. A respiração tem o efeito de remover o flogisto do corpo para o ar e, então, quanto mais o ar estiver saturado com flogisto por combustão ou respiração, mais esta se torna impossível (Taghard, 1993). O sistema conceptual de Stahl era então muito amplo e providenciava um quadro explicativo para muitos fenómenos importantes. O flogisto seria como que o princípio vital dos metais: tal como acontece quando o princípio vital de um ser vivo se escapa, o deixa mais pesado, jazendo imóvel sobre a terra, assim acontece na calcinação dos metais. Calcinar mais não seria do que mortificar (notórias influências do vitalismo).

Em 1694, Stahl aceitou uma cátedra de medicina na nova universidade de Halle. Foi médico do rei da Prússia e membro da Real Academia. Trabalhou como químico prático, sobre a fermentação da cerveja e do vinho e na obtenção de minerais, continuando a tradição alemã do fomento da indústria química. Escreveu 240 obras de Química e Biologia. A sua teoria conseguia, então, explicar certos aspectos do comportamento químico das substâncias e chegou a conquistar numerosos adeptos entre os químicos da época, alguns deles, justamente famosos, como Cavendish, Scheele, Priestley e outros. Este aspecto apoia Kuhn na evidência de que não existe uma racionalidade geral acima de compromissos tácitos e que estes envolvem comunidades científicas.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> O conceito de comunidade científica não é, nesta altura, exactamente coincidente com o actual. No século XVII diferentes governos impulsionaram o desenvolvimento científico favorecendo entre outras medidas a criação de academias e outras instituições, onde a ciência teve um destacado protagonismo. A profissão de cientista ganhou prestígio e relevância social. Ao mesmo tempo se sentia a necessidade de comunicação entre os cientistas o que, nesta época, fez surgir algumas publicações científicas, que foram o veículo perfeito para a transmissão das ideias e teorias nascidas durante este

A Química manteve-se, na emergência da revolução científica dos séculos XVI-XVII, partidária de uma filosofia vitalista, muito naturalista, do entendimento do cosmos. É ainda dentro do vitalismo de Paracelso que, no século XVII e início do século XVIII, algumas explicações de certos fenómenos químicos se assumem (Amorim da Costa, 1987). A balança alimentava, como vimos, as ideias partidárias desta filosofia vitalista e naturalista defendida por Paracelso e outros alquimistas de renome.

A atenção volta-se então com mais interesse para a natureza do fogo, do ar e dos demais elementos, deixando-se arrastar, com naturalidade, para os problemas mais profundos sobre a natureza da combustão.

Porquê a preocupação de alquimistas e de químicos com a combustão? De facto, tratava-se de algo estranho, quase entendido como sobrenatural, pelo cambiante de fenómenos que lhe estavam associados. Na sua teoria, Stahl estava influenciado pelas ideias de Boyle e sobretudo de Becher. Assim, a matéria seria constituída por corpúsculos que ao unir-se formariam os “mixtos” ou compostos. Supunha também que haveria uns tipos básicos de corpúsculos, num total de quatro (três terras de Becher mais água). Com estes elementos criou uma teoria (teoria do flogisto ou Sublime Teoria, como alguns a chamaram logo na sua época) em que sobressaiam as seguintes ideias: - Os princípios básicos agregavam-se combinando-se entre si e formando os princípios secundários (elementos), muito estáveis (pelo que ainda não se podiam simplificar: prata, muitos óxidos metálicos...). Quando os princípios secundários se combinavam entre si, obtinham-se corpos “mixtos”. – Todos os corpos inflamáveis continham a *terra pinguis*, a que se chamava flogisto. O flogisto podia transformar-se em calor, desprendendo-se na calcinação dos metais e na combustão dos materiais orgânicos (respiração, fermentação e putrefacção). O processo de combustão era reversível, pois se se unia flogisto ao produto resultante da combustão obtinha-se o corpo de partida<sup>11</sup>.

---

século (Puerto, 2001 in Pélón, 2002). Com o grande desenvolvimento de diferentes campos científicos, como a Física e a Matemática, se desenvolveram a astronomia, a óptica, a dinâmica, a hidrodinâmica, a electricidade e o magnetismo; Linneo revolucionou a botânica e a mineralogia; quanto à química aumentou substancialmente o número de compostos sintetizados e o número de produtos com que se trabalhava no laboratório, identificaram-se uma grande quantidade de gases. Contudo, a Química não estava ao mesmo nível das outras disciplinas.

<sup>11</sup> A recuperação do metal pode ser evidenciado, de acordo com a teoria de Stahl pelo seguinte esquema: cal + flogisto → metal; nos corpos orgânicos a recuperação do material já não era possível pois ficava destruído na combustão, o que fez com que se abandonasse, na altura, o estudo dos compostos orgânicos.

Aliás, como aponta Rosmorduc (1983, 112), numa posição que podemos identificar como lakatosiana, a teoria de Stalh desempenhou, durante várias dezenas de anos, um papel positivo bastante semelhante ao desempenhado pela Física do *impetus* na mecânica da Idade Média. Com efeito, ela provocou numerosas experiências sobre as combustões e tentou sobreviver, e este facto acarretou um real progresso da Química mas, por fim, a própria negação do flogisto.

Muito curiosamente, os químicos newtonianos aceitam a teoria do flogisto, que está o mais afastada possível do materialismo e em contradição com a experiência. Um exemplo bastante característico do encontro dos newtonianos e dos defensores do flogisto é o da concepção da luz que certos químicos tiveram nos séculos XVII e XVIII.

Cheyne, Algarotti, Higgins (século XVIII)... vão mais longe, afirmando categoricamente que a luz é uma substância e que as suas partículas estão, como as dos outros corpos, submetidas à lei da atracção universal; ao participarem nas reacções químicas, tais partículas seguem a teoria das afinidades químicas. E Macquer identifica-a com o flogisto que *“não é outra coisa senão a matéria pura da luz fixada instantaneamente nos corpos”* tornando-os mais leves (Rosmorduc, 1983; 112-113).

### **Antecedentes próximos da Química moderna**

Apesar do longo caminho que à Química faltava percorrer, a moderna disciplina emergiu, em larga medida, do estudo do ar e de outros gases, pelos sucessores de Boyle e de Stahl<sup>12</sup>. Perde-se a antiga noção aristotélica sobre o ar-elemento e começa a considerar-se como representante de um estado da matéria, o gasoso. Ao mesmo tempo detecta-se como uma espécie química envolvida na combustão e comprova-se um aumento de massa nos corpos que sofrem a combustão. Contudo, todos estes estudos não puderam ser levados a cabo sem a possibilidade de manipulação do estado gasoso. Tal estudo do ar e dos gases foi iniciado por Boyle e contou com avanços tecnológicos como a máquina pneumática de von Guericke e o tubo em U de Torricelli, evidenciando uma vez mais a dependência tecnológica da ciência. Stephen Halles (1677-1761) inventara um aparelho para recolher gases sobre a água. Recolheu os gases libertados pelo aquecimento de sangue, conchas, madeira, sementes, mel, açúcar, tártaro, calcário, pirites, etc., preocupando-se com a quantidade de gás libertado em

<sup>12</sup> O estudo do ar e de outros gases, que decorreu principalmente na década de 1760-1770 constituiu de tal modo um marco importante que se costuma designar por Química Pneumática.

cada situação. "O ar era ar". Faltou-lhe a ideia de que existem diferentes espécies de gases com propriedades físicas e químicas diferentes. A balança era um instrumento precioso, contudo, usada isoladamente de um pensamento interpretativo, não dava o contributo possível.

Joseph Black (1728-1799) descobriu o primeiro gás cujas propriedades são demonstravelmente diferentes das do ar comum. Chamou-lhe "ar fixo" (dióxido de carbono - 1717). As investigações de Black despertaram a crença de que o ar não era o único tipo de gás. Aquilo a que ele chamou "ar fixo" era evidentemente uma substância química inteiramente distinta do "ar comum". Era produzida por respiração, fermentação e combustão.

O gás que conhecemos como hidrogénio foi preparado, pela primeira vez, pelo russo Lomonosov (1711-1765), grande cientista e literato, fundador da Universidade de Moscovo (1755). Em 1745 escreveu: "da solução de qualquer metal não precioso, em ácido, emerge um vapor inflamável que não é mais do que o flogisto". Contudo, mais tarde, explicou o aumento da massa dos metais na combustão pela participação do ar. Lomonosov tentou generalizar o princípio da conservação da matéria a todas as transformações da natureza (1764), afirmando, 20 anos antes de Lavoisier, a ideia da conservação da matéria. Adiantou-se também meio século à concepção atómica de Dalton. Contudo, este químico e físico russo foi quase desconhecido na Europa até 1904, em particular pela não tradução da língua russa na Europa Ocidental, apesar da clareza das suas ideias, nomeadamente sobre a constituição da matéria, da natureza do calor e da luz. De novo, não estavam reunidas as condições contextuais para a imposição e ampliação de uma teoria.

A Rutherford, coube a tarefa de isolar a parte do ar que permanece depois de uma combustão ter lugar. Aqueceu uma porção de fósforo numa amostra de ar, sobre água. Os fumos foram absorvidos pela água. Quando o processo estava completo, cerca de três quartos do ar permaneciam. Rutherford, em 1772, isolou um gás que não alimentava as combustões nem a respiração, tal como o "ar fixo", mas, ao contrário deste, não turvava a água de cal. Chamou a este novo gás "mofeta" (nitrogénio).

Priestley (1733 - 1804) foi educado numa academia "dissidente" (ou seja, da igreja inconformista de Inglaterra) que cuidava ao extremo da educação dos seus membros, nela incluindo letras, teologia e ciências. Foi educado para exercer o ministério religioso compaginando esta actividade com o ensino (aliás, é autor de textos dedicados à educação) e com a investigação química. Em 1767 começa a interessar-se pela Química experimental. Durante a sua estadia em Leeds, o facto de viver ao lado de

uma fábrica de cerveja fá-lo interessar-se pelo estudo dos gases – ares. Substituiu o banho de água por um banho de mercúrio. Com este aparelho de recolha, gases que se dissolviam ou reagiam com a água poderiam, a partir de então, ser recolhidos. E Priestley encontrou alguns, que preparou e caracterizou, chamados agora de óxido nítrico, cloreto de hidrogénio, amoníaco, dióxido de enxofre, tetrafluoreto de sílica, etc. Inventou a água de soda e abriu uma indústria de águas minerais artificiais. Em 1774, encontrou o **oxigénio** (ar desflogisticado) que era o mesmo gás que o “ar puro” ou o “ar do fogo” do sueco **Scheele** (1742-1786) que o encontrara em 1772. Mas Scheele não publicou os seus resultados até 1777 e, portanto, Priestley tornou-o conhecido primeiro. Este é um aspecto que levanta a questão da comunicação, divulgação e autoria dos resultados e do papel das comunidades científicas.

Priestley mostrou que este novo gás provoca maior brilho na chama de uma vela e, ainda, que ratos sobreviviam nele mais tempo do que em ar comum. Concluiu que este novo gás era “mais puro” do que o “ar comum” e chamou-lhe “ar desflogisticado”. Este, imediatamente, se tornou o foco central de interesse dos químicos, tanto em Inglaterra como no continente. Apesar dos contactos com Lavoisier e a nova teoria do oxigénio, como à frente veremos, Priestley defendeu arduamente o “Programa de Investigação” no qual crescera.

Em 1794, devido à sua atitude crítica face à política do seu país e decidido a apoiar a guerra da independência americana, viu-se obrigado a emigrar para os Estados Unidos. Ofereceram-lhe uma cátedra de Química na Universidade da Pensilvânia, em Filadélfia. Convictamente, morreu flogista.

Cavendish (1731-1810), aristocrata, muitas vezes não publicava os seus resultados. Substituiu também a tina de água pela de mercúrio para evitar a possível dissolução de alguns gases. Descobriu o hidrogénio, “ar inflamável”, que já tinha sido detectado por Boyle, van Helmont ou mesmo Paracelso, mas foi Cavendish o primeiro a isolá-lo pela reacção entre o ácido sulfúrico e o ferro e a determinar as suas propriedades. Publicara em 1766 que o hidrogénio ardia, mas não identificou o seu produto de combustão. Em 1781 ficou atónito ao verificar que se tratava de água. Estudos mais quantitativos publicados em 1784 mostraram que dois volumes de hidrogénio reagem com 5 volumes de “ar comum” de forma a consumir todo o hidrogénio e a diminuir o volume de ar comum em 20%. Apesar da evidência pôr a claro o facto de que o hidrogénio e o oxigénio se combinavam entre eles para formar água, Cavendish insistiu numa explicação em termos de flogisto e reforçou a noção de

que a água é um elemento indecomponível e fundamental. Ele olhou tanto para o oxigénio como para o hidrogénio como variedades de água com o seu conteúdo em flogisto modificado... A balança não evidenciava, para ele, a conservação da matéria e a síntese da água não podia assim ser entendida como uma reacção entre duas substâncias (elementares), dois gases distintos, para formar uma diferente substância (composta), a água. Apesar de tudo, as suas experiências têm já um carácter quantitativo e tecnicamente muito avançado. Realizou pesagens cuidadosas, antecedendo Lavoisier. Ao mesmo tempo, é também um precursor da estequiometria. Faltou-lhe, no entanto, uma atitude crítica perante a teoria que suportava as suas observações...

Aliás, nesta tarefa de recolher e identificar os gases produzidos nas reacções, os químicos pneumáticos realizaram um excelente trabalho de química experimental e quantitativa. Contudo, mostraram o seu trabalho de uma forma modesta, sem a intenção de encabeçarem nenhuma “revolução” nem de formarem uma nova teoria, também por que a teoria do flogisto, de momento, explicava tudo de forma satisfatória (Pellón, 2002).

#### **Aspectos da Revolução Química: A ruptura com a teoria do flogisto e a construção da nova teoria do oxigénio**

M. Daumas (citado por Rosmorduc, 1983; 131) considera que a contribuição de Lavoisier é, sem dúvida, marcante na formação da Química moderna e, em parte, por ter sido rico e ter tido um leque de conhecimentos e de actividades muito diversificado. Tal facto permitiu-lhe introduzir na Química técnicas de experimentação e de medida muito sofisticadas. Em particular impôs o uso sistemático de balanças aperfeiçoadas, mas igualmente de outros instrumentos, como termómetros, bombas de vácuo, calorímetros, etc., bem documentados nos desenhos de sua mulher, Marie Anne. Além disso, conhecemos bem o recheio do seu Laboratório pelo relatório do arresto aquando da sua prisão. Grande parte dele mantém-se intacto e integra o espólio do Musée des Arts et Métiers em Paris.

Para analisar a obra científica de Lavoisier e a reforma que conduziu na Química, e para a compreender melhor, é importante entrosá-la no seu momento histórico. São muitos os dados que, em conjunto, marcaram a sua actividade e a sua atitude para com a ciência.

### O contexto e formação multifacetada

Antoine Laurent Lavoisier nasceu em Paris, a 26 de Agosto de 1743, numa família de grande tradição no mundo das leis. Lavoisier continuou essa linha e, após os seus estudos no famoso colégio Mazarin, estudou Direito, tendo terminando em 1763, continuando contudo com uma formação polivalente que incluía aulas de Física com o abade Nollet (1700-1770), de botânica com Bernard de Jussieu (1699-1777), no Jardin du Roy (actual Jardin des Plantes) e de Química com Guillaume François Rouelle (1703-1770). Estudou ainda mineralogia com Jean-Étienne Guettard (1715-1786). É com o “espírito das luzes” que Lavoisier contempla todas as imensas transformações políticas, sociais e culturais que conformam uma nova visão do mundo e em que a revolução científica operada no século XVII desempenhou um papel preponderante. Guettard iniciou-o numa química ao serviço da mineralogia e com este realizou os primeiros passos na carreira científica, ao efectuar uma expedição geológica de quatro meses aos Vosgos, em 1767. Mediram altitudes de montanhas, estudaram planos e direcções de estratos geológicos e efectuaram análises de águas minerais ajudados por um laboratório químico portátil. Os resultados desta expedição foram apresentados perante a Academia das Ciências de Paris. Em 1764, Lavoisier tinha apresentado um projecto à academia para a iluminação pública das ruas de Paris e obteve uma menção honrosa pelo melhor tratamento teórico do assunto. Em 1768, foi admitido como “adjunto supranumerário” e, em 1772, obteve a categoria de associado.

Lavoisier era infatigável iniciando o seu dia pelas seis da manhã no laboratório e trabalhando até às oito. Voltava das dezanove às vinte e duas, depois de um dia passado em serviço administrativo. Ainda trabalhava no laboratório durante todo o fim-de-semana.

É em 1768 que Lavoisier, fiel seguidor da monarquia francesa como seu pai, se torna membro da *Ferme Général*, uma companhia contratada pelo Governo para arrecadar impostos indirectos (sobre o sal, o tabaco, as bebidas...). Estes sistemas de cobrança de impostos facilitavam os abusos, razão pela qual tal instituição era odiada pela sociedade francesa. Em 1771, casa-se com Marie Anne Paultze, filha de outro *fermier*, sócio da empresa. Era ela que traduzia do inglês os escritos de Priestley, Cavendish e Kirwan, que desenhava todos os objectos de laboratório que ilustram o *Traité Élémentaire de Chimie* e que organizava reuniões científicas semanais com ilustres convidados.

A partir de 1775, Lavoisier exerceu também a função de *Régisseur des poudres et salpêtres* (administrador das pólvoras e salitres) de França. A partir desta data mudou-

se da Rue Neuve-des-Bons-Enfants para o Arsenal, à beira do Sena, aí instalando um bem apetrechado laboratório. Aqui trabalharam, com Lavoisier, entre outros e além da sua esposa, Fourcroy e Hassenfratz (Bensaude-Vincent, 1993).

Em 1785, Lavoisier é nomeado director da Academia das Ciências de França.

Durante o “Reinado do Terror”, em 1793, é feito prisioneiro, em parte pela sua condição de *fermier* e em parte pelo ódio que Marat lhe tinha, fundado em ciúmes científicos. É julgado e condenado à guilhotina em 1794.

Há alguns quadros com a sua figura, embora conste que apenas o “Retrato de Lavoisier e sua esposa” assinado pelo pintor David e datado de 1788 (exposto no Metropolitan Museum of Art de New York, a partir de 1977), seja o único autêntico. A escultura que em 1890 lhe erigiram, ostentava uma cabeça que não correspondia à sua mas à de um filósofo seu contemporâneo. Foi destruída durante a segunda guerra.

Pode parecer estranho que um homem de letras tivesse feito uma alteração tão profunda voltando-se para as Ciências. Alguns factores terão contribuído decisivamente para que tomasse essa nova e diferente trajectória.

Lavoisier é, de corpo e alma, um homem do século das luzes! Aliás, estudar o pensamento e a acção de Lavoisier no domínio social é percorrer toda a história política e económica do século XVIII (Poirier, 1994). Vinte anos antes da Revolução Francesa manifesta a sua preocupação social na sua primeira “memória sobre a natureza das águas potáveis”, estudo que lhe parece de maior relevância que aquele que ocupava os químicos sobre as águas minerais e a que ele próprio já se dedicara. Lavoisier dá um parecer favorável ao projecto destinado a alimentar Paris de água potável através de um aqueduto que trazia as águas do rio Yvette, uma vez que o Sena servia também de esgoto e a qualidade da sua água se ressentia. Contudo, o estado das finanças não permite a construção de tal projecto.

Já em 1780, uma comissão dirigida por Lavoisier estuda um esquema de reorganização geral das prisões, com a transformação do Convento dos Cordeliers em prisão para condenados por dívidas, que não deveriam estar misturados com presos por crime e deboche. Lavoisier sublinha que, na futura prisão, devem ser respeitados quatro pontos essenciais: limpeza, água em abundância, boa circulação de ar e regras de higiene.

Lavoisier é ainda associado a uma outra prioridade social: assistência e socorro a doentes. Para ele e para Bailly, também académico e que viria a ser presidente da câmara de Paris, tratava-se de reconstruir, fora de Paris e com diversas unidades

separadas, o Hospital l'Hôtel Dieu, incendiado em 1772. O arquitecto Poyet propõe a transferência para a Île des Cygnes mas o arcebispo e as irmãs hospitaleiras opõem-se. Necker e Lavoisier limitam-se a reorganizar o velho hospital “para três mil doentes, em camas separadas, e em salas separadas de acordo com os principais géneros de doença, separando os homens e as mulheres e, ainda, com jardins e salas especiais para a convalescência” (Poirier, 1994). Lavoisier interveio ainda noutros aspectos relacionados com a iluminação e arejamento da Ópera aquando da sua reconstrução, após o incêndio de 1781, ou com a transferência dos matadouros para fora de Paris e suas condições de higiene. Estes interesses de Lavoisier pela higiene pública vêm-lhe da sua formação como analista. São também o reflexo do seu gosto pela ordem e pela boa administração. Aliás, ele é descrito como um homem elegante, asseado, imaculado, como o pintou David. Ao mesmo tempo, quando redige, em 1771, um projecto de Éloge de Colbert para o concurso da Academia Francesa, mostra-se igualmente capaz de analisar com lucidez as consequências sociais da má administração financeira da França nos primeiros anos do reinado de Luís XV.

Até 1787, Lavoisier abordava os problemas sociais principalmente do ponto de vista científico ou técnico, contudo a sua tentação política terá começado a sobrepor-se. A sua preocupação de modernizar a agricultura em França (enquanto membro do Comité de Administração da Agricultura) releva mais do desejo de aumentar o produto nacional do que do de socorrer os pobres camponeses. É exactamente em 1787 que se propicia a ocasião de apreender os problemas sob o ângulo da política. Loménie de Brienne decide, para satisfação da opinião pública, criar por todo o reino assembleias provinciais, limitando, contudo, cuidadosamente os seus poderes. Lavoisier torna-se representante de Romorantin, próximo da sua propriedade de Freschines. A sua experiência profissional convenceu-o da urgência de uma modernização do sistema fiscal e incentiva o *Bureau du bien public et de l' agriculture*, ao mesmo tempo que se propõe criar em Orleans, Chartres e Blois filiais da *Caisse d'escompte de Paris*, banco de banqueiros cujos interesses estão ligados ao mesmo tempo à *Ferme Général* e ao Tesouro Real.

Lavoisier pertencia e movia-se em vários clubes de influência maçónica, onde homens de finanças, altos funcionários e intelectuais se encontravam e partilhavam a esperança de um mundo novo, saído do pensamento do Iluminismo. Na grande loja dos “Amis réunis” Lavoisier encontra La Fayette e os irmãos Lameth, todos impregnados das ideias da constituição americana. Apesar dos interesses da *Ferme* com o comércio dos negros, Lavoisier deixou-se impregnar pelas teses abolicionistas. Deixando-se

evoluir no movimento da franco-maçonaria de que todos os seus amigos faziam parte, desejava, como todos, uma monarquia constitucional, um estado laico, uma administração eficaz, uma economia dinâmica, uma fiscalidade mais equitativa. Esquecia-se que ele era, na *Ferme*, um dos pilares do sistema conservador injusto.

No início de 1789, Lavoisier ambiciona fazer-se eleger deputado nos Estados Gerais. Subestimou a hostilidade do terceiro estado e da nobreza relativamente aos *fermiers*. Estas duas ordens recusaram a sua candidatura.

A nova constituição francesa, na qual não participou, garantia a liberdade individual, a supressão dos privilégios, a igualdade perante os impostos, a reorganização da justiça, a liberdade de imprensa e o direito de os eleitos votarem o orçamento da nação.

Toda a sua formação em Leis e as formações e acções subsequentes ajudaram, em grande parte, na sua preocupação com a precisão na colocação, realização e discussão dos seus trabalhos científicos. Como refere Fréjacques (1994), aquando da Comemoração do bi-centenário da morte de Lavoisier: “A precisão da sua linguagem foi herdada da sua formação de jurista, o rigor da sua lógica da sua formação matemática, a utilização sistemática dos balanços da sua experiência financeira, os cuidados com a observação da sua formação de naturalista e geólogo, o emprego do caderno de laboratório paginado e datado, sem dúvida, da sua experiência de *fermier général*”.

## **O Percurso científico**

### **Conservação da massa: a imposição de uma ideia**

Terá sido o português João Jacinto de Magalhães (1722-1790), estabelecido em Inglaterra e amigo de muitos cientistas como Francklin e Watt, quem informou Charles de Montigny (1733-1777), membro da Academia de Paris, das últimas novidades científicas e técnicas inglesas. De acordo com Pellón (2002) pode considerar-se que foi este trabalho de “espionagem” que iniciou a transformação da Química europeia.

Em Março de 1772 Magalhães informou Macquer dos trabalhos de Priestley. A 1 de Abril Macquer expôs os resultados dos ingleses ante a Academia de Ciências de Paris e a 14 de Julho Trudaine encarregou Lavoisier de repetir as experiências de Priestley. Tal facto terá sido o início do seu interesse pelo estudo dos gases.

O interesse pela combustão terá começado em 1772, o "ano crucial", como se lhe tem chamado, com o início dos trabalhos que conduziram a uma grande alteração no modo de compreender o processo da combustão, tomando como princípio do seu quadro de pensamento a **ideia de conservação da massa**, que iria ter um longo caminho de teste experimental.

Numa carta fechada dirigida à Academia das Ciências, em Novembro de 1772, e para ser guardada até que tivesse completado outras experiências, Lavoisier já afirmava que o aumento de massa na combustão do fósforo e do enxofre provinha de uma imensa quantidade de ar.

E, convicto da importância da descoberta escreveu, sugerindo que o aumento de massa na combustão deveria ter sempre a mesma causa: "Esta descoberta que constatei com experiências que me parecem decisivas, fez-me pensar que o que se observa na combustão do enxofre e do fósforo podia muito bem ter lugar em todos os corpos que adquirem peso pela combustão e pela calcinação; e estou persuadido de que o aumento de peso das cales metálicas tem a mesma causa. A experiência confirmou totalmente as minhas conjecturas" (Bensaude-Vincent, 1993). Esta constatação foi, nas palavras do seu autor, o início da revolução química, apercebendo-se de que havia realizado uma importante descoberta ao mesmo tempo que avançava uma interpretação mais ampla para o fenómeno que descrevia, enquadrando nela todas as combustões. Mas ainda não conhecia o oxigénio.

Priestley visitou Paris e encontrou-se com Lavoisier falando-lhe das suas experiências. Pouco depois dessa visita, Lavoisier preparou e estudou o oxigénio no seu próprio laboratório.

Em 1774, a seguir à experiência sobre o óxido de mercúrio, ele repete a experiência já antiga da calcinação do estanho e atribui à parte de ar desaparecido, durante a combustão, o aumento de massa do sólido observado na balança. A parte restante é baptizada por ele de *mofeta residual*. Trata-se do nitrogénio. A parte que entrou na combustão é, para ele, *ar vital*. Afasta-se assim de Priestley, para quem se tratava de *ar desflogisticado*, sendo o nitrogénio o *ar flogisticado*.

Em 1776, Lavoisier aquece longamente mercúrio num balão fechado cheio de ar. O mercúrio oxida-se, isto é, absorve o oxigénio do ar, o *ar vital* ou *ar puro* de Lavoisier. O químico reconstitui em seguida o ar aquecendo o mercúrio oxidado, o que provoca a libertação do oxigénio absorvido. A partir desta data e contra a opinião de todos os químicos do seu tempo, rejeita a teoria do flogisto, afirmando o papel do ar vital

(oxigénio) nas combustões, ou seja, não de um princípio imaginário mas de um constituinte real do ar.

O seu sistema conceptual, por volta de 1777, traduzido na "Mémoire sur la combustion en général", contém quatro espécies de ar (eminentemente respirável (puro ou vital), atmosférico, fixo, mofeta) e descreve a combustão por recurso ao "ar puro".

Em 1780 Lavoisier chama ao "ar puro", princípio oxigénio, e considera que, uma vez admitido este princípio, as principais dificuldades da química parecem desaparecer e todos os fenómenos se explicam com uma espantosa simplicidade.

Lavoisier mostrou que a combustão é a combinação química do oxigénio com uma substância combustível e que o metabolismo dos humanos e dos animais envolvia "combustão interna" do carbono e do hidrogénio para libertar dióxido de carbono e água.

Diferentes descobertas favorecem a demonstração de Lavoisier. É, principalmente, o caso da síntese da água realizada por Cavendish a partir de uma mistura de oxigénio e hidrogénio na qual o físico inglês faz saltar uma fâsca eléctrica. A experiência é retomada por Lavoisier e Laplace. Brilhantemente, repetiram o trabalho do inglês e introduziram uma experiência engenhosa para verificar a composição da água do ponto de vista da sua nova teoria da combustão. Essas experiências foram conclusivas (Jaffe, 1967). Lavoisier descreve-as com muita minúcia... Eis a sua conclusão: "A água não é uma substância simples, ela é composta, peso por peso, de ar inflamável e de ar vital" (Rosmorduc, 1983; 132). E a balança é a testemunha dos factos que consubstanciam a sua ideia de conservação da massa.

O título de um grande "paper", publicado em 1788, é ilustrativo: "Sobre a natureza da água e as experiências que parecem provar que esta substância não é um elemento propriamente dito e pode ser decomposto e re combinado". A água é um composto dos elementos oxigénio e hidrogénio e não pode ser "transmutada" em terra. Não existe, agora, outra explicação. Todos os quatro elementos gregos se tinham definitivamente desfeito: O ar é agora uma mistura de gases, a água já é um composto, o fogo torna-se o **processo da combustão** e a terra surge em muitas variedades químicas distintas (Glashow, 1994).

A teoria do oxigénio de Lavoisier, que interpretava a combustão de forma diferente, recebeu uma aragem fresca com tal descoberta da composição da água.

Tais experiências sobre a síntese e a análise da água vieram, principalmente, completar os argumentos para um ataque público e frontal à teoria do flogisto. Aliás, a experiência foi feita publicamente, para que pudesse ser reconhecida...

Veja-se a importância atribuída a este evento, pelo destaque dado ao balão onde foi realizada a experiência pública da síntese da água, no quadro de David que retrata o casal Lavoisier.

A ideia de conservação da massa estava, assim, ao mesmo tempo, fortemente testada. Assistimos a um percurso em que a hipótese teórica é uma ideia que guia a experiência e a observação.

### **O papel do laboratório e dos novos instrumentos**

Os instrumentos de precisão foram de grande importância para a formulação da teoria de Lavoisier e o laboratório constitui uma grande diferença relativa aos existentes na sua época, ainda de utilização muito privada. Só, de facto, o século XVIII, com o aperfeiçoamento técnico e a reclamação teórica, impôs um domínio profundo das quantidades de matéria intervenientes nas reacções químicas e implicaram a sua medição com um elevado grau de precisão e rigor.

De instrumento de medida, a balança tornou-se utensílio de previsão e juiz supremo de decisões, no âmbito de um novo quadro teórico. Já há muito que fazia parte da decoração habitual do laboratório, mas sem tão grandes exigências de precisão e, principalmente, num diferente quadro interpretativo. Lavoisier exigiu balanças que ainda não existiam e encarregou Mégnié e Fortin de as conceber e fabricar. Tornaram-se sensíveis a 5 miligramas para massas da ordem de 600 gramas. A de Fortin, por exemplo, construída em 1788 e paga por 600 libras (120000 Francos de 1993) podia atingir 10 Kg com precisão da ordem de 25 miligramas. Permitiu, mais tarde, à Comissão de Pesos e Medidas, definir o quilograma (Bensaude-Vincent & Journet 1993, 49). Tais instrumentos eram caros e só a fortuna pessoal de Lavoisier permitiu que a investigação, guiada pelas novas ideias, fosse conduzida com tais exigências. As balanças são, afinal, uns, entre dezenas de outros aparelhos fabricados especificamente e requeridos pelo desenvolvimento da química.

### **Consequências**

Três principais implicações resultaram da Teoria da Nova Química.

Uma delas é traduzida pela Reforma da Nomenclatura, em 1787. Antes desta reforma reinava a confusão na designação das substâncias químicas. Uma nova

linguagem, para comunicar um diferente paradigma, se impõe.<sup>13</sup> Guyton de Morveau, Lavoisier, Berthollet e Fourcroy, encontraram-se regularmente, a partir de 1782, no "arsenal" de Paris, o Laboratório Químico de Lavoisier, para aquilo a que Jaffe (1967, 74) chama uma tarefa herculeana. Em 1787 apresentavam à Academia o *Méthode de Nomenclature*, que se tornou o manifesto da Nova Química. Nele figuravam nomes simples para as substâncias simples, nomes compostos para as substâncias compostas, nomes arbitrários, para as desconhecidas

Outra implicação, correlata da primeira, pode ser identificada com a Reforma da Comunicação em Química, e nas Ciências em geral. Os escritos anteriormente publicados eram praticamente ilegíveis. A publicação do "Traité Élémentaire de Chimie", publicado em 1789, reforçou a lógica que presidiu à nova nomenclatura e apresentou-se como uma reconstrução total da Química. A primeira edição teve 2000 exemplares e foi, assim, um instrumento poderoso na difusão das novas teorias de Lavoisier e da nova nomenclatura, com o objectivo do "ensino das noções elementares de Química". Ao mesmo tempo novas Publicações surgiram no domínio científico.<sup>14</sup>

À imagem da profusão de nomes para as substâncias químicas, também nas vésperas da Revolução de 1789, existiam, em França, mais de 800 medidas diferentes, símbolos de desigualdade e de arbítrio. O princípio da igualdade saído da Revolução Francesa veio também estender-se aos pesos e medidas pela unificação do sistema de medidas consequência imediata e natural das alterações profundas já empreendidas. Nasceu o sistema métrico e as unidades de medida que lhe estão associadas. Esta pode ser considerada a terceira implicação da Teoria da Nova Química que o contexto incentivou.

### Adversários, apoiantes e a consolidação de uma teoria

Rapidamente os cientistas franceses começaram a rodear Lavoisier: Fourcroy, De Mourveau, Berthollet e outros. Fora da França, a oposição às novas ideias era forte,

<sup>13</sup> Os nomes referiam-se por vezes ao local onde as substâncias se podiam encontrar ou outros. Empregava-se frequentemente o mesmo nome para designar corpos diferentes e variáveis, para a mesma substância. Por exemplo, o sulfato de potássio era designado por *panacea duplicata*, *panacea holsatica*, *arcanum duplicatum*, *sal duplicatum*, *arcanum holsteniense*, *tartarus vitriolus*, *nitrium vitrio-latum*, *sal polychrestum glaser*, *vitriolatum potassinatum*.

<sup>14</sup> As noções apresentadas são as teorias do próprio Lavoisier, não sendo incluída qualquer secção histórica como era hábito nos anteriores tratados. Para Santos & Costa (1992) "Ao pretender fazer tábua rasa do conhecimento anterior e ao reduzir o ensino da Química ao seu sistema, Lavoisier está a consubstanciar os seus propósitos de fundador desta disciplina". Podemos questionar se serão estes propósitos legítimos, mas a atitude era necessária para a mudança efectiva e revolucionária de paradigma, na qual "se substitui um sistema total de conceitos e regras por um novo sistema" (Thagard 1992, 6).

especialmente em Inglaterra onde Stevenson declarou: "Este arte-mágico tenta persuadir-nos que a água, o mais poderoso antiflogístico natural que possuímos é um composto de dois gases, um dos quais ultrapassa todas as outras substâncias na sua inflamabilidade". Cavendish, que também tinha decomposto a água, nunca aceitou a nova explicação. Em 1803 Priestley escreveu da Pensilvânia: "Eu acredito que a Revolução Política será mais estável que a Revolução Química", referindo-se à Revolução nos Estados Unidos.

O Professor Thomas Hope, da Universidade de Edimburgo, foi o primeiro a adoptar a nova nomenclatura nas suas lições públicas (Jaffe 1967, 75). Em Edimburgo, Black aceitou a sua explicação e passou-a aos seus estudantes. Itália e Holanda puseram-se em linha ao mesmo tempo. Da Suécia, Bergman escreveu a Lavoisier a oferecer o seu apoio. A Academia de Berlim adoptou as ideias de Lavoisier em 1792. A Rússia inaugurou o novo sistema com Lomonosov.

Em 1789 é publicado o "Traité Elementaire de Chimie", organizando as experiências e a teoria já relatadas nas anteriores Memórias públicas e marcando a separação definitiva entre a Química do flogisto de Stahl e a Química do oxigénio, exposta numa linguagem clara e nova. Pela primeira vez um livro de texto afastava a Química da mística, pela clareza da linguagem.

Em Coimbra, com Rodrigues Sobral (1759-1828) e Vicente Coelho de Seabra (1764-1804) o Laboratório Químico da Universidade, criado pela Reforma Pombalina de 1772, foi um dos baluartes de vanguarda desta Nova Química. Aliás, Vicente Coelho de Seabra, publica um livro intitulado "Elementos de Chimica" em 1788 (um ano antes da publicação do próprio Traité) e uma segunda parte em 1790. O Departamento de Química reproduziu-o, recentemente, em edição fac-similada. Existem, na Biblioteca do Departamento de Química da Universidade de Coimbra, obras de Lavoisier, em francês, com a data de 1864, da Imprimerie Imperial e um belo exemplar do Traité. Ao mesmo tempo também em Portugal se construía balanças sofisticadas para apoiar a investigação. É o exemplo da balança de ensaio de João Jacinto de Magalhães existente no Museu de Física Pombalino da Universidade de Coimbra.

Esta alteração de paradigma científico terá sido uma das maiores de todos os tempos na História da Química. No tempo em que a Luís XVI informaram que a tomada da Bastilha pelo povo francês não se tratava de mais uma revolta mas de uma revolução, Lavoisier, foi o rosto mais visível de uma Revolução na Química.

Lavoisier explicou a combustão como oxidação (combinação química de um combustível com o oxigénio), identificou a água como um composto de hidrogénio e

oxigénio, reconheceu o que são e não são elementos químicos e alargou o entendimento que se fazia do conceito de conservação da massa, pelo facto de o ter tomado sistemática e convictamente como ponto de partida nas suas experiências, com o contributo da balança e num diferente quadro teórico. A sua vida e a sua imagem estão sempre ligadas à balança. Mas tal não teria sido possível sem os anteriores legados que foram sendo acumulados. Não foi, de facto, mais uma revolta, foi uma Revolução, antecedida por várias revoltas que a anunciaram. Efectivamente foi uma longa caminhada acompanhada, que começou com a história da humanidade e que a Alquimia alimentou, e em que a balança teve sempre lugar de destaque.

### **3 – A História e a Filosofia da Ciência como contributo para uma formação de professores reflexiva e fundamentada**

A disciplina de História e Epistemologia das Ciências que leccionamos na Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Castelo Branco, insere-se no 4º ano/2º Semestre do currículo da Licenciatura em Ensino Básico – Variante de Matemática e Ciências da Natureza.

Na metodologia adoptada, as estratégias entrosadas com a avaliação, foram as seguintes: (i) Caracterização de perspectivas da Filosofia da Ciência tradicionais e actuais. Serviriam de fundamentação e reflexão para a elaboração de todos os trabalhos subsequentes, pelos alunos; (ii) Elaboração de um trabalho de pesquisa bibliográfica referente a um período da História da Ciência evidenciando as múltiplas inter-relações da Ciência com outros domínios da História da Humanidade. Em grupos de 2/3, os alunos construíram o trabalho e organizaram a apresentação à turma usando formas apelativas e interactivas; (iii) Envolvimento numa pesquisa proposta pela professora “Imagem da História da Ciência em Manuais Escolares” em que todos os grupos trabalharam o mesmo tema, analisando manuais diferentes, após a apresentação e a discussão conjuntas de um instrumento de análise proposto pela professora; (iv) Participação numa visita de estudo ao Museu de Lanifícios da Universidade da Beira Interior – museu de sítio de arqueologia industrial. Sobre esta organizaram um guião didáctico e fizeram um relatório de visita<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Estamos a referir-nos ao ano lectivo de 2001/2002. Por exemplo, no ano lectivo 2002/2003 as duas últimas actividades foram substituídas: um trabalho de pesquisa sobre a obra original de Amato Lusitano (1511-1568) (Centúrias Médicas), ilustre albicastrense do renascimento que deambulou pela Europa culta

Os portfólios organizados pelos alunos integraram material pesquisado e organizado, os trabalhos elaborados e respectivos suportes informáticos, e ainda reflexões sistemáticas sobre os seus trabalhos e os dos seus colegas e uma reflexão final sobre a participação na disciplina (nesta se inclui também a avaliação das aulas). A classificação da disciplina de História e Epistemologia resultou da análise do portfólio individual e da observação do envolvimento dos alunos nas aulas, participando em trabalhos de grupo ou individualmente.

Nas reflexões finais dos alunos procurámos indicadores relativos às seguintes categorias:

1 - Expectativas e sentimentos iniciais relativamente à História e Epistemologia das Ciências (HEC).

2 – Percepção do valor da disciplina:

2.1 – enquanto contributo para alterar a sua visão sobre a ciência e a sua história

2.2 – enquanto contributo para adquirir um novo sentido da ciência na perspectiva do ensino/ educação em ciência

2.3 – pela ligação à prática de ensino futura.

**Reflexões dos alunos futuros professores<sup>16</sup>:**

1 – Praticamente todos os alunos referem aspectos que se prendem com as suas **Expectativas e sentimentos iniciais relativamente à HEC**, em particular mostrando alguma apreensão com curiosidade, e quase sempre desconhecimento sobre o que constituiria o objecto da disciplina e a sua ligação à prática pedagógica.

*“Ao início não me “soava” muito o nome da disciplina e aos poucos fui-me apercebendo da sua grandeza” (João).*

*“Quando ingressei no 4º ano e observei a listagem das disciplinas que dele fariam parte pensei: De que tratará a disciplina de Epistemologia e História da Ciência?” (Elisabete Pereira)*

*“Se no início tinha uma opinião formada sobre esta disciplina, com o decorrer do tempo muitas delas mudaram.*

*“A realização e apresentação de trabalhos sempre foi uma constante ao longo de todo o curso, mas por vezes questionava-me sobre qual seria o objectivo para a realização de certos trabalhos. Seria*

---

do século XVI e foi médico de personagens como Catarina de Médicis e o Papa Júlio III; Quanto à visita de estudo foi realizada ao Museu de Metrologia, Instituto Português da Qualidade, Almada.

<sup>16</sup> Por não quereremos alargar demasiado este trabalho de síntese da fundamentação da lição, não podemos, como seria nosso desejo, apresentar citações de todos os nossos alunos do primeiro ano em que leccionámos a disciplina de História e Epistemologia das Ciências. Contudo, mantemos ainda connosco os portfólios dos alunos do ano lectivo de 2001/2002 e agora também os do ano de 2002/2003, sendo nossa intenção devolvê-los aos alunos para se reapropriarem dos muitos materiais que pesquisaram, recolheram e construíram, e sobre os quais reflectiram.

*para obter uma nota e depois colocá-los de lado, sem retirar deles a devida aprendizagem? Pois isso não se verificou no decurso desta disciplina!” (Maria do Céu).*

*“A opinião que eu tenho hoje acerca da importância desta disciplina não é a mesma que eu tinha logo no início, quando comecei a assistir às sessões da referida disciplina (...) querera anunciar que os temas, as discussões travadas nas suas sessões me serviram para construir uma ideia, um pensamento sobre o quanto é importante a História e as Ciências andarem par a par...” (Manuel).*

*“Inicialmente, confesso que o nome da cadeira não me atraía muito: estava um pouco confusa, não sabia bem de que se tratava” (Sara).*

*“Quando iniciei este semestre e tomei conhecimento da cadeira de Epistemologia e História da Ciência, confesso que não sabia que conteúdos iriam ser tratados, inicialmente coloquei estas questões, será que vamos ouvir falar de História, será só sobre história da ciência (...) ficamos alertados para questões que à partida não tínhamos em consideração e futuramente nos vai ser extremamente úteis” (Alcina)*

*“Pelo nome que esta disciplina toma, estava à espera que realmente esta fosse importante para a nossa futura carreira de professores. Contudo, nunca esperei que tivesse uma componente tão dinâmica e activa” (Dulce).*

*“Ao verificar que ia ter esta disciplina, no leque de disciplinas do meu curso, fiquei apreensiva e não sabia bem qual deveria ser o seu objectivo. À medida que as aulas foram decorrendo, percebi que esta disciplina poderia e deveria ser bastante interessante a nível de enriquecer a minha cultura científica, percebendo um pouco mais da História da Ciência. Outro aspecto que também me deixou apreensiva foi o facto de não entender bem como é que esta “cadeira” se poderia relacionar com a minha Prática Pedagógica (Sandra).*

## **2 – À medida que o semestre avançou os alunos foram ganhando uma melhor Percepção do valor da disciplina**

### **2.1 - enquanto contributo para alterar a sua visão sobre a ciência e a sua história e alguns indicadores são evidentes:**

*“Foi de facto, importante neste último ano de formação na Escola Superior de Educação de Castelo Branco, ter uma disciplina que me permitiu dimensionar a Ciência numa perspectiva totalmente diferente daquela que até agora visualizava.*

*Assim, a dimensão epistemológica permitiu-me fazer o exame dos problemas relativos ao significado da Ciência, à sua estrutura, ao seu papel partindo da firme convicção de que uma acrescida consciência deles pode ser de grande utilidade, não só para o filósofo, mas também para o cientista e, em geral, para qualquer pessoa de cultura” (Ana ).*

*“Durante este semestre, com a disciplina de HEC apercebi-me de como é importante a reflexão sobre o conhecimento. Com o passar do tempo, nomeadamente com a apresentação de trabalhos sobre a História das Ciências, verifiquei que para melhor compreender os factos têm que se enquadrar na História” (Sandra).*

*“É muito interessante pensar sobre o conhecimento, questionar o conhecimento” (Armando).*

*“A contextualização dos cientistas na época, na minha opinião, foi imprescindível, porque só assim nos pudemos aperceber dos contributos, importância e limitações das investigações científicas”* (Mónica).

*“Tal como outras pessoas, certamente, eu nunca tinha a preocupação sequer de ter em consideração, ou ter pensado até, que por detrás de qualquer descoberta e avanço científico, existiu e existe toda uma realidade que conduz, provoca, interfere em todo o conhecimento científico produzido na época”* (M. Céu).

*“Outra das discussões que se manteve nas aulas de História e Epistemologia das Ciências foi acerca da existência ou não de um método científico. Penso que essa discussão foi bastante acesa, ouvindo aí as várias opiniões dos alunos, chegando à conclusão de que não há um método científico específico que os cientistas possuem”* (Manuel).

*“A ideia que eu tenho neste momento acerca da história e evolução da Ciência é bem diferente da que eu tinha inicialmente”* (Márcia).

## **2.2 – Os alunos perceberam o valor da disciplina igualmente enquanto contributo para adquirir um novo sentido da ciência na perspectiva do ensino/educação em ciência:**

*“Por outro lado, compreendi e consciencializei-me de que a História da Ciência é uma ferramenta útil e preciosa no ensino das Ciências (...) Assim, através da apresentação das minhas colegas sobre a vida e obra de Lavoisier e, mais tarde, com o segundo trabalho que a professora Fátima Paixão nos propôs realizar – análise de um manual escolar de 8º ano de escolaridade de Física-Química, fiquei consciente do quão é importante, mais uma vez, integrar a História da Ciência com os conteúdos a nível educacional”* (Ana).

*“Muitas vezes me questionava como é que certa pessoa “descobriu” algo e porquê naquela altura? Talvez seja uma questão que os próprios alunos fazem a si mesmos. Aqui, também os trabalhos me ajudaram a clarificar as ideias que tinha acerca disto”* (Sandra).

*“E porque interessa que ensinemos o saber na sua perspectiva actual, tal como é sabido sobre esse conhecimento é também importante que saibamos como evoluiu esse saber”* (Luís).

*“Já no que diz respeito à História da Ciência nos manuais escolares, tenho que dizer que nunca tinha pensado como é que a história da ciência é tratada na abordagem dos conteúdos”* (João).

*“Será importante fazer referência à história da ciência para explicar um conteúdo? Questões como esta, foram de uma maneira ou de outra, explicadas ao longo das aulas de Epistemologia. (...) Assim sendo, os alunos deveriam ter contacto com ideias, teorias, acontecimentos científicos apresentados no respectivo contexto histórico, uma vez que os levaria a compreender o modo como a ciência realmente aconteceu, o caminho que seguiu para chegar à compreensão que hoje se tem dessas ideias, teorias, assim como o contributo que dão ou deram os cientistas e investigadores e a interacção entre as provas e a teoria ao longo dos tempos”* (Carla).

*“História e Epistemologia das Ciências foi uma disciplina que me surpreendeu agradavelmente, uma vez que comecei a olhar para a ciência e para o ensino das ciências de uma forma completamente diferente, de uma forma mais ampla, mais completa”* (Ana).

2.3 – Uma terceira vertente em que foi possível perceber, através das reflexões dos alunos, o valor da disciplina de História e Epistemologia das Ciências **pela ligação à prática de ensino futura**, prende-se com a ligação que foram capazes de estabelecer com a sua prática de ensino futura, entendendo a disciplina como contributo para o seu desenvolvimento profissional:

*“Procurarei num futuro bem próximo, poder transmitir aos alunos uma visão totalmente diferente de Ciência, aplicando tudo o que pude aprender” (Ana).*

*“Em suma, sinto que a disciplina de História e Epistemologia das Ciências, me enriqueceu muito e me fez reflectir bastante, principalmente, acerca do ensino que ainda hoje se vai praticando um pouco por todas as escolas e que devemos ser nós a tentar mudar este pensamento” (Carlos).*

*“O trabalho sobre Lavoisier, o de Geologia e o do século XX, todos eles me trouxeram mais valias na minha formação como pessoa e como profissional. (...) Penso que esta disciplina é uma mais valia para a minha formação. Através dela fui reflectindo aspectos que antes nunca tinha, nem sequer, pensado neles. É importante ter-se uma visão global dos acontecimentos que acompanham a História das Ciências para não cometermos os mesmos erros que os nossos professores na altura cometeram: “Isto é assim porque sim”, ao envolvermos os nossos alunos na História das Ciências e do conhecimento” (Sandra).*

*“Penso que a disciplina de História e Epistemologia das Ciências contribuiu bastante para a formação de professores, quer a nível pedagógico-didáctico quer como ponto de reflexão. A nível pedagógico-didáctico irá permitir ao professor reflectir sobre as suas estratégias de ensino e também sobre o que realmente pensa sobre a ciência. (...) Penso que um dos pontos fundamentais desta disciplina é a mensagem que transmite a nós, futuros professores, de que a ciência nunca poderá estar dissociada da história e filosofia das ciências” (Carla).*

*“Se não transmitirmos as características adequadas da Ciência aos nossos alunos de que servirá o Ensino da mesma?” (Manuel).*

### **Por Fim...**

Com a análise realizada, embora não exaustiva, podemos sustentar que os alunos adquiriram com a História e Filosofia da Ciência uma consciência dos aspectos relacionados com a natureza da ciência, da construção do conhecimento científico e das múltiplas inter-relações entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade e aspectos de valor associados à Ciência, acercando-se de uma imagem como a que defendemos nos pontos 1, 2 e 3 desta lição. Ao mesmo tempo, podemos também sustentar que aumentaram a própria capacidade e competência de reflectirem, e em ligação com a prática pedagógica.

As reflexões dos nossos alunos representaram, deste modo, mais um incentivo para prosseguirmos na defesa de que a História e a Filosofia da Ciência são indispensáveis para uma formação de professores consistentes, conscientes e reflexivos, apresentando-se como um contributo precioso para a aquisição de um novo sentido de ciência, indispensável ao professor num tempo de mudanças exigentes.

#### Sumário da lição:

O sentido da Filosofia da Ciência e suas relações com a História da Ciência: correntes dominantes no século XX e um quadro teórico para o tempo actual.

O entrosamento da História e Filosofia da Ciência com a Educação em Ciência.

A História e Filosofia da Ciência como indispensável para uma formação de professores reflexivos.

A evidência da controversa construção da ciência através da sua História e as inter relações CTS: A ideia de conservação da massa, como exemplo.

Reflexões de alunos futuros-professores acerca do valor da História e Filosofia da Ciência.

#### Referências

- Abimbola, I. O. (1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum, *School Science and Mathematics*, 83(3), 181-192.
- Amorim da Costa, A.M. (1986). *Introdução à História e Filosofia das Ciências*. Lisboa. Publicações Europa-América.
- Amorim da Costa, A.M. (1987). Fermentação, emblema filosófico de Becher. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*. 30 (II série), 27-32.
- Amorim da Costa, A.M. (1988). De Stahl a Lavoisier em Portugal setecentista. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química*. 32/33 (II série), 18-10.
- Amorim da Costa, A.M. (1992). Alquimia em Portugal – o rei Alphonso. In Dias, A.R. & Ramos, J.M. *Química e Sociedade. A presença da Química na actividade humana*, vol 2. Lisboa: escolar Editora e SPQ.
- Bensaude-Vincent, B. & Journet, N. (1993). Rien ne se perd, rien ne se crée: Tout se pèse. *Les Cahiers de Science et Vie. Les Pères Fondateurs de la Science. Lavoisier*, 42-62.
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers; I. (1996). *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Bensaude-Vincent, B. (1993). *Lavoisier: Mémoire d'une révolution*. Paris: Flammarion.
- Bensaude-Vincent, B. (1996). Lavoisier: Uma revolução científica. In *Elementos para uma história das ciências. II. Do fim da idade média a Lavoisier*. Lisboa: Terramar.

- Berg, K.C. (1990). The historical development of pressure-volume law for gases. *The Australian Science Teachers Journal*, 36(1), 14-20.
- Brikhouse, N.W. (1989). The Teaching of the philosophy of science in secondary classrooms: case studies of teachers' personal theories. *International Journal of Science Education*, 11(4), 437-449.
- Bybee, R.W.; Powell, J.C.; Ellis, J.D.; Giese, J.R.; Parisi, L. & Singleton, L. (1991). Integrating the History and Nature of Science and Technology in Science and Social Studies Curriculum. *Science Education*, 75(1), 143-155.
- Cachapuz, A.; Praia, J. & Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Lisboa: Ministério da Educação; IIE.
- Cachapuz, A.; Sá-Chaves, I. & Paixão, F. (2002). Os desafios da complexidade e a definição de novos saberes básicos. *Série Estudos. Periódico do Mestrado em Educação da UCDB*. 14, 15-38.
- Carpinter, J.M. (1998). La introducción de Kuhn en España. In Solís, C. (ed.), *Alta Tensión: Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Chalmers, A.F. (1992). *La Ciencia y como se elabora*. Madrid: Siglo XXI.
- Chinn, C.A.; Malhotra, B.A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A theoretical framework for evaluating Inquiry tasks, *Science Education*, 86, 175-218.
- Cleminson, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 429-445.
- Dana, T.M. (1990). The history and philosophy of science: what does it mean for science classrooms? *The Australian Science Teachers Journal*, 36(1), 21-26.
- Debus, A.G. (1984). *Science and history. A chemist's appraisal*. Coimbra: Serviços de Documentação e Publicações da Universidade.
- Echeverría, J. (1995). *Filosofía de la Ciencia*. Madrid: AKAL
- Echeverría, J. (1999). *Introducción a la metodología científica. La Filosofía de la Ciencia en el siglo XX*. Madrid: Cátedra.
- Echeverría, J. (2002) *Ciencia y Valores*. Barcelona: Destino.
- Esteban, S. (2001) *Introducción a la Historia de la Química*. Madrid: UNED Ediciones
- Fernández, I.; Gil, D.; Carrascosa, J.; Cachapuz, A & Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciência transmitidas por la enseñanza. Una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*. 20(3), 477-488..
- Feyerabend, P.K. (1991a). *Diálogo sobre o método*. Lisboa: Editorial Presença.
- Feyerabend, P. (1991b). *Adeus à razão*. Lisboa: Edições 70.
- Forge J.C. (1979) A role for philosophy of science in the teaching of science. *Journal of Philosophy of Education*, 13, 109-118.
- Fréjacques, C. (1994). Lavoisier, scientifique et homme des lumières. *Musée des Arts et Métiers. La Revue*. Mars, 4-5.
- Gil-Pérez, D. (1996). New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18(8), 889-901.

- Glashow, S.L. (1994). *From alchemy to quarks. The study of physics as a liberal art*. Pacific Grove, California: Brooks/Cole Publishing Company.
- Goupil, M. (1993). Un "collectif" qui se nomme Lavoisier. *Les Cahiers de Science et Vie. Les Pères Fondateurs de la Science. Lavoisier*, 24-34.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hodson, D. (1986). The nature of scientific observation. *The School Science Review*, 68(242), 17-29.
- Hodson, D. (1992). Redefining and reorienting practical work in school science. *The School Science Review*, 73(264), 65-77.
- Hodson, D. (1993). Philosophic science of secondary school science teachers, curriculum experiences and children's understanding of science: some preliminary findings. *Interchange*, 24(1/2), 41-52.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science, *Science Education*, 84, 51-70.
- Hoyningen-Huene, P. (1998). Las interrelaciones entre la filosofía, la historia y la sociología de la Ciencia en la teoría del desarrollo científico de Thomas Kuhn. In Solís, C. (ed.), *Alta Tensión: Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Icikovics, J-P. (1993). La révolution du laboratoire. *Les Cahiers de Science et Vie. Les Pères Fondateurs de la Science. Lavoisier*. 1.
- Irwin, A.R. (2000). Historical Case Studies: Teaching the nature of science in context, *Science Education*, 84, 5-26.
- Jaffe, B. (1967). *Crucibles. The story of chemistry*. New York: Fawcett World Library.
- Justi, R. & Gilbert, J. (1999). A cause of ahistorical science teaching: use of hybrid models. *Science Education*, 83, 163-177.
- Kuhn, T.S. (1975 (1962)). *La Estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In Lakatos, I. & Musgrave, A. (Ed.) *Criticism and the growth of knowledge*. New York: Cambridge University Press, 91-196.
- Laudan, L. (1984). *Science and values*. Berkeley, University of California Press.
- Laudan, L. (1986 (1977)) *El progreso científico y sus problemas*. Madrid: Encuentro.
- Lavoisier, A. (1989 (1789)). *Tractat elemental de química*. Barcelona: Societat Catalana Química
- Lavoisier, A.L. (1864). *Ouvres de Lavoisier*. Paris: Imprimerie Impériale
- Marques, L. (1995). Teoria da tectónica de placas. Contributos relativos ao seu percurso histórico. in Cachapuz, A. (Coord). *Formação de Professores. Cadernos Didácticos. Série Ciências*. 1, 47-93.
- Matthews, M.R. (1989). A role for history and philosophy in science teaching. *Interchange*, 20(2), 3-15.
- Matthews, M.R. (1990). Galileo and pendulum motion: a case for history and philosophy in the science classroom. *The Australian Science Teachers Journal*, 36(1), 7-13.

- Matthews, M.R. (1992). History, philosophy and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education*, 1, 11-47.
- Matthews, M.R. (1994a) Discontent with constructivism. *Studies in Science Education*, 23, 165-172.
- Matthews, M.R. (1994b). *Science teaching. The role of history and philosophy of science*. New York & London: Routledge.
- Millar R. (1996). Towards a science curriculum for public understanding. *School Science Review*, 77, 23-32.
- Monk, M. & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405-423.
- Morin, E. (2000). *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. Lisboa: Ed. UNESCO.
- Newton-Smith, W.H. (1987). *La racionalidad de la ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Níaz, M. (1994). Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), 97-100.
- Níaz, D.A.; Arelys Maza, G.L. (2002). Arguments, Contradictions, Resistances and Conceptual Change in Students' Understanding of Atomic Structure. *Science Educations*, 86, 505-525.
- Olivé, L. (1998). Constructivismo, relativismo y pluralismo en la filosofía de la ciencia. In Solís, C. (ed.), *Alta Tensión: Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia*. Barcelona: Paidós. 195-212.
- Paixão, M.F. (1995). Valor e limites da ciência: contributos para uma reflexão. *Educare-Educere*, 1, 97-108.
- Paixão, M.F. (1998). *Da construção do conhecimento didáctico na formação de professores de ciências. Conservação da massa nas reacções químicas: estudo de índole epistemológica*. (Dissertação de doutoramento; não publicada). Universidade de Aveiro.
- Paixão, M.F. & Cachapuz, A.F. (1998). Dimensión epistemológica de los programas de física e química e implicaciones en las prácticas de enseñanza: qué lectura hacen los profesores? In Banet, E. & Pro, A. (Coords) *Investigación e innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Volumen I, 284-293.
- Péllon, I. G. (2002). Lavoisier y la revolución química. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. 98(2)40-49.
- Pérez Ransanz, A. R. (1998). El cambio de mundo y el realismo. In Solís, C. (ed.), *Alta Tensión: Historia, Filosofía y Sociología de la Ciencia*. Barcelona: Paidós. 259-277.
- Poirier, J-P. (1994). Antoine Laurent Lavoisier et les idées de bienfaisance. *Musée des Arts et Métiers. La Revue*. Mars, 6-16.
- 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(3), 261-278.
- Popper, K.R. (1970). Normal Science and its Dangers. in Lakatos, I. & Musgrave, A. (Ed.) *Criticism and the Growth of Knowledge*. New York: Cambridge University Press, 51-58.
- Popper, K.R. (1987). *O realismo e o objectivo da ciência*. Lisboa: Publicações D.Quixote.
- Praia, J.J.F.M. (1995). *Formação de professores no ensino da geologia: contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da deriva continental. Volume I*. Dissertação de Doutoramento, não publicada, Aveiro: Universidade de Aveiro.

- Putnam, H. (1990). *Realism with a human face*. Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- Reichen, C-A. (1966). *História da Química*. Lisboa: Morais Editora.
- Rosmorduc, J. (1983). *The Tales a Einstein. História da física e da química*. Lisboa: Editorial Caminho.
- Rorty, R. (1983). *La Filosofia y el espejo de la naturaleza*. Madrid: Cátedra.
- Sánchez Ron, J. M. (2000) *El siglo de la Ciencia*. Madrid: Taurus.
- Solomon, J.; Duveen, J.; Scott, L.; McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: Action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(4), 409-421.
- Sprod, T. (1993). History in science education: why, what and how. *The Australian Science Teachers Journal*, 39(1), 14-20.
- Seabra, V.C. (1985) *Elementos de Chimica. Reprodução fac-similada da edição impressa em Coimbra, na real oficina da universidade em 1788 (parte I) e 1790 (parte II)*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Serres, M. (Dir.) (1989). *Elementos para uma história das ciências* (3 volumes). Lisboa: Terramar.
- Solis, C. (org) 1998. *Alta tensión: filosofía, sociología e historia de la ciencia*. Barcelona: Paidós Básica.
- Thagard, P. (1993). *Conceptual revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- Toulmin, St. (1990 (1970)). *La comprensión humana I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.
- Veiga, M.L. (1991). Didáctica: da concepção às correntes que a integram. In Martins, I.P., Andrade, A.I., Moreira, A., Araújo e Sá, M.H., Costa, N., Paredes, A.F. (Ed.) *Actas do 2º Encontro Nacional de Didácticas e Metodologias de Ensino*. Aveiro, Universidade de Aveiro, 311-317.