

---

# HISTÓRIA, FILOSOFIA E ENSINO DE CIÊNCIAS: A TENDÊNCIA ATUAL DE REAPROXIMAÇÃO<sup>1</sup>

---

*Michael R. Matthews*

Departamento de Educação, Universidade de Auckland  
Auckland, Nova Zelândia

## **Resumo**

*Neste artigo, investigam-se o uso de e os argumentos a favor da história e da filosofia da ciência no ensino escolar dessas matérias. Enfatizam-se as propostas do Currículo Nacional Britânico e as recomendações contidas no Projeto americano 2061 de diretrizes curriculares. Algumas opiniões contrárias à inclusão de material histórico nas disciplinas de ciências são levantadas e contestadas. A tese piagetiana de que o desenvolvimento psicológico individual reflete o desenvolvimento dos conceitos na história da ciência é mencionada e serve de introdução à questão da idealização em ciências. Relacionam-se alguns exemplos significativos de momentos quando, às custas de sua própria qualidade, a educação ignorou os estudos relacionados à filosofia da ciência. São fornecidos argumentos a favor da inclusão da história e da filosofia da ciência nos programas de formação de professores dessa área. Conclui-se o artigo com uma listagem de temas atuais cujo debate conjunto por professores, historiadores, filósofos e sociólogos poderia resultar em enormes benefícios para o ensino de ciências.*

## **I. Introdução**

Em 1986, foi publicado um ensaio intitulado *Ensino e filosofia da ciência: vinte e cinco anos de avanços mutuamente excludentes* (Duschl, 1986). Tal estudo consistia de um relato de como o ensino de ciências desenvolveu-se completamente

---

<sup>1</sup> Este artigo foi publicado originalmente em *Science & Education*, 1(1), 11-47, 1992, e foi traduzido por Claudia Mesquita de Andrade, Coordenadora do PRILIAT- Programa Interdepartamental de Linguística Aplicada à Tradução - do Instituto de Letras da UFBA, como atividade do PROLICEN-95.

dissociado da história e da filosofia da ciência. Nos últimos cinco anos, entretanto, houve uma reaproximação significativa entre esses campos. Tanto a teoria como, particularmente, a prática do ensino de ciências estão sendo enriquecidas pelas informações colhidas da história e da filosofia da ciência.

Essas iniciativas vêm a ser oportunas, considerando-se a largamente documentada crise do ensino contemporâneo de ciências, evidenciada pela evasão de alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências (cf. Matthews, 1988). A Fundação Nacional Americana de Ciências denunciou que os programas dos cursos de graduação em Ciências, Matemática e Tecnologia existentes no país tiveram seu escopo e qualidade reduzidos a tal ponto que não mais correspondem às necessidades nacionais; provocando, portanto, a corrosão de uma riqueza americana sem igual (Heilbron, 1987, p.556). A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. Sendo esta epistemologia a origem do tipo de entendimento da disciplina que Schulman (1987) e, precedendo-o, embora tenha sido bastante negligenciado, Scheffer (1970) urgiam aos programas de formação de professores que promovessem.

Há muitos elementos envolvidos nessa reaproximação. Porém, o mais importante deles é a inclusão de componentes de história e de filosofia da ciência em vários currículos nacionais, o que já vem ocorrendo na Inglaterra e no País de Gales; nos Estados Unidos, através das recomendações contidas no Projeto 2061 concernente ao ensino de ciências da 5ª série do primeiro grau até a 3ª série do segundo; no currículo escolar dinamarquês; e na Holanda, nos currículos do PLON. Não se trata aqui da mera inclusão de história, filosofia e sociologia (HFS) da ciência como um outro item do programa da matéria, mas trata-se de uma incorporação mais abrangente de temas de história, filosofia e sociologia da ciência na abordagem do programa e do ensino dos currículos de ciências que geralmente incluíam um item chamado de “A natureza da ciência”. Agora, dá-se atenção especial a esses itens e, paulatinamente, se reconhece que a história, a filosofia e a sociologia da ciência contribuem para uma

compreensão maior, mais rica e mais abrangente das questões neles formuladas. Os tão difundidos programas de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), tanto nas escolas como nas universidades, representam uma abertura importantíssima para as contribuições histórico-filosóficas para o ensino de ciências. Tais avanços têm implicações relevantes para o treinamento do profissional de educação.

Há outros elementos que apontam para essa reaproximação. O primeiro deles foi a realização da primeira conferência internacional sobre “História, Filosofia, Sociologia e o Ensino de Ciências”, na Universidade Estadual da Flórida, em novembro de 1989. O segundo, uma série de conferências patrocinadas pela Sociedade Européia de Física sobre “A História da Física e o seu ensino”, realizadas em Pávia – cidade ao sul de Milão – (1983), Munique (1986), Paris (1988), e Cambridge (1990). O terceiro, foi a conferência sobre “História da ciência e o ensino de ciências”, realizada na Universidade de Oxford em 1987 com o apoio da Sociedade Britânica de História da Ciência (Shortland & Warick, 1989). Essas iniciativas geraram cerca de trezentos estudos acadêmicos sobre aquela questão e muito material didático histórica e filosoficamente embasados. Além disso, a Fundação Nacional Americana de Ciência já deu início a dois programas que visam a promover o engajamento de história, filosofia e sociologia ao ensino de ciências nos cursos de primeiro e segundo grau. Alguns programas americanos de formação de professores de ciências tomaram história, filosofia e sociologia obrigatórias e o estado da Flórida vinculou a concessão de licença para o ensino de ciências à conclusão de um curso em HFS.

Os que defendem HFS tanto no ensino de ciências como no treinamento de professores, de uma certa forma, advogam em favor de uma abordagem “contextualista”, isto é, uma educação em ciências, onde estas sejam ensinadas em seus diversos contextos: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, em e sobre ciências. Para usar a terminologia adotada pelo Currículo Nacional Britânico, os alunos de primeiro e segundo grau devem aprender não somente o conteúdo das ciências atuais mas também algo acerca da “Natureza da ciência”.

Os argumentos a favor da reaproximação repetem, de várias maneiras, os primeiros apelos feitos por Mach no final do século passado, reiterados por Duhem no início deste século e endossados por tantos outros como Nunn, Conant, Holton, Robinson, Schwab, Martin e Wagenstein. Tais apelos podem ser encontrados em inúmeros relatórios britânicos e americanos.

## **II. Reformas de currículos**

Vale a pena discutir-se o novo Currículo Nacional Britânico de Ciências e o Projeto 2061 da Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS) na etapa inicial de qualquer revisão de HFS e ensino de ciências, porque ambos mostram muito claramente as conseqüências da reaproximação tanto nos programas como nas salas de aula. O primeiro deles, já vem sendo aplicado; o segundo, engloba um conjunto de propostas abrangentes, e longamente planejadas, a favor de um novo currículo de ciências para primeiro e segundo graus.

Na introdução à secção de HFS do curso (que consiste de cerca de 5% do programa total), o Conselho Britânico de Currículo Nacional afirma que:

*os estudantes devem desenvolver seu conhecimento e entendimento sobre como o pensamento científico mudou através do tempo e como a natureza desse pensamento e sua utilização são afetados pelos contextos sociais, morais, espirituais e culturais em cujo seio se desenvolvem (NCC, 1988, P 113).*

Pode-se encontrar um exemplo bastante ilustrativo do tipo de compreensão e de habilidades que o Conselho de Currículo Nacional (NCC) vem tentando favorecer no novo currículo no item que descreve as habilidades a serem adquiridas por alunos de quatro a dezesseis anos, que deverão ser capazes de:

- distinguir entre asserções e argumentos pautados em dados e provas científicas e os que não o são;
- considerar a maneira pela qual o desenvolvimento de uma determinada teoria ou pensamento científico se relaciona ao seu contexto moral, espiritual, cultural e histórico;
- estudar exemplos de controvérsias científicas e de mudanças no pensamento científico (NCC, 1988, p. 113).

A Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS) lançou, em 1985, um amplo estudo a fim de revisar integralmente o ensino de ciências na escola (Projeto 2061). Em 1989, após quatro anos de debates e considerações, suas recomendações foram publicadas num relatório intitulado Ciências para todos os americanos (AAAS, 1989). O Projeto 2061, apesar de não ter levado em conta as deliberações do Conselho Britânico de Currículo Nacional, demonstra para com elas uma certa convergência de ideais com relação à necessidade de que os cursos de ciências sejam mais contextualizados, mais históricos e mais filosóficos ou reflexivos.

O relatório *Ciências para todos os americanos* contém 12 capítulos onde são apresentadas as recomendações do Conselho Nacional de Educação em Ciências e Tecnologia para o ensino de Ciências nos cursos de primeiro e segundo graus.

O primeiro capítulo versa sobre “A natureza da ciência” e inclui discussões acerca da objetividade e mutabilidade da ciência, as possibilidades de se distinguir entre ciência e pseudo-ciência, provas científicas e suas relações com a justificativa da teoria, método científico, explicação e predição, ética, política social e organização social da ciência. Pretende-se que esses temas sejam desenvolvidos e discutidos nos cursos de ciências e que os alunos possam, ao final destes últimos, conhecer alguma coisa sobre aqueles; não se pretende de modo algum que a inclusão desses tópicos nas disciplinas de ciências provoque a substituição de seu conteúdo por HFS.

A introdução ao capítulo dez (“Perspectivas históricas”) afirma que “Há duas razões principais para que se inclua algum conhecimento sobre história dentre as recomendações. Uma delas é o fato de que generalizações sobre o funcionamento dos empreendimentos científicos não têm sentido se não forem fornecidos exemplos concretos. A segunda razão é o fato de que alguns episódios na história das buscas científicas são bastante significativos para a nossa herança cultural; por exemplo, o papel de Galileu na mudança de percepção de nossa posição no universo”.

O relatório reserva uma página e meia ao episódio de Galileu que “retirou a Terra do centro do universo”. A descrição empresta ao episódio um tratamento sensível e instrutivo das evidências astronômicas, do papel da percepção sensorial, dos modelos matemáticos, do realismo e do instrumentalismo, da metafísica, da tecnologia, da retórica e da teologia. Outros episódios históricos recebem tratamento similar.

Nem a proposta de currículo britânica, nem a americana, prevê que se substitua a retórica das conclusões sobre ciência pela retórica das conclusões sobre HFS. Não se deseja que as crianças sejam capazes de resolver a controvérsia entre realismo e instrumentalismo; também não se tenciona que elas sejam submetidas a uma “catequese” sobre as quinze razões pelas quais as conclusões de Galileu eram corretas e as dos cardeais não. Ao contrário, espera-se que elas considerem algumas das questões intelectuais que estão em jogo; espera-se que considerem o fato de que há perguntas a serem feitas e que comecem a refletir não somente sobre as respostas para essas perguntas, mas, sobretudo, sobre quais as respostas válidas e que tipos de evidências poderiam sustentar essas respostas.

Converter projetos de currículos em realidade de sala de aula requer novas orientações para a prática e a avaliação, novos materiais didáticos e, acima de tudo, a inclusão de cursos adequados sobre HFS no treinamento de professores. Também será necessário, como está claro nas propostas do Projeto 2061, que se proceda a uma gradação decrescente do conteúdo dos currículos que, hoje, são “entupidos, porém mal-nutridos” (AAAS, 1989, p. 14). Um estudo do conteúdo programático de Biologia no estado de Nova Iorque demonstra perfeitamente a dimensão do problema: espera-se que os professores apresentem 1.440 novos termos e conceitos científicos em apenas um

ano letivo (Swift, 1988). Por isso, hoje leva-se em consideração aquilo que Mach defendia no século passado: ensinar-se menos para se aprender mais. Mach via a questão assim: “Creio que a quantidade de matéria necessária para uma educação de valor (...) é muito pequena (...) Não conheço nada mais deplorável do que as pobres criaturas que aprenderam além do que deviam (...) O que elas conseguiram foi uma teia de pensamentos frágeis demais para fornecer uma base sólida, porém complicados o bastante para gerar confusão” (Mach, 1943, p.366).

### **III. História no currículo de ciências**

Na Grã-Bretanha há uma longa tradição, ainda que tímida e assistemática, de incorporar-se a história da ciência ao ensino de ciências, o que foi largamente documentado por Edgar Jenkins (1989, 1990) e W. J. Sherratt (1982, 1983). Segundo Jenkins, a primeira manifestação evidente dessa intenção pode ser encontrada ainda no século passado, em 1855, no pronunciamento dirigido à Associação Britânica para o Progresso da Ciência feito por seu presidente, o Duque de Argyll, no qual ele afirmou: “Aquilo que desejamos no processo de educação dos jovens, não é a mera obtenção de resultados, mas dos métodos e, sobretudo, da história da ciência” (Jenkins, 1989, p. 19). A Associação Britânica para o Progresso da Ciência (BAAS) reiterou esses apelos durante a conferência de 1917, ressaltando que a história da ciência oferecia os meios para a dissolução da barreira artificial erigida pelo horário escolar para afastar os estudos literários das ciências (Jenkins, 1989, p.19). Mach e seus seguidores também argumentavam que, para a compreensão de um conceito teórico, é necessário que se compreenda o seu desenvolvimento histórico, ou seja, a compreensão é necessariamente histórica. Em seu clássico trabalho de 1883 ele afirmou que:

*A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades. (Mach, 1883/1960, p. 316).*

Tanto Nunn como outros educadores cujas idéias convergiam para a história apoiaram essa visão no período entre a primeira e a segunda guerra. Algumas bancas examinadoras ofereceram cursos distintos sobre a história da ciência, porém, na década de oitenta, o número de candidatos interessados era insignificante. Precedendo o

Currículo Nacional, a história da ciência também foi explorada pelos programas de Nuffield e pelos recém implantados cursos SISCON e SATIS.

Ao longo das décadas de setenta e oitenta, a Associação Britânica para o Ensino da Ciência, em alguns de seus relatórios (*Alternativas para o ensino de ciências, 1979, e Educação via ciências, 1981*) urgiu a incorporação de materiais mais históricos e filosóficos ao currículo das ciências. Um dos problemas apontados era o fato de que os professores não estavam devidamente preparados para ensinar ciências contextualizadas dessa maneira. Em seu relatório de 1963 (*A formação de professores no nível da graduação*), a Associação afirmava em relação aos professores graduados que: “Muitos deles se comportam e pensam cientificamente como consequência de seu treinamento, porém carecem de um entendimento da natureza fundamental e das metas da ciência” (p. 13). Essa questão foi explorada mais uma vez numa resenha de 1981 acerca do papel da filosofia da ciência na formação do professor na Grã-Bretanha (Manuel, 1981).

Nos Estados Unidos, depois da segunda guerra mundial, a história da ciência tinha um lugar de destaque nas disciplinas de ciências dirigidas a estudantes da graduação de outros cursos. A voz de maior influência então era a de James B. Conant, presidente da Universidade de Harvard, cuja abordagem do estudo de caso era largamente difundida. Conant a havia desenvolvido durante o período em que foi o pró-reitor geral da graduação em Harvard e tomou-a popular através de uma série de relatórios oficiais e best-sellers de bolso dentre os quais se destaca *Compreendendo a ciência: uma abordagem histórica* (1947). Sua obra em dois volumes, *Estudo de casos de Harvard sobre história nas ciências experimentais* (1957), tomou-se o livro-texto de muitos cursos de ciências.

Porém, não se deve superestimar a influência de Conant. Kuhn afirma que Conant foi “o primeiro a apresentar-me à história da ciência e, portanto, iniciou a transformação de minha concepção sobre a natureza do progresso científico” (Kuhn, 1970, p. xi; a relação entre Kuhn e Conant é delineada em Merton, 1977, p. 81-9). As transformações pós-kuhnianas na história e na filosofia da ciência são bastante conhecidas. Gerald Holton, como Kuhn, admite que ser um cientista que subitamente tinha que ministrar um curso de Educação Geral de Harvard pautado na história e na filosofia da ciência foi uma experiência transformadora. Leo Klopfer adotou os Estudos de Casos de Harvard nas escolas e obteve um sucesso considerável (Klopfer e Cooley, 1963). Subseqüentemente, Gerald Holton, em colaboração com Stephen Brush, Fletcher Watson, James Rutherford e outros, desenvolveram o Projeto de Física de Harvard para ser usado em escolas secundárias. Essa associação Conant-Harvard prolongou-se por toda a década de 80, com a nomeação de James Rutherford como diretor do programa do Projeto 2061 da Associação Americana para o Progresso da Ciência.

I. Bernard Cohen, proeminente historiador da ciência da universidade de Harvard, também argumentou a favor da introdução de material histórico nos programas das faculdades de ciências. Ele organizou um simpósio sobre esse tema na conferência anual da Associação Americana de Professores de Física de 1950, para o qual contribuiu com o trabalho de maior destaque, “Um sentido de história na ciência” (1950). Nesse trabalho; ele tomava uma série de textos-padrão em ciências e, neles, apontava as inúmeras inexatidões encontradas no tratamento dado a episódios históricos. Para ele, tal distorção do registro histórico alcançava até mesmo a Física do século XX. Um exemplo disso são os relatos comuns, porém equivocados, dos experimentos de J. J. Thompson para determinar a razão carga elétrica sobre massa. Cohen aconselha que se procure adquirir um conhecimento mais sólido da história da ciência, urge que os professores tentem escrever sobre a história e garante que um senso histórico toma as aulas “mais ricas e profundas além de mais interessantes para (...) os estudantes.”

Entretanto, como está tão bem documentado (Duschl, 1985), as principais reformas dos currículos de ciências na década de 60 ocorreram sem qualquer participação de historiadores ou filósofos da ciência (pode-se acrescentar que muitas delas ocorreram até mesmo sem envolvimento de professores). Houve apenas duas exceções: uma delas foi o já mencionado Projeto de Física de Harvard, a outra inclui várias versões do BSSC-American Biological Science Curriculum Study.

O Projeto de Física de Harvard, que em seu auge atingiu 15% dos alunos de 1º e 2º graus nos Estados Unidos, foi o currículo escolar de ciências fundamentado em princípios históricos e preocupado com as dimensões cultural e filosófica da ciência mais amplamente utilizado. Seu sucesso em evitar a evasão dos estudantes, atrair mulheres para os cursos de ciências, desenvolver a habilidade do raciocínio crítico e elevar a média de acertos alcançada em avaliações forneceu evidências suficientes para os que, hoje, advogam a favor da HFS. Essas evidências são analisadas por Aikenhead (1974), Holton (1978), Russell (1981), Brush (1989) e no simpósio sobre o Projeto de Física, em *The Physics Teacher* 5 2, (1967). As lições extraídas dos fracassos do Projeto de Física são igualmente úteis, especialmente as que advêm do fracasso em levar, apropriadamente, a HFS ao conhecimento dos professores para que pudessem lidar com o currículo de maneira aberta e crítica, como se desejava; o que já foi identificado como um sério empecilho à implementação do componente “A natureza da ciência” do Currículo Nacional Britânico (NCC, 1988, p. 21).

O BSSC foi alimentado com as idéias do educador, filósofo e biólogo J.J. Schwab, que promoveu a doutrina pedagógica da “ciência como investigação”. Schwab escreveu o *Manual do professor* do BSSC, no qual defendia a abordagem histórica, afirmando que “a essência do ensino de ciências como investigação deveria ser mostrar

algumas das conclusões da ciência sob o ponto de vista da maneira como surgem e são experimentadas. (...) e deveria incluir também um tratamento honesto das dúvidas e da natureza incompleta da ciência” (1963, p. 41). A História também é defendida, pois “diz mais respeito ao homem e aos fatos do que a concepções propriamente ditas. Há um lado humano na investigação”( 1963, p. 42).

No início dos anos 60, a Comissão Internacional de Educação em Física levantou a questão da utilidade da história da física para o seu ensino. Em 1970, havia sido realizado um simpósio sobre esse tópico, no MIT, conduzido por Stephen Brush e Allen King. As Atas foram publicadas (Brush & King 1972) e continham um importante desafio lançado por Klein a todo o empreendimento que era o uso da história da física em seu ensino. Isto é assunto da próxima seção deste artigo.

Na década de 70, a Sociedade Americana de Física estabeleceu uma seção sobre a História da Física, ao mesmo tempo em que a Sociedade da História da Ciência criou um Comitê de Educação, bastante atuantes em questões educacionais. Stephen Brush teve influência em ambos, produzindo inúmeros estudos históricos para serem usados em salas de aula.

Nos Estados Unidos, a história da química sempre foi mais marginal à pedagogia do que a história da física ou da biologia. Entretanto, tem havido muitos pedidos de inclusão da história da química em seu ensino, como foi documentado por Kaufmann (1989).

Em outros países, a história da ciência teve uma trajetória igualmente incerta na pedagogia da ciência. Pode-se encontrar breves registros das experiências européias em ensaios contidos em Thomsen (1986). Teichmann, no Deutches Museum em Munique, reproduziu experimentos históricos e forneceu anotações e instruções para professores; Bevilacqua e sua equipe da Universidade de Pávia também fizeram algo semelhante. Krasilchik (1990) discute uma interessante abordagem dada ao assunto no Brasil; Tamir (1989) discute a situação em Israel.

#### **IV. O ataque à história**

A tradição contextualista assevera que a história da ciência contribui para o seu ensino porque: (1) motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência -a Revolução Científica, o darwinismo, etc.; (5) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e,

finalmente, (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Em 1970, na conferência no MIT citada anteriormente, essas justificativas a favor da história foram expostas a duplo ataque: de um lado, dizia-se que a única história possível nos cursos de ciências era a pseudo-história; de outro lado, afirmava-se que a exposição à história da ciência enfraquecia as convicções científicas necessárias à conclusão bem sucedida da aprendizagem da ciência. O primeiro caso foi levantado por Martin Klein (1972); o segundo, adveio, em parte, da análise feita por Thomas Kuhn, em seu clássico: *A estrutura das revoluções científicas* (primeira edição de 1962, segunda edição de 1970).

O argumento de Klein era de que, basicamente, os professores de ciências (especialmente os de física) selecionam e usam materiais históricos com outros propósitos pedagógicos e científicos:

*Estamos, em outras palavras, planejando selecionar, organizar e apresentar esses materiais históricos, de forma, definitivamente, não histórica, ou até talvez, anti-histórica. Isto é bastante temerário, se estamos tão preocupados com a integridade e a qualidade da história que ensinamos quanto estamos preocupados com a física (Klein 1972, p. 12).*

Ele continua, afirmando:

*Uma razão pela qual é difícil fazer-se com que a história da física atenda as necessidades do ensino da física é a diferença fundamental que há entre a perspectiva do físico e a do historiador. (...) É tão difícil imaginar-se a combinação da riqueza de complexidade do fato, por que anseia o historiador, com o simples corte agudo do fenômeno que a física procura. (Klein 1972, p. 16)*

Enfim, ele conclui que, se o ensino de ciências de qualidade alimenta-se da história, esta só pode ser de má qualidade. Então, é melhor não se usar história do que usar-se história de má qualidade.

Whitaker (1979) explorou mais profundamente esses argumentos num ensaio intitulado “História e quasi-história no ensino de física”, onde preocupava-se em identificar qual a ficção histórica que prevalecia a fim de satisfazer-se não apenas aos fins pedagógicos, mas aos fins da ideologia científica ou à visão de ciência que tinha o autor. Tais casos são bastante frequentes em livros-texto. Um caso que tem sido bastante discutido é o do registro, largamente difundido, de como a teoria da relatividade de Einstein teria sido inspirada pelo fracasso do experimento de Michelson-

Morley; um mito inspirado em Popper. Um outro mito é a visão predominante de que o postulado do fóton de Einstein é posterior aos experimentos sobre o efeito foto-elétrico, ao invés de precedê-los. Dentre outros tantos exemplos, pode-se destacar aquele que se encontra nas primeiras páginas do PSSC em que se descreve como Galileu descobriu a lei do isocronismo do pêndulo cronometrando o balanço de um lustre na igreja de Pisa. Este registro dúbio é usado pelo PSSC como o próprio modelo de metodologia científica. Os problemas subjacentes a esse exemplo são discutidos por Matthews (1987).

Whitaker diz que a quasi-história é o “resultado de muitos e muitos livros cujos autores sentiram a necessidade de dar vida aos registros desses episódios usando um pouco de história, mas que, de fato, acabavam re-escrevendo a história de tal forma que ela segue lado a lado com a física” (Whitaker 1979, p. 109).

A quasi-história não é apenas o que Klein chama de pseudo-história, ou história simplificada, onde erros podem acontecer devido a omissões, ou onde a história pode ficar aquém do alto padrão de “verdade, toda a verdade, nada mais que a verdade”. Na quasi-história, tem-se uma falsificação da história com aspecto de história genuína, semelhante ao que Lakatos chamava de “reconstruções racionais” da história (1978), onde a história é escrita para sustentar uma determinada versão de metodologia científica e onde as figuras históricas são retratadas à luz da metodologia ortodoxa atual.

A quasi-história é um assunto complexo. Sabe-se que objetividade em história é, num certo nível, impossível: a história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador; ela tem que ser fabricada. Fontes e materiais têm que ser selecionados; perguntas devem ser construídas; decisões sobre a relevância das contribuições de fatores internos e externos para a mudança científica devem ser tomadas. Todas essas questões, por sua vez, sofrem influência das visões sociais, nacionais, psicológicas e religiosas do historiador. Num grau ainda maior, sofrem influência da teoria da ciência, ou da filosofia da ciência, em que o historiador acredita. Do mesmo modo como a teoria abraçada pelo cientista determina seu modo de ver, selecionar e trabalhar o objeto de estudo, também a teoria abraçada pelo historiador afetará seu modo de ver, selecionar e trabalhar o material de que dispõe. Como se diz por aí, se a filosofia da ciência é vazia sem a história, então a história da ciência, sem a filosofia, é cega.

A história da interpretação da metodologia usada e dos resultados atingidos por Galileu associada às diferentes traduções de suas obras ilustram o problema da teoria que afeta a forma como os fatos e documentos históricos são vistos. Para os filósofos e cientistas do século XIX, Galileu era indutivista e empiricista. William Whewell diz que Galileu “provavelmente tinha uma flagrante inclinação para os fatos e

não sentia, como tantos contemporâneos seus, necessidade de reduzi-los a idéias.” (1840/1947, p. 220). Em 1830, David Brewster o via como uma figura baconiana e garantia que “os princípios da filosofia indutiva” podiam ser encontrados em sua obra (Finocchiaro, 1980, p. 152). À medida que o positivismo ascendia, Galileu passava a ser retratado como um positivista. Mach afirma que “Galileu não nos fornecia uma teoria da queda dos corpos, mas investigava, totalmente livre de opiniões pré-concebidas, os fatos reais da queda” (Mach, 1883/1960, p.167). Na década de 30, um raio desabou sobre as leituras empiricistas de Galileu quando Alexandre Koyré anunciou que ele era, na verdade, um platônico (1939, 1943). A história da interpretação platônica foi resenhada por McTighe (1967). O registro racionalista de William Shea sobre Galileu (1972) possui muitos pontos em comum com o de Koyré. Porém, nem o empiricismo, nem o racionalismo, esgotam o campo interpretativo. William Wallace escreveu uma série de estudos que inserem Galileu na tradição aristotélica escolástica tardia (1981, 1984); uma visão que já havia sido sugerida por Randall em seu estudo da Escola de Pádua (1940). A imagem que se tem dos muitos artigos e livros de Stillman Drake (1978, 1980) é a de Galileu como o experimentalista paciente. A interpretação anarquista recente, ou dadaísta, que Paul Feyerabend empresta a Galileu é bem conhecida e foi o principal argumento que ele utilizou contra a primazia de qualquer método científico isolado (1975).

Ao contrastar as obras de Koyré e Drake, um resenhista escreveu que:

*O Galileu de Koyré parecia viver num mundo extremamente filosófico: de platonismo, copernicianismo, de racionalismo e de experimentos com o pensamento. O Galileu de Drake, por outro lado, é mais ativo e menos contemplativo (...) um observador atento, um experimentador e um inventor (.). Essas diferenças consideráveis entre as conclusões a que chegaram Koyré e Drake resultam, em grande parte, das diferenças de estilo de suas abordagens. (MacLachlan, 1990, p. 124)*

Os especialistas em Bíblia de fins do século XIX, a escola crítica de Renan e outros, chamaram atenção para o fato de que uma interpretação de um texto reflete até mesmo as opiniões da época ou do próprio leitor. Albert Schweitzer, em seu monumental *A busca do Jesus histórico* (1910), após uma resenha da história das imagens e das teologias de Jesus, conclui que “cada época e cada indivíduo construíram a vida de Jesus como um reflexo de sua própria imagem”; uma conclusão que seria ilustrada sessenta anos depois quando o evangelista americano Billy Graham afirmou que “Jesus era o maior gerente-geral que o mundo havia conhecido.”

A tradução da obra de Galileu também foi afetada pelos pressupostos do tradutor. I. Bernard Cohen chamou atenção para a inserção um tanto gratuita da

expressão “por experimento” no texto do *Discurso sobre duas novas ciências* na tradução de Crew & de Salvio, onde Galileu menciona ter descoberto algumas propriedades do movimento até então desconhecidas (1977). Peter Machamer (1978) observa que na tradução da mesma obra Drake traduz o termo originalmente usado por Galileu (“razão”) por “regra”, quando o texto original significava “causa formal”. Como Drake acreditava que Galileu tinha abandonado a noção de causa final, não é de surpreender que o termo não tenha sido traduzido assim.

O problema é, obviamente, mais profundo do que simplesmente uma questão de a percepção ser afetada pela interpretação. Há muito que Bacon, em sua discussão sobre os Ídolos da Mente, reconhecia o quanto as concepções pessoais e culturais, inclusive a própria língua, afetam a visão e a compreensão de um fato. Seu conselho empírico era de que deve-se minimizar a extensão dessas visões tendenciosas e deve-se ver o mundo como ele realmente é. Hoje, tal conselho é visto como excessivamente simplista: não somente a literatura, a história e a política, mas também as ciências naturais possuem seus próprios problemas hermenêuticos; algo que Toulmin (1983) e Markus (1987) também levam em consideração. A. C. Crombie, o consideravelmente ortodoxo historiador da ciência, em seu estudo “Os pressupostos filosóficos e as diversas interpretações de Galileu” (1981), admitiu a necessidade de interpretação hermenêutica na historiografia da ciência.

A segunda investida contra o uso de história genuína da ciência nos cursos de ciências sustentava que ela poderia solapar o espírito científico neófito. Esse ponto de vista foi defendido por Thomas Kuhn, dentre outros. Em um ensaio de 1959 sobre o ensino de ciências e seus efeitos psicológicos e intelectuais ele afirmou:

*O traço peculiar mais impressionante desse tipo de ensino é que, num grau absolutamente inexistente em outros ramos criativos, ele é conduzido inteiramente através de livros-texto (..) e os estudantes de ciências não são encorajados a lerem os clássicos históricos de suas áreas - obras onde eles poderiam descobrir outras formas de considerar os problemas discutidos em seus livros-texto (..) esse ensino permanece uma mera iniciação dogmática a uma tradição pré-estabelecida. (Kuhn 1959/1977, p. 228-229)*

Kuhn diz que tal iniciação é necessária porque “nenhuma parte da ciência progrediu muito ou muito rapidamente antes de que essa educação convergente (...) se tomasse possível” (p. 237). Kuhn aprofundou essas idéias sobre a virtude de uma educação conformista em ciências em seu trabalho mais influente, *A estrutura das revoluções científicas*, onde afirma que, numa sala de aula de ciências, a história da ciência deveria ser distorcida para que os cientistas do passado fossem retratados como

se trabalhassem o mesmo conjunto de problemas trabalhados pelos cientistas modernos (1970, p. 138). Essa distorção tem como meta fazer com que o cientista em formação sinta-se parte integrante de uma tradição bem sucedida na busca da verdade: “Os livros-texto, desse modo, começam por truncarem a percepção - que o cientista tem da história de sua disciplina e prosseguem suprimindo um substituto para aquilo que eliminaram” (p. 137).

Stephen Brush foi ainda além de Kuhn em seu ‘Será que a história da ciência deveria ser censurada?’(1974). Nesse livro, sugere-se que a história da ciência poderia ser uma influência negativa sobre os estudantes porque ela ceifa as certezas do dogma científico; certezas essas que são tão úteis para se manter o entusiasmo do principiante. Apesar do tom jocoso, na verdade, ele sugere seriamente que apenas um público científico maduro deveria ter acesso à história.

A visão de Kuhn pode ser traçada até a virada do século, quando das reações contra a visão instrumentalista que Poincaré tinha da ciência. Heilbron, por exemplo, nos informa acerca do que disse o presidente da Associação Britânica para Progresso da Ciência, em 1901, sobre a teoria da ciência de Poincaré: “Se a confiança de que seus métodos são armas com as quais ele pode abrir seu caminho para a verdade fosse extraída do explorador científico, a paralisia dos que se prendem a uma tarefa fadada ao fracasso recairia sobre ele” (Heilbron, 1983, p. 178).

As acusações lançadas por Klein e Kuhn são sérias, mas seus pontos principais podem ser acomodados sem que seja necessário excluir a história dos cursos de ciências. Na pedagogia, como na maioria das coisas, muitas vezes a matéria tem que ser simplificada. E isto é tão verdadeiro para a história da ciência quanto o é para: a economia, ou para a própria ciência. Porém o fato de que a história da ciência seja simplificada não se toma um argumento decisivo contra ela. A tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico. A simplificação deve levar em consideração a faixa etária dos alunos e todo o currículo a ser desenvolvido. História e ciência podem tornar-se mais e mais complexas à medida que assim o exija a situação educacional. Lida-se melhor com o problema das distorções grosseiras quando se apresenta a HFS de forma mais adequada nos treinamentos de futuros profissionais e de profissionais já atuantes: as boas intenções levam às distorções. O problema hermenêutico de interpretação na história da ciência, longe de dificultar ou impedir o uso da história, pode tornar-se uma boa ocasião para que os alunos sejam apresentados a importantes questões de como lemos textos e interpretamos os fatos, isto é, ao complexo problema do significado: a partir de seu dia a dia, os alunos sabem que as pessoas vêem as coisas de formas diferentes; portanto, a história da ciência constitui-se num veículo natural para se demonstrar como esta subjetividade afeta a própria ciência.

A prova da teoria está na prática. Os estudos históricos já mostraram seu valor para os professores de ciências: Arons (1988), Pumpfrey (1989), Bevilacqua (1990) e as Atas de 1983, 1986 e 1988 das conferências da Sociedade Européia de Física que contêm o tipo de história aplicada da ciência, pedagogicamente útil, que Heilbron havia urgido aos historiadores que produzissem em colaboração com professores. Não há evidências de que tais abordagens diminuam o entendimento científico; elas podem abalar uma certa convicção pseudo-científica, o que não é de todo mal. O sucesso do Projeto de Física de Harvard é um exemplo de peso contra as preocupações manifestadas por Kuhn/Brush: ele comprova que uma educação em ciências de qualidade, sem catequese, é possível de fato (Siegel 1979).

## V. A história da ciência e a psicologia da aprendizagem

Uma parte significativa da literatura recente sobre HFS e ensino de ciências tem se preocupado com a conjunção entre a história da ciência e a psicologia do aprendizado. Mais especificamente: de que maneiras o desenvolvimento cognitivo individual e o processo de desenvolvimento conceitual histórico esclarecem um ao outro? Embora essa questão possua uma longa história, ela recebeu um novo ímpeto a partir das inúmeras teorias da ciência nas quais os conceitos e os métodos da ciência cognitiva têm sido usados para estudar os processos e a história da ciência. (Giere 1987, Jung 1986, Nessesian 1989).

As questões foram exploradas primeiro em *A fenomenologia do espírito* de Hegel (1806), em cujas páginas iniciais a idéia de uma dialética das teorias do conhecimento é vinculada à dialética das formas históricas da consciência. Isto é, enquanto a epistemologia (um traço objetivo) se desenvolve, a experiência (um traço subjetivo) sobre a qual o conhecimento está baseado muda. Mach e Duhem repetem essa idéia em fins do século XIX. Em nosso século, o tratamento mais respeitado dado a essa visão encontra-se nos escritos de Jean Piaget; aliás, tal visão fundamenta toda a sua teoria do desenvolvimento cognitivo.

Em um trecho muito citado da *Epistemologia genética* (1970), Piaget diz:

*A hipótese fundamental da epistemologia genética é de que existe um paralelismo entre o progresso alcançado na organização lógica e racional do conhecimento (história da ciência) e os processos psicológicos formativos correspondentes (p. 13).*

O argumento mais recente e abrangente de Piaget para a tese encontra-se na sua *A psicogênese e a história da ciência* (1989). Contudo, a natureza do “paralelismo”,

de uma certa forma, não é muito clara em Piaget, e ainda menos clara naqueles a quem ele inspirou: as posições variam de analogia a um fraco isomorfismo (Mischel, 1971, p.326), ou a um forte isomorfismo (Murray, 1979, p. ix).

Thomas Kuhn popularizou a tese de que “a ontogenia cognitiva recapitula a filogenia científica” entre historiadores e filósofos da ciência (Kuhn 1977, p.21). Por outro lado, o historiador da ciência, Alexander Koyré, comentou que foi a física aristotélica que o ensinou a compreender as crianças piagetianas. O filósofo Philip Kitcher afirmou recentemente (1988) que os psicólogos desenvolvimentistas podem obter alguma compreensão dos progressos lingüísticos de crianças pequenas estudando as mudanças que ocorreram na história da ciência; e que os historiadores e filósofos da ciência podem aprender com os resultados experimentais e com as análises dos psicólogos infantis. Kitchner (1985) fornece uma bibliografia abrangente da literatura filosófica sobre Piaget.

Nussbaum (1983), por sua vez, apresentou uma primeira resenha da literatura para o ensino de ciências sobre cognição individual e cultural, ou teoria do desenvolvimento, intitulada “Mudança conceitual na sala de aula: a lição a ser aprendida com a História da Ciência”. Carey ressaltou, apropriadamente, que o sucesso em se compreender a complexidade da mudança conceitual pela qual passam os estudantes de ciências vai “exigir a colaboração de cientistas cognitivos e professores de ciências, que, juntos, devem estar conscientes do entendimento que tanto os historiadores como os filósofos têm da ciência” (1986, p. 1125). Duschl, Hamilton e Grandy (1990) fornecem uma resenha recente e abrangente a esse respeito.

A obra de Piaget conduziu a atenção para um terreno óbvio de investigação: será que as concepções intuitiva, imediata e “concreta” da criança refletem os primeiros estágios do desenvolvimento da compreensão científica em seus diversos domínios? Num nível um tanto simplista, a resposta é “sim”: a criança, de fato, parece possuir uma capacidade de compreensão anterior a qualquer instrução, ou uma credulidade ingênua, que se assemelha às primeiras noções científicas, ou noções pré-científicas. O que já foi bastante comprovado no campo da mecânica: McCloskey (1983), DiSessa (1982), Clement (1983), Champagne (1980), Whitaker (1983), McDermott (1984) e Robin & Ohlsson (1989) são alguns dos que sugerem que concepções ingênuas de força e movimento espelham o fundamento da dinâmica aristotélica. Bartov demonstrou que concepções intuitivas a respeito dos processos biológicos são altamente teleológicas (Bartov 1978). Outros tendem a considerações do tipo de Lamarcke sobre a herança genética na criança (Brumby 1979). Os autores Mas, Perez e Harris (1987) realizaram um estudo sobre as crenças adolescentes em química manifestadas por estudantes que haviam cursado até cinco anos de química na escola. Um número significativo deles ainda apresentava a crença um tanto aristotélica de que

os gases não possuem massa, apesar da constante exposição ao ensino da hipótese atômica dos gases.

Essa última questão, a persistência de crenças ingênuas ou intuitivas, mesmo quando o ensino de ciências demonstra o contrário, gerou trocas bastante fecundas entre professores, psicólogos, filósofos e historiadores, como Carey ansiava (A conclusão de McCloskey (1983) de que 80% dos estudantes universitários de física ainda acreditavam em *impetus* é exemplo de muitos estudos dessa natureza).

## VI. A idealização em ciência

Há claramente algo de fundamental importância para a compreensão do processo de cognição nessa resistência de certas crenças à instrução. Uma questão filosófica é a natureza da física clássica (newtoniana) e sua relação com o senso comum e a observação. No ensino de ciências, tem-se ignorado, ou minimizado, com uma frequência maior que a desejável, a ruptura epistemológica existente entre a ciência newtoniana e o senso comum e a realidade quotidiana que nos envolve, de modo que se criou um enigma no que tange à aparente incapacidade do sistema de ensino para ensinar o que deve. A subestimação dessa dissociação epistemológica em relação à realidade quotidiana exigida pela mecânica clássica prevalece especialmente entre aqueles professores (a maioria) que seguem teorias empiricistas em ciência. De uma certa forma, isso equivale ao fracasso dos antigos “campeões” empiricistas de Newton em compreender corretamente a verdadeira natureza da Revolução Científica que se processava ao seu redor: uma revolução que dependia mais de idealização, de análise matemática e de experimentos com base teórica sólida do que das observações pacíficas tão apreciadas pelos filósofos empiricistas e pelos autores dos capítulos introdutórios de livros de ciências (Mittelstrass 1972).

Na virada do século, Duhem já alertava contra o perigo de se fundamentar o ensino de ciências no senso comum, observando que:

*À luz do senso comum, está claro agora que um corpo, na ausência de qualquer força atuando sobre ele, move-se sempre numa linha reta com uma velocidade constante? Ou que um corpo sujeito a um peso constante, ao cair, sofre aceleração constante em sua velocidade? Ao contrário, tais opiniões afastam-se surpreendentemente do conhecimento do senso comum: para que se chegasse a tais opiniões, foi necessário que se levasse em conta os esforços acumulados, por mais de mil anos, de todos os gênios da dinâmica (Duhem 1954, p. 263).*

Setenta anos depois, as questões pedagógicas levantadas pela dissociação entre ciência e senso comum voltam a receber atenção daqueles educadores que detêm algum conhecimento sobre história e filosofia da ciência. Champagne e outros colocaram a questão da seguinte forma: “a arduidade de se aprender mecânica é expressa pelo esforço exigido à medida que os estudantes passam de um paradigma de pensamento a outro. E mudar o paradigma de pensamento não é fácil de se conseguir, nem no empreendimento científico, nem nas mentes dos estudantes.”(Champagne et al., 1980, p. 1077). Porém, mesmo quando a mudança de paradigma é reconhecida, ainda se corre o risco de subestimar-se o efeito que a aprendizagem e a aceitação deste novo paradigma, tão discordante tanto do senso comum como da observação, exercem sobre os estudantes. A “mudança de paradigma” da mecânica medieval à clássica e da compreensão quotidiana à científica não é uma mera questão de levar o estudante a ver as coisas de maneira diferente. Mas esta é ainda uma forma aristotélica/empiricista de se colocar a questão: ver simplesmente não é tão importante quanto quer a tradição.

O entusiasmo de tantos educadores e filósofos da ciência pelo problema do pato/coelho proposto por Kuhn, pelo problema da mulher jovem/velha proposto por Hanson, por figuras escondidas e ambíguas, pelas idas e vindas da gestalt e por outras formas semelhantes de se representar a importância que a teoria exerce sobre a observação ou a importância da mente sobre a percepção é compreensível, porém tem aplicação limitada na compreensão da revolução científica. Ao contrário do que tais caracterizações sugerem, a observação simplesmente não desempenhou um papel tão relevante. Falar-se que a observação depende da teoria é interessante e até serve a certos propósitos pedagógicos, mas não ajuda a elucidar a revolução científica ou a ciência moderna. Não é ver as coisas sob um outro prisma, mas é construir objetos idealizados e representá-los e manipulá-los matematicamente que constitui a diferença da “nova ciência de um assunto muito antigo”, nas palavras usadas por Galileu na introdução de seu *Duas Novas Ciências*. Galileu não “via” esferas num plano inclinado como círculos incolores em tangentes, ele as via como qualquer outra pessoa; porém ele as descreveu de outra forma e usou suas descrições matemáticas num novo aparato teórico. Da mesma forma, Newton não “via” pêndulos como massas pontuais na ponta de fios sem peso, ele também os via como qualquer outra pessoa; mas os descreveu diferentemente e também usou essas novas descrições como elementos para um novo aparato teórico. Portanto, o ensino de ciências deve desenvolver a habilidade de observação, mas não se deve atribuir a tal habilidade a relevância que freqüentemente se lhe atribui (Norris, 1985).

Um exemplo bastante simples ilustra a magnitude da tarefa. Todo estudante de física aprende mecanicamente a lei do isocronismo do pêndulo: o período da uma oscilação é idêntico ao de qualquer outra, independentemente da amplitude e da massa

do pêndulo. No PSSC, o estudante não precisa ir além da página quatro para aprender essa lei, supostamente descoberta por Galileu ao olhar para um lustre oscilante enquanto contava sua pulsação. Entretanto, ninguém tem dúvidas de que um pêndulo qualquer, de qualquer comprimento e massa, se posto em movimento, logo irá parar. Isto é uma prova conclusiva de que pêndulos não são isocrônicos: o período da última oscilação não é o mesmo da primeira; um pêndulo realmente isocrônico oscilaria indefinidamente. Como podemos conciliar a lei com a observação? Normalmente se diz: “Esqueça o que vê e aprenda a lei.” O que é uma forma mais sofisticada de se dizer: “A ciência não lida com esses tipos de pêndulos que você usa, mas sim com pêndulos ideais para os quais não há atrito e pressão e onde o fio não possui peso, etc.” Isso satisfaz ao professor de ciências com conhecimento em HFS, mas será que satisfaz ao estudante?

Schecker (1988, NT: reproduzido na revista original) abordou algumas dessas questões de uma forma interessante. Ele reconhece que o “maior progresso da física de Galileu/Newton foi libertar o pensamento das fronteiras da experiência direta e sensorial. (...) Os fenômenos diretamente perceptíveis e mensuráveis são representações imperfeitas da ‘ordem’ real, alcançada apenas pela idealização” (p.217). Ele pediu a 254 estudantes secundaristas que comentassem a seguinte afirmação:

*Em aulas de física há com frequência pressupostos ou experimentos de pensamento tais como eliminar-se completamente a resistência do ar e outros fatores de atrito ou mesmo presumir um movimento linear infinito, que, obviamente, não podem ser concretizados em experimentos reais.*

Os alunos deveriam responder se o método era útil ou não. 11 % dos alunos disseram que era inútil: “Por que eu deveria levar em conta algo que não existe?”; um grupo numeroso, quase 50%, respondeu que era útil, porém apenas para a física, que não lidava com a realidade: “Não preciso trazer tudo para a realidade. Só estou interessado na física.”; apenas cerca de 25% dos alunos conseguiam compreender de alguma forma o método da idealização em ciência.

A história do estudo do movimento pendular (Matthews, 1987, 1990) pode dar esclarecimento filosófico a essas questões pedagógicas, especialmente a descoberta paradoxal de que os alunos não acreditam que a física lide com a realidade empírica. Galileu acreditava que sua descoberta do isocronismo era fundamental para toda a nova física. Não obstante, suas “descobertas” foram vigorosamente negadas por Guilobaldo del Monte, que era o próprio patrono de Galileu e a quem Stillman Drake descreveu como “o maior perito em construção de máquinas do século XV”. Essa discussão traz em seu bojo a cisão epistemológica entre a antiga ciência aristotélica, empírica, e a nova

ciência ideal, matemática e experimentalista da Revolução Científica. Del Monte teimava com Galileu que os pêndulos que testara não eram isocrônicos: pêndulos de cortiça e os de latão não apresentavam o mesmo período de oscilação, os longos e os curtos também não e todos os pêndulos paravam após duas ou três dezenas de oscilações. Galileu respondeu que tais resultados se aplicavam apenas a pêndulos reais e que se pêndulos ideais fossem estudados (onde fossem eliminados o atrito, a resistência do ar e o peso do fio), descobrir-se-ia que eles eram, de fato, isocrônicos. Galileu chegou a essa lei do isocronismo por meio de cálculo matemático (especificamente geométrico). Del Monte argumentava que a matemática era ótima, mas não era física: a física deveria lidar com o mundo real e não com um mundo ideal. Além de del Monte, Huygens e uma multidão de outros não acreditavam nas afirmações de Galileu sobre o movimento isocrônico do pêndulo. Huygens chegou a afirmar que Galileu devia ter inventado os experimentos ao invés de realizá-los de fato. Por tudo isso, não é de admirar que os estudantes cheguem aos resultados de del Monte, e não aos de Galileu, quando seus professores pautam-se num método de descoberta simples e sem rigor. Um pouco de história da ciência pode preparar os professores para esse resultado. Um pouco de filosofia da ciência pode auxiliar os professores a interpretarem os resultados para os alunos.

Há uma diferença entre os objetos do mundo real e os objetos teóricos da ciência. Confundir os primeiros com os últimos é confundir a ciência aristotélica com a newtoniana. Di Sessa observou sobre o fracasso da descoberta-aprendizagem comum concluindo que “parece que muito poucas matérias, se é que houve alguma, tinham conseguido extrair o caracteristicamente newtoniano a partir do mundo cotidiano (...) os experimentos de pensamento devem ser mais úteis do que ‘brincadeiras inconseqüente’” (1982, p. 62). Esperar que os estudantes aprendam qualquer coisa newtoniana a partir de brincadeiras inconseqüentes com objetos é subestimar a revolução epistemológica lançada por Galileu e Newton; além disso, também representa a subestimação dos problemas pedagógicos envolvidos na compreensão da visão de mundo científica clássica. Brincar com, ou olhar longamente para, objetos materiais reais não vai gerar as massas pontuais, os corpos inertes, as definições de força, a geometria e o cálculo que são partes essenciais dos objetos teóricos da mecânica. Os primeiros são considerados pela ciência apenas quando descritos em termos dos últimos. Uma vez assim ordenados, e dentro do sistema, podem ser manipulados pelo aparato conceitual da ciência.

Algumas questões dessa natureza são discutidas por Steinberg, Brown e Clement em detalhado estudo histórico/filosófico sobre “As dificuldades conceituais que atrapalham Isaac Newton e os estudantes de física contemporânea” (1990). Já o tópico um tanto negligenciado dos experimentos de pensamento no ensino de

ciências é discutido por Helm, Gilbert e Watts (1985), Stinner (1990), Winchester (1990) e Matthews (1989a).

As questões filosóficas relativas à idealização e à abstração em ciência têm, obviamente, implicações para os conceitos errôneos generalizados (Helm, 1980), ou concepções alternativas (Driver e Easley, 1978), ou mesmo concepções ingênuas na literatura do ensino de ciências. Voltando-se a del Monte, ele não tinha concepções errôneas sobre o movimento pendular; sua concepção era errônea apenas no que tangia à visão que a nova ciência tinha desse movimento. Normalmente se diz que os aristotélicos tinham concepções errôneas sobre o mundo real, quando seria mais preciso dizer-se que eles tinham concepções errôneas sobre o mundo projetado e construído por Galileu e Newton, isto é, sobre os objetos teóricos da nova ciência e não sobre os objetos materiais que os circundavam. A questão filosófica tem implicações também para a descrição do conflito cognitivo piagetiano da mudança conceitual: está claro que a experiência não vai gerar o conflito cognitivo supostamente responsável pela mudança conceitual. Para se repetir o que já foi dito, a experiência é extremamente aristotélica. Tanto que um famoso historiador da Revolução Científica comentou que “observação e experiência (...) tinham um papel insignificante na edificação da ciência moderna; poder-se-ia até mesmo dizer que representavam os principais obstáculos encontrados nesse caminho” (Koyré, 1968, p.90). O reconhecimento da idealização em ciência levanta muitas questões nessa área: o que é uma concepção errônea? Será que o mundo real é a pedra de toque sobre a qual avaliamos nossas concepções ou será que a pedra de toque é apenas mais uma conceitualização do mundo? A questão da idealização vem sendo tratada com certo atraso pela literatura de HFS e de ensino de ciências.

Floden *et al.* (1987) discutiram os problemas pedagógicos que advêm da ruptura existente entre o ensino de ciências e a experiência quotidiana. Garrison e Bentley (1990) desenvolvem o tema num debate acerca da importante teoria da mudança conceitual de Posner *et al.* (1982). Ginev fornece uma descrição bastante sofisticada dos currículos de ciências construídos sobre o reconhecimento de que “O próprio processo de idealização é considerado como a *differentia specifica* epistemológica da ciência.” (1990, p. 65).

A história e a filosofia podem dar às idealizações em ciência uma dimensão mais humana e compreensível e podem explicá-las como artefatos dignos de serem apreciados por si mesmos. Isto é importante para os estudantes que estão sendo apresentados ao “mundo da ciência”. A incapacidade de apreciar o que exatamente é a idealização, e o que não é, tem sido a base de muita crítica anti-científica. É claro que a idealização newtoniana foi o alvo da reação romântica para quem (Keats, Goethe, etc.) a riqueza do mundo da experiência vivida não era capturada pelas massas pontuais

insípidas de Newton. No século XX, Marcuse, Husserl, Tillich e outros lançaram variadas versões dessa mesma acusação. O famoso educador alemão, Martin Wagenschein (1962), escreveu sobre essa dicotomia que há no âmago do ensino de ciências. O ponto a ser ressaltado aqui é o fato de que objetos teóricos da ciência não devem ser explicações para os objetos materiais do mundo, pelo menos não no sentido de serem representações desses últimos.

Um professor de ciências com conhecimento de HFS pode auxiliar os estudantes a compreender exatamente como a ciência apreende, e não apreende, o mundo real, vivido e subjetivo. Porém, o mais comum é que o estudante fique sujeito à infeliz escolha entre renunciar ao seu próprio mundo por ser uma fantasia, ou renunciar ao mundo da ciência pela mesma razão. Mais uma vez tomando por base Mach, o mundo dos fenômenos vividos é vital para a educação em ciência, pois é nele que a curiosidade e a fascinação começam, mas ele não deve ser confundido com um mundo inerte, ou um mundo de gases ideais. Algumas dessas questões são discutidas por Eger (1972) e Passmore (1978).

## VII. A filosofia da ciência e o ensino de ciências

Há dez anos, Ennis divulgou uma revisão abrangente da literatura americana sobre filosofia da ciência e o ensino de ciências (o único artigo sobre ensino de ciências que apareceu numa revista de filosofia da ciência por décadas), no qual observava melancolicamente que: “Com algumas exceções, os filósofos da ciência não mostraram muito interesse explícito nos problemas do ensino de ciências” (Ennis, 1979, p. 138). Nesse artigo, a Inglaterra e a contribuição significativa de Whitehead foram negligenciadas – cf. Birch a esse respeito (1988). Se Ennis podia, naquela época, contar o 'número de tais filósofos nos dedos de uma só mão – Dewey, Scheffler, Martin, Margenau, Nagel -, agora, felizmente, eles podem ser contados em pelo menos duas mãos. Alguns nomes que podem ser acrescentados são os de Siegel, Harre, Buchdanl, Ruse e Pitt. Dentre os educadores, Richard Duschl, nos Estados Unidos, Derek Hodson, na comunidade britânica e Walter Jung, na comunidade europeia, recentemente urgiram mais cooperação com os filósofos da ciência.

O filósofo que mais contribuiu para a abertura do diálogo entre HFS e ensino de ciências foi Michael Martin em seu livro bastante popular *Conceitos de educação em ciências* (1972). Ambos Ennis e Martin eram filósofos analíticos. Em cinco capítulos que versam respectivamente sobre Indagação, Explicação, Definição, Observação e Metas, Martin fornece ampla evidência da utilidade da filosofia para o

aprimoramento do ensino, dos textos didáticos e do estabelecimento de planos e objetivos para os cursos de ciências.

Há dois exemplos que dão noção da extensão da contribuição de Martin. Ele observa que a explicação é central para o ensino de ciências e que o conceito é recorrente nos livros, especialmente no BSSC *As ciências biológicas: uma indagação para a vida* e no ESCP *Investigando a Terra*; entretanto, nenhum dos dois livros presta atenção à discussão sobre o que é uma explicação científica e como diferenciar as boas explicações das ruins. Ele ressalta que uma elaboração elementar do modelo de lei global e dos modelos estatístico - probabilísticos não faria mal algum; ao contrário, provavelmente faria muito bem. No último capítulo, ele reproduz um rol de objetivos para o ensino de ciências extraídos do relatório *A educação e o espírito da ciência* (1966) da respeitada Comissão para Políticas Educacionais americana, cuja terceira meta estabelecida para o ensino de ciências afirma que:

*A sede de saber é a motivação para aprender; dados e generalizações são as formas que o conhecimento assume. Generalizações são produzidas a partir de uma série de informações desordenadas que são agrupadas pela observação conduzida de forma tão precisa quanto as circunstâncias permitirem.*

Ao contrário do que diz a meta, Martin ressalta que algumas teorias científicas não são generalizações, que a maior parte das hipóteses científicas não são geradas por indução e, sobretudo, que a observação requer a teoria.

Essa última questão, a falta de consciência de que a observação depende da teoria, e suas implicações, ilustram bem a lamentável separação que há entre os filósofos da ciência, os professores de ciências e os organismos consultivos do governo. O relatório intitulado *O espírito da ciência* foi publicado em 1966. Naquela época, o indutivismo já havia sido completamente superado na filosofia da ciência: os Padrões da descoberta científica de Hanson tinham aparecido em 1958, a *Lógica da descoberta científica* de Popper tinha sido traduzida em 1959, a *Previsão e compreensão* de Toulmin aparecera em 1961, a *Estrutura das revoluções científicas* de Kuhn, em 1962. Havia abundância de material acessível, para não falar do material disponível do outro lado do Atlântico (Bachelard), além de material antigo (Collingwood, Fleck) que poderiam ter sido usados para melhor embasar as deliberações de um organismo americano de tão elevada ordem, prestes a lançar um relatório importantíssimo sobre o ensino de ciências. Ao invés disso, todo esse material foi ignorado e slogans dúbios foram criados sem qualquer sugestão de que fossem discutíveis, e muito menos de que provavelmente fossem falsos.

Não eram apenas os relatórios do governo que sofriam de uma deplorável ignorância quanto aos avanços na filosofia da ciência. Robert Gagne, um dos mais respeitáveis teóricos da aprendizagem nas décadas de sessenta e setenta, famosa figura por trás dos currículos de aprendizagem por indagação em ciências, em 1963, emprestou seu enorme prestígio a uma visão questionável de indagação científica onde:

*um conjunto de atividades que começa com um conjunto cuidadoso de observações sistemáticas, seguido do planejamento das medidas exigidas, distinguindo claramente entre o que é observado e o que é inferido (...) e tira conclusões razoáveis. (Gagne, 1963, em Hodson, no prelo).*

Inúmeros projetos curriculares NSF do início das décadas de sessenta, e o esquema Nuffield na Inglaterra, na mesma década, sofreram da mesma ignorância quanto aos avanços da filosofia da ciência, divulgando uma abordagem de ciência dita nova, mas que reproduzia os métodos indutivos da própria ciência. O slogan de Bruner, “produza cientistas levando estudantes a serem cientistas”, seria admirável se os professores e aqueles que criavam os currículos tivessem uma noção razoável do que significa ser um cientista. Porém a maioria deles limitava-se a aceitar a mitologia indutivista dos livros-texto. Stevens (1978), Forge (1979) e Duschl (1985) escreveram sobre os pressupostos filosóficos desses currículos Nuffield e NSF.

Se documentos que estabelecem diretrizes, teóricos líderes em educação, currículos e livros-texto incorporam e divulgam, sem qualquer crítica, certas posições filosóficas, não é de surpreender que os professores de ciências façam o mesmo em sala de aula. A postura teórica do professor sobre a natureza da ciência (sua própria epistemologia) pode ser transmitida de forma explícita ou implícita. Essa epistemologia afeta o comportamento do professor em sala de aula (Robinson 1969). Muitos estudos recentes preocupam-se com a maneira como essa epistemologia é formada, que efeitos ela tem sobre a prática do professor e como ela contribui para a imagem que os estudantes têm da ciência: Abell (1989), Rowell & Cawthron (1982), Jacoby & Spargo (1989), Lederman & Zeidler (1987) e Koulaidis & Ogborn (1989). Esse tipo de pesquisa assume relevância maior à medida que esquemas do tipo dos Currículos Nacionais Britânicos, do Projeto 2061 e outros entram em vigor, trazendo tópicos como “A natureza da ciência” como parte integrante dos currículos.

A epistemologia do professor é formada assistematicamente, isto é, ela é construída a partir do processo de educação via leitura de livros-texto descrito por Kuhn. Por isso, consiste de preconceitos generalizados que não são abalados pela informação histórica, ou pela análise filosófica. Em apenas duas das 55 instituições que formam professores de ciências na Austrália um curso em HFS é obrigatório. Dos

quinze melhores centros formadores de professores de ciências nos Estados Unidos, apenas a metade exige um curso em filosofia da ciência (Loving, 1992); a proporção deve ser ainda menor nas outras centenas de centros de formação. A situação no Reino Unido também não é otimista.

### **VIII. HFS e a formação do professor**

Muitos têm argumentado que HFS deveria fazer parte da formação dos professores de ciências – a publicação britânica Relatório Thompson de 1918 já dizia que “algum conhecimento de história e filosofia da ciência deveria ser parte da bagagem intelectual de todo professor de ciências de escola secundária” (p. 3). Um argumento a favor da HFS é o fato de esta promover um ensino de melhor qualidade (mais coerente, estimulante, crítico, humano, etc.). Esse argumento vantajoso não é o único: pode-se argumentar a favor de um professor que tenha conhecimento crítico (conhecimento histórico e filosófico) de sua disciplina mesmo que esse conhecimento não seja diretamente usado em pedagogia – há mais em um professor do que apenas aquilo que se pode ver em sala de aula.

Michael Polanyi defendeu o ponto de vista óbvio de que HFS deveria ser parte da educação em ciência tanto quanto a crítica literária e musical fazem parte da educação literária e musical (Harre, 1983, p. 141). Seria, no mínimo, esquisito imaginar um bom professor de literatura que não tivesse conhecimento dos elementos da crítica literária: a tradição que discute o que tem, ou não, valor literário, como a literatura se relaciona com a sociedade, a história dos gêneros literários, etc. Da mesma forma, também deve ser estranho imaginar um bom professor de ciências que não detenha um conhecimento razoavelmente sólido da terminologia de sua própria disciplina – “causa”, “lei”, “explicação”, “modelo”, “teoria”, “fato” –; ou nenhum conhecimento dos objetivos muitas vezes conflitantes de sua própria disciplina – descrever, controlar, compreender-; ou mesmo nenhum conhecimento da dimensão cultural e histórica de sua disciplina. Israel Scheffler discutiu exatamente essa questão num trabalho publicado em 1970 e que tem sido bastante ignorado. Isto é um dos itens que diferenciam ser instruído em ciência de ser simplesmente treinado em ciência: professores de ciências precisam de instrução. A HFS contribui claramente para essa maior compreensão da ciência.

Esse é um ponto convergente na volumosa literatura sobre a capacidade de ler e compreender ciência: se ter essa capacidade é compreender em profundidade as palavras e os conceitos do discurso, então a história e a filosofia da ciência contribuem claramente para desenvolver uma capacidade mais profunda e crítica (Miller, 1983).

Advogar em prol da importância da história e da filosofia da ciência para professores de ciências não é novidade. As páginas iniciais de um livro de 1929 destinado a professores de ciências descrevem o professor bem sucedido como aquele que:

*conhece sua própria matéria (...) lê muito sobre outros ramos da ciência (...) sabe como ensinar (...) é capaz de expressar-se claramente (...) possui capacidade de manipulação (...) é criativo tanto nas aulas teóricas como nas práticas (...) possui raciocínio lógico (...) tem um quê de filósofo (...) tem certas qualidades de historiador que lhe permitem sentar-se com um grupo de rapazes para falar das equações pessoais, das vidas e da obra de gênios como Galileu, Newton, Faraday e Darwin (citado em Sherrant, 1983, p. 418).*

Esse ideal é relevante hoje em dia. Como já foi dito, os novos currículos que vem sendo desenvolvidos e implementados na Grã-Bretanha, nos Estados Unidos, na Dinamarca e no Canadá exigirão exatamente que tais qualidades sejam bem desenvolvidas no professor. Os episódios da história da ciência e as questões acerca da natureza (filosofia) da ciência são parte integrante desses currículos. Além disso, na Grã-Bretanha, nos Estados Unidos, na Austrália assim como em qualquer outro lugar, já há esforços para identificar professores de ciências de destaque e para avaliar os professores de uma forma geral. Para tanto, é necessário delinear-se as qualidades de um bom professor. Por isso, cada vez mais tem-se exigido alguma competência em e familiaridade com tópicos de HFS.

Nos Estados Unidos, o Projeto Nacional de Avaliação de Professores, na mesma linha de Stanford, com o apoio financeiro do projeto Carnegie, e dirigido por Lee Shulman, é o mais importante programa de avaliação de professores que há. Os critérios usados para julgar a competência do professor são intelectuais; rejeitam-se os critérios comportamentalistas e administrativos de competência usados há muitos anos e mantidos como relíquias para avaliação da práxis. Shulman questiona sobre o “paradigma que falta” – o domínio do conteúdo da matéria – e a habilidade de torná-lo inteligível para os alunos, habilidades que exigem a visão mais ampla que a HFS fornece. Em uma de suas publicações mais influentes, Shulman comentou que:

*Pensar apropriadamente sobre o conhecimento do conteúdo requer que se vá além do conhecimento de fatos ou conceitos da área; requer que se compreenda as estruturas da matéria (...) O professor deve não apenas ser capaz de definir aquilo que é aceito como verdade na área, mas também deve ser capaz de explicar porque uma dada proposição é considerada definitiva, porque deve-se aprendê-la e como ela se*

*relaciona a outras proposições; tudo isso tanto na própria matéria como fora dela e, também, na teoria e na prática. (Shulman, 1986, p.9).*

Explicar porque uma dada proposição é considerada definitiva – a lei da inércia, o princípio da conservação da energia, a teoria da evolução, a teoria da flutuação dos continentes, as descrições da estrutura atômica, etc. – exige que se conheça alguma coisa sobre a forma como a evidência se relaciona com a estimativa teórica; o que vem a ser a tarefa normal da epistemologia. As idéias de Shulman encontram eco nas instruções para avaliação do Comitê Nacional de Padrões Profissionais para o Ensino – *O que os professores devem saber e serem capazes de fazer* (1989).

Um pacote para avaliação de professores de biologia que foi desenvolvido pelo projeto Carnegie visa a avaliar a compreensão que o professor tem da natureza da ciência, seus processos e determinantes. Em suas palavras, “Será que os professores possuem uma concepção rica do empreendimento científico como uma interação dos fatos, leis e teorias da área, têm domínio das habilidades necessárias para a construção de tal conhecimento e reconhecem que esse conhecimento é simultaneamente influenciado por e sofre influência da sociedade?” (Collins, 1989, p.64).

Na medida em que história e filosofia da ciência se tomam um componente reconhecidamente válido para a formação do professor é oportuno colocar a seguinte questão: *que tipo* de cursos de HFS são apropriados? A literatura recente contém registros de inúmeros cursos desse tipo, além de reflexões acerca do grau de adequação de cada um. Há, contudo, um consenso de que, para que tais cursos sejam de relevância para o futuro professor, eles devem ser cursos aplicados ou práticos. Não é recomendável que estudantes sejam simplesmente encaminhados aos departamentos de filosofia em busca de HFS. Para usar as palavras de Bevilacqua, que tem promovido a HFS entre professores na Itália, esses cursos acabam por se tomarem apenas “mais um tijolo na parede”, ou seja, uma tarefa a mais para ser cumprida antes de se começar a ensinar. Os cursos em HFS devem começar explorando os problemas que os professores consideram pertinentes ao desenvolvimento de sua práxis profissional. Johnson & Stewart (1990), Eger (1987), Bybee (1990), Bakker & Clark (1989) e Ruse (1990) oferecem descrições de cursos concebidos dessa maneira.

O curso que eu próprio venho aplicando com sucesso há alguns anos (Matthews, 1990b) é baseado numa seleção de escritos de Galileu, Boyle, Newton, Huygens e Darwin dentre outros. Descobri, não com surpresa, que os professores gostam de terem a oportunidade de ler algumas dessas obras. Porém, descobri que, num grupo de centenas de graduados em biologia, apenas um punhado deles havia lido qualquer texto de Darwin; quanto às centenas de graduados em física, não encontrei

nenhum que tivesse lido qualquer texto de Galileu ou Newton. Nas palavras de um professor, “os professores estão sedentos por esse tipo de conhecimento”. As questões filosóficas – realismo, instrumentalismo, autoridade, reducionismo, causalidade, explicação, idealização, etc. – são tratadas e desenvolvidas à medida que nascem do próprio texto. A maioria dos textos usados já foram publicados (Matthews, 1989b).

## **IX. Alguns temas atuais**

Ennis, em 1979, listou seis áreas de preocupação para professores de ciências que seriam beneficiadas pela atenção da filosofia; são elas: o método científico, critérios para se pensar criticamente sobre as afirmações empíricas, a estrutura das disciplinas científicas, a explicação, julgamento de valores pelos cientistas e o desenvolvimento de testes. Passados dez anos, é bom que se reveja essa lista. Eu proporia os seguintes tópicos: feminismo, construtivismo, ética, metafísica, idealização e racional idade. De uma forma ou de outra essas questões e suas implicações emergiram nas discussões sobre a educação em ciência. Isto não quer dizer, porém, que assuntos mais prosaicos não devam ser discutidos – pesquisas na Austrália demonstraram que cerca de um terço dos estudantes de química cursando o primeiro ano numa certa universidade não sabiam que “afirmar o conseqüente” era raciocínio inválido: acreditavam que se A implica B, e B é o argumento verdadeiro, então A é verdadeiro. Isto sugere que habilidades em lógica elementar e raciocínio não são fora de propósito, mesmo que questões mais complexas não possam ser trabalhadas.

(1) O *feminismo* representa um grande desafio aos pressupostos de ambos o ensino de ciências e a filosofia da ciência. É fato conhecido que as mulheres não dão continuidade aos estudos em ciências. Há uma verdadeira montanha de literatura sobre esse assunto - veja o número especial de 1987 da *Revista Internacional de Educação em Ciências*. Muitos desses estudos são empíricos e lidam com os obstáculos ao progresso e ao interesse da mulher pela ciência. Além disso, há também a questão filosófica que precisa ser respondida. Bleier (1984), Harding (1986), Keller (1985) e Martin (1989), todos discutiram o fato de haver uma tendência machista na própria epistemologia da ciência ocidental. Os educadores em ciências começaram então a prestar atenção a essa crítica. Martin afirmou que: “Traze os comentários críticos sobre distinção sexual para o ensino de ciências significa incorporar o ensino sobre ciência ao ensino da ciência.” (Martin, 1989, p.251). É sabido que ideologias de classe, raça e religião afetaram o rumo da ciência – a genética de Lysenko, hematologistas nazistas que diziam ter encontrado um tipo de sangue judeu e certos aspectos da ciência medieval são exemplos de cada um desses casos. É uma hipótese a priori, porém, possível afirmar-se que a ideologia sexista possa afetar tanto a ciência como a sua

epistemologia. O novo tipo de conhecimento fomentado pelo feminismo, na visão de Harding, é aquele que:

*busca a unidade do conhecimento combinando a compreensão moral e política à empírica. E também busca unificar o conhecimento do e pelo coração àquele que se obtém por e sobre o cérebro e as mãos. Esse conhecimento encara a indagação de forma que esta abranja não apenas a observação mecânica da natureza e de outras coisas mas também a intervenção do esclarecimento moral e político 'sem os quais os segredos da natureza não podem ser desvelados' (Harding, 1986, p. 241)*

Essa é uma reivindicação epistemológica e precisa ser ou defendida ou criticada de maneira apropriada; o que requer a atenção da história e da filosofia da ciência.

(2) O *construtivismo* é a epistemologia dominante entre educadores em ciência, embora isto mereça alguma discussão. Pode-se perceber isso nitidamente nas obras de von Glasersfeld (1989), Novak (1987), Driver (1985) e muitos outros. Um comentário recente identificou as seguintes escolas ou variações do construtivismo: contextual, dialético, empírico, de processamento de informação, metodológico, moderado, piagetiano, pós-epistemológico, pragmático, radical, realista, social e sócio-histórico. Aos quais se pode acrescentar o humanístico (Cheung & Taylor, 1991). O construtivismo, na tradição da teoria piagetiana cognitiva do aprendizado, se opõe ao behaviourismo do tipo skinneriano ou gagneiriano, que por tanto tempo dominaram a educação em ciência. Como na maior parte dessa tradição, sua teoria da mente é fundamentalmente kantiana. A ontologia do construtivismo varia do idealismo radical (especialmente em alguns dos escritos de von Glasersfeld) à teoria popperiana dos três mundos. Sua prática pedagógica é anti-didática e centrada no aluno com ênfase no envolvimento do estudante na identificação do problema, no desenvolvimento da hipótese, no teste e na argumentação.

Há muitas questões filosóficas na teoria do construtivismo que merecem amadurecimento: Que descrição é dada à dimensão social do conhecimento? Quais os critérios usados para a adequação das concepções do aluno: elas são julgadas tomando-se por base as normas aceitas pela comunidade científica, ou em relação às descrições de outros alunos, ou em relação às concepções que o indivíduo tinha anteriormente? Será que há uma certa confusão entre o que é uma prática pedagógica bem sucedida com reivindicações epistemológicas? Driver, em uma de suas publicações, reconhece haver uma tensão na essência da prática construtivista: a tensão entre levar os alunos a construir e atribuírem sentido a suas próprias descrições de algo e levá-los a participarem de uma comunidade científica que possui sua própria teoria e formas de

compreensão (Driver & Oldham, 1986). O primeiro eixo da tensão não emite qualquer julgamento epistemológico, apenas se refere a certos mecanismos psicológicos; o último, sim, emite julgamentos epistemológicos. Professores que se preocupam com os estudantes que adentram e tomam-se peritos nessa esfera do conhecimento coletivo irão precisar ressaltar, via de regra, que as explicações que os estudantes podem projetar e acharem satisfatórias são, de fato, inadequadas. Strike (1987) e Gruender (1989) levantaram algumas dessas questões; Suchting (1992) apresenta uma crítica bastante sagaz.

Um problema profundamente arraigado em grande parte dos escritos construtivistas é que eles continuam a manter uma concepção fundamentalmente empiricista do conhecimento, a despeito de sua tão alegada antipatia a esses pontos de vista. Isso transparece no discurso dos construtivistas quando afirmam que só temos consciência de nossas impressões sensoriais e não podemos ter acesso ao mundo tal como ele é e que o conhecimento é a correspondência entre imagens ou idéias mentais e a realidade; portanto, o *locus* das alegações do conhecimento é o sujeito, o indivíduo. Todas essas são afirmações empiricistas normais. Entretanto, o conhecimento científico exige idealizações que não podem, por definição, espelhar ou corresponder ao mundo real. De forma que, ou se deixa de lado a correspondência como critério para o conhecimento, ou nenhum dos ramos da ciência moderna pode ser aceito como conhecimento. A primeira alternativa parece ser a mais sensata. Porém, se o fizermos, grande parte do argumento construtivista a favor do relativismo cairá por terra.

(3) As questões *éticas* se multiplicam em quase todas as áreas do currículo de ciências. O efeito estufa, a poluição, a extinção das espécies, a engenharia genética, a tecnologia militar e os cientistas que trabalham em indústrias bélicas, o custo e o rumo da pesquisa científica, a energia e a guerra nuclear, e assim por diante, todas são questões que preocupam os estudantes e fazem parte dos novos currículos de ciências. Hoje, questiona-se (cf. Cordero, NT: reproduzido na revista original) e, em muitos lugares, restringe-se bastante o antes tão simples e irrefletido uso de animais em experimentos científicos e em dissecações em laboratório. Uma das metas dos programas de ciências na Nova Zelândia é “o cuidado com os animais” e o reconhecimento de seus direitos. Simultaneamente, no âmbito da filosofia, essas questões têm sido tratadas pela ética aplicada e por cursos de ética ambientalista. Até agora, em parte devido à influência da crença na ciência sem juízo de valor, essas questões vinham sendo ignoradas no ensino de ciências. Mas não podem mais sê-lo.

John Ziman e muitos outros chamaram atenção para o fato de que o ensino ortodoxo de ciências há muito tem difundido um materialismo ingênuo, um positivismo primitivo e uma tecnocracia complacente (Ziman, 1980). Essas posições (ideologias) estão sendo menos aceitas pela intelectualidade hoje. Agora, deve-se encarar as

conseqüências pedagógicas da “Morte da Ciência sem juízo de valores”. O Projeto PLON na Holanda, o projeto SISCON no Reino Unido, vários projetos canadenses (Aikenhead, 1980), as propostas dos cursos STS e do Projeto 2061 nos Estados Unidos são as respostas curriculares mais óbvias. Foi produzida uma considerável literatura a respeito da ética no ensino de ciências (Mendelsohn, 1976, Gosling & Musschenga, 1985). Os professores também podem beneficiar-se por considerarem alguns dos argumentos desenvolvidos por filósofos que consideraram questões semelhantes.

O intercâmbio recente entre as idéias de Eger, Hesse, Shimony e outros (Zygon 23(3), 1988) sobre “racionalidade na ciência e ética” (reproduzido em Matthews, 1991) mostra o que esse tipo de cooperação pode atingir. Eger (1989) também explorou a questão dos “interesses” da ciência, acolhendo pontos que a obra de Habermas e a Escola de Frankfurt formularam para o entendimento do papel social da ciência e das estruturas fundamentais da disciplina.

(4) Questões *metafísicas* emergem naturalmente do objeto da ciência: Einstein se referiu ao cientista como um filósofo em trajes de trabalhador. Os problemas éticos em ciência levantam questões sobre a nossa responsabilidade para com a natureza; responsabilidade essa que advém de uma nova concepção da própria natureza. A visão de mundo mecânica, laplaciana, da ciência newtoniana está sendo posta em cheque pela nova ontologia da natureza. Gotschl (1990) afirma que “O clamor geral por responsabilidade tem como conseqüência uma revolução ética e antropológica paralela à revolução científica e tecnológica.” Os professores devem ter alguma compreensão dos problemas: há um sem número de ontologias antagonistas no mercado a espera de tomar o lugar da visão de mundo mecânica; algumas delas fazem muito mais sentido do que outras. Um professor de ciências bem informado em HFS pode contribuir para uma melhor avaliação dessas ontologias.

Os estudos históricos em ciência delineiam vividamente a independência da ciência e da metafísica. A controvérsia Galileu/ Aristóteles sobre o princípio da causalidade final, a controvérsia Galileu/ Kepler a respeito da teoria lunar das marés, a discussão newtoniana/ cartesiana sobre ação a distância, a discussão newtoniana/ berkeliana acerca da existência de tempo e espaço absolutos, a discussão Newton/ Fresnel sobre a teoria da luz como partícula, a discussão Darwin/ Parley a respeito do finalismo e da seleção natural, a discussão Mach/ Bohr sobre a teoria atômica, a disputa Einstein/ Copenhagen acerca da interpretação determinística da teoria quântica, etc., todas trazem à baila problemas metafísicos. A metafísica encontra-se entranhada na ciência. Peirce afirmara em suas *Nota sobre filosofia, científica* que “Se você encontrar um homem da ciência que se proponha a seguir sem qualquer metafísica (...) você terá encontrado alguém cujas doutrinas estão completamente contaminadas pela metafísica

incipiente e indiscriminada com a qual estão entulhados.” Essas interrelações são exploradas por Wartofsky (1979), Gjertsen (1989) e Matthews (1989b).

Woolnough (1989) discutiu um importante tópico na história da ciência que normalmente é ignorado nos programas de ciências: o papel da crença religiosa na motivação e nas conceitualizações de grandes cientistas. Os estudantes aprendem, muito frequentemente, que Newton descobriu três leis e as suas fórmulas, porém raramente aprendem que Newton comentara ao escrever os *Principia*, o fundamento de toda a ciência moderna: “Eu observava esses princípios como deve fazer todo homem que pondera por crer numa Divindade; e nada pode alegrar-me mais do que saber que isso serviu ao seu propósito” (Thayer, 1953, p. 46). Eles também aprendem amiúde que Boyle descobriu uma lei importante e sua fórmula, porém aprendem com menos frequência que ele deixou em seu testamento uma certa quantia para uma série de palestras públicas “a fim de levar a religião cristã aos infiéis notórios” e que ele acreditava que sua própria filosofia mecânica servia para comprovar a existência de um Criador do universo. Apesar de a história da ciência ocidental ser, em sua maior parte, a história dos esforços de pessoas que viam suas obras como a proclamação da majestade de Deus, não se ouve mais nada a esse respeito no tratamento dispensado a essas figuras e a suas descobertas numa típica aula de ciências. Há, entretanto, muitas histórias interessantes de caráter psicológico, cultural e filosófico que poderiam ser vantajosamente exploradas em sala de aula.

Se a ciência se desenvolveu como um diálogo com a metafísica (para não se falar as intervenções de natureza política, econômica e social), então ensinar ciência como um solilóquio no qual a ciência fala sozinha e evolui apenas pela autocrítica é empobrecer a disciplina.

O conteúdo essencial da ciência também levanta questões metafísicas. O biólogo Charles Birch faz essa afirmação bastante genericamente: “Qualquer professor de ciências acaba por deixar transparecer a sua resposta pessoal à pergunta “Do que é feita a natureza?” (...) Hoje, a principal resposta a essa pergunta é fornecida em termos de um modelo mecanicista da natureza” (Birch, 1988, p. 33) Birch argumenta contra a visão de mundo cartesiana e mecanicista em prol de uma metafísica de processo whiteheadiana. Seguindo as pegadas de Whitehead, ele afirma que “o papel da educação é lidar com fatos e idéias de tal forma que se tenha uma compreensão geral”; a metafísica faz parte dessa compreensão. Thomas Settle tenta resolver, surpreendentemente de uma maneira não técnica, a questão lançada por Birch: “Pode-se evitar o fisicalismo no ensino escolar de ciências?” (1990). Vale ressaltar que esses e outros estudos (Stinner, 1990) estão reavendo as visões filosóficas e pedagógicas de Alfred North Whitehead, publicadas pela primeira vez há sessenta anos em *As metas da educação* (1923).

A abundante literatura gerada pelo Movimento em prol da Filosofia para Crianças sugere que as crianças são capazes de e estão interessadas em ir em busca de questões filosóficas elementares (Lipman & Sharp, 1978, Dawson- Galle, 1990). A aula de ciências fornece muitas oportunidades para fazê-lo.

(5) A *idealização* é o *sine qua non* da ciência matemática moderna, embora seja pouco compreendida pelos professores: raramente está presente nos registros do método científico dos livros-texto e é freqüentemente ignorada por filósofos que conduzem discussões sobre indução, falsificação e comprovação de uma teoria absolutamente esquecidos do fato de que o que está em discussão são leis e teorias idealizadas e, de que a lógica elementar é inadequada para sua avaliação. Além disso, grande parte da literatura sobre aquisição de conceitos usada no ensino de ciências assume uma postura aristotélica na qual as idealizações são tratadas como generalizações empíricas. É óbvio, entretanto, que a aquisição dos conceitos de massas pontuais, superfície sem atrito, estrutura inercial, colisão elástica, corpo rígido, etc. não ocorre nos moldes aristotélicos: elas não nascem da observação de corpos e da produção de traços comuns. A idealização alcançada por Galileu/ Newton representou uma conquista monumental, inquestionavelmente algo que distingue o pensamento humano de toda a cognição animal. Essa conquista deve ser comunicada aos estudantes, pois eles não chegarão a ela simplesmente observando a natureza. Filósofos da ciência poloneses exploraram exaustivamente a lógica e a filosofia da idealização na ciência (Nowak, 1980, Krajewski, 1982).

A colocação bastante feliz de Duhem, “a lógica de uma matéria não é necessariamente a mesma lógica de sua apresentação”, precisa ser lembrada. A história alerta os professores para a necessidade de uma abordagem fenomenalística da idealização: os estudantes devem saber a que se relacionam as idealizações.

(6) Racionalidade é um tópico que une HFS ao ensino de ciências. Em HFS, a racionalidade da mudança da teoria científica, isto é, da história da ciência, tem sido veementemente contestada. Os racionalistas foram sacudidos de seu ócio pela explosão provocada pela *Estrutura de Kuhn*, publicada em 1962, na qual ele afirmava que as transformações científicas dependem menos da persuasão racional do que da psicologia popular e da mortalidade dos mais velhos. No momento em que os filósofos estavam começando a aceitar tais colocações, e também a continuidade dessa tese por Feyerabend (cf. as defesas do racionalismo em Shapere, 1984 e Siegel, 1987), a escola de sociologistas da ciência de Edimburgo – David Bloor, Barry Barnes, Steven Shapin e Michael Mulkay –foi além nas críticas contra o racionalismo em seu programa que tenta dar conta de toda mudança científica em termos externalistas (para algumas das exposições e críticas principais cf. Brown, 1984). Essas são as principais reivindicações

que se impõem ao ensino de ciências muito racional e que merecem atenção dos professores.

Dentre educadores, o tópico do pensamento crítico – o que é? Como pode ser estimulado? Será que pode ser transplantado de uma disciplina a outra? – tem sido também uma área bastante atacada. Está claro que uma discussão sobre pensamento crítico dissociado do pensamento científico é bastante obtusa. Siegel (1989) defende a racionalidade e a apresentação de razões como os indicadores da qualidade e da legitimidade do ensino de ciências contra os dogmatistas, de um lado, e os irracionistas feyerabendianos, do outro. Eger (1990) retoma a questão de como tal concepção abre espaço para o papel do compromisso, ou da fé, que foi tão significativo para o desenvolvimento da ciência.

## **X. Conclusão**

Apresentei aqui um relato do que vejo como uma confluência emergente de temas em ciência, filosofia, história e ensino de ciências, que representam uma imagem mais rica e multicolor da ciência do que aquela que tem normalmente aparecido nos livros e nas salas de aula. Novos currículos têm tentado levar essa figura mais rica às salas de aula. O seu sucesso dependerá, em primeiro lugar, de introduzir-se cursos de história e filosofia da ciência apropriados à formação dos futuros professores e também dos profissionais já atuantes. A ciência é uma das maiores conquistas da cultura humana. Portanto, o ensino de ciência, para usar as palavras do relatório de 1918 da Associação Britânica para o Progresso da Ciência, deveria comunicar “mais sobre o espírito e menos sobre o vale dos ossos secos” dessa conquista. Se isso for feito, então pode-se iniciar a superação da atual crise intelectual e social do ensino de ciências.

## **Notas**

1. O presente artigo é uma versão ampliada de um outro que apareceu originalmente em *Studies in Science Education* 18, 1990. Ele representa uma visão do atual estado dos estudos sobre a relação da história e da filosofia com o ensino de ciências. Essa visão é, obviamente, parcial; outros concentrarão esforços em diferentes problemas.

Abrangendo tantas questões em áreas como história da ciência, filosofia da ciência, história do ensino de ciências e os atuais desenvolvimentos no ensino de ciências, é provável que não se tenha feito justiça a nenhum problema específico. Por isso, quando da publicação dessa revista, ainda será oportuno tentar-se dar algum sentido à literatura e às questões relevantes para cada comunidade científica distinta a serviço das quais a revista se coloca.

Pretende-se publicar em breve um artigo semelhante a respeito do ensino de matemática.

A pesquisa foi possível graças ao apoio da Universidade da Nova Gales do Sul. Foi enriquecida pela cooperação de muitos estudiosos do mundo inteiro cujos manuscritos eu li para publicação em números especiais de revistas especializadas que tenho editado nos últimos anos e de cujos conselhos e opiniões beneficiei-me.

2. O Currículo Nacional Britânico está documentado em NCC (1988). É discutido por Akeroyd (1989), Solomon (1990) e Ray (1990). O currículo dinamarquês, em “A história e tecnologia da ciência”, é discutido por Nielsen & Nielsen (1988) e Nielsen & Thomsen (1990). Na Holanda, há um curso denominado “A física na sociedade” desde 1981, cf. Eijkelhof & Swager (1983); e, desde 1972, vários materiais gerados pelo projeto PLON (Projeto de Desenvolvimento de Currículo em Física, Caixa Postal 80.008, 3508 TA Utrecht) têm incorporado uma dimensão HFS. As propostas do Projeto 2061 estão contidas em AAAS (1989), e são discutidas por Stein (1989). A discussão dos programas STS e um guia para a literatura podem ser encontrados em McFadden (1989).

3. A conferência foi fundamentada em seis revistas especializadas contendo 55 artigos: *Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 1988; *Interchange* **20**(2), 1989; *Synthese* **80**(1), 1989; *Studies in Philosophy and Education* **10**(1), 1990; *International Journal of Science Education* **12** (3), 1990; e *Science Education* **75**(1), 1991. Um conjunto de mais dois volumes de continuação foi publicado (Herget 1989, 1990). Uma seleção de artigos, juntamente com alguns outros, foi publicada como um livro (Matthews 1991).

4. Para as Atas das conferências veja Bevilacqua & Kennedy (1983), Thomsen (1986) e Blondel & Brouzeng (1988).

5. Os escritos do século XIX de Ernst Mach sobre o ensino de ciências são tão abrangentes e estimulantes quanto ignorados. Pode-se encontrar uma introdução aos seus pontos de vista em Matthews 1989a.

6. Albert Einstein fornece uma confirmação dramática da visão de Mach sobre a crença da utilidade da investigação histórica. Em seu ensaio autobiográfico, ele comenta como, em fins do século XIX, os físicos jamais se cansaram de tentar fundamentar a teoria do eletromagnetismo de Maxwell em princípios mecânicos. Ele afirma que “foi Ernst Mach que, em sua História da mecânica, abalou essa fé dogmática; esse livro exerceu uma profunda influência sobre mim quando era estudante” (Schlipp, 1951, p. 21). Esse foi o catalisador que permitiu que Einstein “entrasse numa crítica da mecânica como o fundamento da física”.

7. Schwab tinha antigas ligações com a Universidade de Chicago e estava imbuído na sua tradição de “grandes livros”. Independentemente de Kuhn, embora fosse seu contemporâneo, ele enunciou uma distinção entre períodos “fluidos” e “estáveis” da

investigação científica, que equivale à distinção mais conhecida que Kuhn fez entre a ciência “normal” e a “revolucionária”. Ele teve um envolvimento profundo com a teoria e a prática da educação comparável ao de outro educador-filósofo de Chicago, John Dewey. Uma seleção de seus artigos pode ser encontrada em Ford & Pugno (1964) e uma lista de suas publicações, em Dublin (1989).

8. Brush pode ser contactado em The Institute for Physical Science and Technology, University of Maryland, College Park, MD 20747, USA. Cf. seus trabalhos de 1988a, b para materiais de sala de aula e o de 1989 para uma resenha desse campo.

9. Pode-se encontrar uma resenha dos problemas e da literatura de historiografia da ciência em Kragh (1987). Veja, inicialmente, a respeito das ligações entre a filosofia e a história da ciência, as obras de Giere (1973), McMullin (1975) e Wartofsky (1976).

10. Tem-se discutido se a lei da recapitulação foi desenvolvida para ser aplicada a problemas biológicos ou conceituais. Piaget, oportunamente, nega uma recapitulação biológica, afirmando “Vamos evitar de voltarmos à idéia simplista de um paralelismo necessário entre o desenvolvimento da raça e o do indivíduo, um paralelismo que os biólogos já demonstraram ser equivocado e conjectural (em Kitchener, 11.1986, 6). Ele tem um compromisso maior com uma forma de paralelismo conceitual, e sustenta que mecanismos semelhantes estão envolvidos tanto na transformação da teoria científica quanto na mudança conceitual individual: descentralização, assimilação-acomodação, equilíbrio, construtivismo, etc. Alguns itens dessa literatura são resenhados por Siegel (1982).

## Referências

AIKENHEAD, G. S.: 1980, *Science in Social Issues: Implications for Teaching*, Science Council of Canada, Ottawa.

AKERROYD, F. M.: 1989, ‘Philosophy of Science in a National Curriculum’, in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, pp. 15-22.

American Association for the Advancement of Science: 1989, *Science for All Americans*. AAAS, Washington.

ARONS, A. B.: 1988, ‘Historical and Philosophical Perspectives Attainable in Introductory Physics Courses’, *Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 13-23. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.

- Association for Science Education: 1963, *The Training of Graduate Science Teachers*, ASE, Hatfield, Herts.
- Association for Science Education: 1979, *Alternatives for Science Education. A Consultative Document*, ASE, Hatfield, Herts.
- Association for Science Education: 1980, *What is Science?*, ASE, Hatfield, Herts.
- Association for Science Education: 1981, *Education through Science*, ASE, Hatfield, Herts.
- BAKER, G. R. & CLARK, L.:1989, ‘The Concept of Explanation: Teaching the Philosophy of Science to Science Majors’, in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, pp. 23-29.
- BEVILACQUA, F.: 1990, ‘Can the History of Physics Improve Physics Teaching?’, in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, vol. 11, Florida State University.
- BEVILACQUA, F. and KENNEDY, P. J. (eds.): 1983, *Proceedings of the International Conference on Using History of Physics in Innovative Physics Education*, University of Pavia, Pavia.
- BIRCH, C.: 1988, ‘Whitehead and Science Education’, *Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 33-41.
- BLEIER, R.: 1984, *Science and Gender*, Pergamon Press, New York.
- BROCK, W. H.: 1987, ‘History of Science in British Schools: Past, Present & Future’, in M. Shortland & A. Warwick (eds.) *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, pp. 30-41.
- BROWN, J. R. (ed.): 1984, *Scientific Rationality: the Sociological Turn*, Reidel, Dordrecht.
- BRUMBY, M.: 1979, ‘Problems in Learning the Concept of Natural Selection’, *Journal of Biological Education* **13**, 119-122.
- BRUSH, S. G.: 1974, ‘Should the History of Science be Rated X?’, *Science* **18**, 1164-1172.
- BRUSH, S. G.: 1988a, *The History of Modern Science: A Guide to the Second Scientific Revolution, 1800-1950*, Iowa State University Press, Ames 10.

- BRUSH, S. G.: (ed.): 1988b, *History of Physics: Selected Reprints*, American Association of Physics Teachers, College Park MD.
- BRUSH, S. G.: 1989, 'History of Science & Science Education' *Interchange* **20**(2), 60-70.
- BRUSH, S. G. & KING, A. L. Y. (eds): 1972, *History in the Teaching of Physics*, University Press of New England, Hanover, NH.
- BUCHDAHL, G.: 1983, 'Styles of Scientific Thinking', in P. Bevilacqua & P. J. Kennedy (eds.) *Using History of Physics in Innovative Physics Education*, University of Pavia, pp. 106-127.
- BYBEE, R. W.: 1990, 'Teaching History and the Nature of Science in Science Courses: A Rationale', *Science Education*.
- CAREY, S.: 1986, 'Cognitive Psychology and Science Education', *American Psychologist* **41**, 1123-1130.
- CAWTHORN, E. R. & ROWELL, J. A.: 1978, 'Epistemology & Science Education', *Studies in Science Education* **5**, 31-59.
- CHAMPGNE, A. B., KLOPFER, L. E. & ANDERSON, J.: 1980, 'Factors Influencing Learning of Classical Mechanics', *American Journal of Physics* **48**, 1074-1079.
- CHAMPAGNE, A. B., GUNSTONE, R. F. and KLOPFER, L. E.: 1983, 'Naive Knowledge and Science Learning', *Research in Science and Technology Education* **1**(2), 173-183.
- CLEMENT, J.: 1983, 'A Conceptual Model Discussed by Galileo and Intuitively Used by Physics Students', in D. Genter and A. L. Stevens (eds.). *Mental Models*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp. 325-339.
- COHEN, I. B.: 1950, 'A Sense of History in Science', *American Journal of Physics* **18**, 343-359.
- COHEN, I. B.: 1977, 'History and the Philosopher of Science', in P. Suppes (ed.) *The Structure of Scientific Theories*, 2nd edition, University of Illinois Press, Urbana, pp. 308-360.
- COLLINS, A.: 1989, 'Assessing Biology Teachers: Understanding the Nature of Science and Its Influence on the Practice of Teaching' in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, pp.61-70.

- CONANT, J. B.: 1945, *General Education in a Free Society: Report of the Harvard Committee*, Harvard University Press, Cambridge.
- CONANT, J. B.: 1947, *On Understanding Science*, Yale University Press, New Haven.
- CONANT, J. B.: *Science and Common Sense*, Yale University Press, New Haven.
- CONANT, J. B. (ed.): 1957, *Harvard Case Histories in Experimental Science*, 2 vols., Harvard University Press, Cambridge.
- CONNELY, F. M.: 1974, 'Significant Connections Between Philosophy of Science and Science Education', *Studies in Philosophy and Education* **8**, 245-257.
- CROMBIE, A. C.: 1981, 'Philosophical Presuppositions and the Shifting Interpretations of Galileo', in J. Hintikka et al. (eds.) *Theory Change, Ancient Axiomatics, and Galileo's Methodology*, Reidel, Boston.
- DIJKSTERHUIS, E. J.: 1986, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton University Press, Princeton (orig. 1961).
- DISESSA, A. A.: 1982, 'Unlearning Aristotelian Physics: A Study of Knowledge-Based Learning', *Cognitive Science* **6**, 37-75.
- DRAKE, S.: 1978, *Galileo At Work*, University of Chicago Press, Chicago.
- DRAKE, S.: 1980, *Galileo*, Oxford University Press, Oxford.
- DRIVER, R. et al. (eds.): 1985, *Children's Ideas in Science*, Open University Press, Milton Keynes.
- DRIVER, R. & OLDHAM, V.: 1986, 'A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science', *Studies in Science Education* **13**, 105-122.
- DUBLIN, M.: 1989, 'J. J. Schwab – A Memoir and a Tribute', *Interchange* **20**(2), 112-118.
- DUHEM, P.: 1906/1954, *The Aim & Structure of Physical Theory*, trns. P. P. Wiener, Princeton University Press, Princeton.
- DUSCHL, R. A.: 1985, 'Science Education & Philosophy of Science, Twenty-five Years of Mutually Exclusive Development', *School Science and Mathematics*, **87** (7), 541-555.
- DUSCHL, R. A.: 1988, 'Abandoning the Scientistic Legacy of Science Education', *Science Education* **72**(1), 51-62.

- DUSCHL.R. A., HAMILTON, R. and GRANDY, R. E.: 1990, 'Psychology and Epistemology: Match or Mismatch when Applied to Science Education?', *International Journal of Science Education* **12**(3), 230-243.
- EGER, M.: 1972, 'Physics & Philosophy: A Problem for Education Today', *American Journal of Physics* **40**, 404-415.
- EGER, M.: 1987, "Philosophy of Science in Teacher Education", in J. D. Novak (ed.) *Misconceptions & Educational Strategies*, Cornell University, vol. I, pp. 163-176.
- EGER, M.: 1988, 'A Tale of Two Controversies: Dissonance in the Theory and Practice of Rationality', *Zygon* **23**(3), 291-326. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York, 1991.
- EGER, M.: 1989, 'The "Interests" of Science and the Problems of Education', *Synthese* **80**(1), 81-106.
- EGER, M.: 1989b, 'Rationality and Objectivity in a Historical Approach: A Response to Harvey Siegel', D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, pp. 143-153.
- EIJKELHOF, H. & SWAGER, J.: 1983, *Physics in Society: New Trends in Physics Teaching IV*, UNESCO, Paris.
- ENNIS, R. H.: 1979, 'Research in Philosophy of Science Bearing on Science Education', in P. D. Asquith & H. E. Kyburg (eds.) *Current Research in Philosophy of Science*, PSA, East Lansing, pp. 138-170.
- FEYERABEND, P. K.: 1975, *Against Method*, New Left Books, London.
- FINOCCHIARO, M. A.: 1980a, *Galileo and the Art of Reasoning*, Dordrecht, Reidel.
- FINOCCHIARO, M. A. et al.: 1980b, 'A Symposium on the Use of the History of Science in the Science Curriculum', *Journal of College Science Teaching* **10**(1), 14-33.
- FLODEN, R. E., BUCHMANN, M., & SCHWILLE, J. R.: 1987, 'Breaking with Everyday Experience', *Teachers College Record* **88**(4), 485-506.
- FORGE, J. c.: 1979, 'A Role for the Philosophy of Science in the Teaching of Science', *Journal of Philosophy of Education* **13**, 109-118.
- FURIOMAS, C. J. et al.: 1987, 'Parallels Between Adolescents' Conceptions of Gases and the History of Chemistry', *Journal of Chemical Education* **64**(7), 616-618.

- GARRISON, J. & BENTLEY, M.: 1989, 'Science Education, Conceptual Change, and Breaking with Everyday Experience', *Studies in Philosophy and Education* **10**(1), 19-36.
- GAGNE, R. M.: 1963, 'The Learning Requirements for Enquiry', *Journal of Research in Science Teaching* **1**(2), 144-153.
- GIERE, R. N.: 1973, 'History and Philosophy of Science: Intimate Relationship or Marriage of Convenience', *British Journal for the Philosophy of Science* **24**, 282-297.
- GIERE, R. N.: 1987, 'The Cognitive Study of Science', in N. J. Nersessian (ed.) *The Process of Science*, Martinus Nijhoff, Dordrecht, pp. 139-160.
- GILL, W. (ed.): 1977, 'Symposium on History, Philosophy & Science Teaching', *The Australian Science Teachers Journal* **23**(2), 4-91.
- GINEW, D.: 1989, 'Toward a New Image of Science', *Studies in Philosophy and Education* **10**(1), 63-72.
- GJERTSEN, D.: 1989, *Science and Philosophy*, Penguin, Harmondsworth.
- GLASERSFELD, E. von: 1989, 'Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching', *Synthese* **80**(1), 121-140.
- GOSLING, D. & MUSSCHENGA, B. (eds.): 1985, *Science Education & Ethical Values*, Georgetown University Press, Washington D.C.
- GOTSCHL, J.: 1990, 'Philosophical and Scientific Conceptions of Nature and the Place of Responsibility', *International Journal of Science Education* **12**(3), 288-296.
- GRUENDER, C. D.: 1989, 'Some Philosophical Reflections on Constructivism', in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science Teaching*, Florida State University, pp. 170-176.
- HARDING, S.: 1986, *The Science Question in Feminism*, Cornell University Press, Ithaca.
- HARRE, R.: 1983, 'History & Philosophy of Science in the Pedagogical Process', in R. W. Home (ed.), *Science Under Scrutiny*, Reidel, Dordrecht, pp. 139-157.
- HEILBRON, J. L.: 1983, 'The Virtual Oscillator as a Guide to Physics Students Lost in Plato's Cave', in F. Bevilacqua and P. J. Kennedy (eds.), *Using History of Physics in Innovative Physics Education*, Pavia, pp. 162-182.

- HEILBRON, J. L.: 1987, 'Applied History of Science', *ISIS* **78**, 552-563.
- HELM, H., GILBERT, J. & WATTS, D. M.: 1985, "Thought Experiments & Physics Education. Parts I,II", *Physics Education* **20**, 124-131; 211-217.
- HELM, H. & NOVAK, J. D. (eds.): 1983, *Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science & Mathematics*, Education Department, Cornell University, Ithaca.
- HERGET, D. E. (ed.): 1989, *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, FL.
- HERGET, D. E. (ed.): 1990, *More History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, Tallahassee, FL.
- HERRON, M. D.: 1971, 'The Nature of Scientific Inquiry', *School Review* **79**,170-212.
- HESSE, M. B.: 1988, "Rationality" in Science and Morais', *Zygon* **23**(3), 327-332.
- HODSON, D.: 1982, 'Science-Pursuit of Truth? Parts I, II', *School Science Review* **63**(225), 643-652; (226), 23-30.
- HODSON, D.: 1986a, 'Philosophy of Science and the Science Curriculum', *Journal of Philosophy of Education* **20**,241-251.
- HODSON, D.: 1986b, 'Rethinking the Role & Status of Observation in Science Education', *Journal of Curriculum Studies* **18**(4), 381-396.
- HODSON, D.: 1988a, 'Experiments in Science and Science Teaching', *Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 53-66.
- HODSON, D.: 1988b, 'Toward a Philosophically More Valid Science Curriculum', *Science Education* **72**, 19-40.
- HOLTON, G.: 1952, *Introduction to Concepts & Theories in Physical Science*, Addison-Wesley, New York.
- HOLTON, G. et al.: 1967, 'Symposium on the Project Physics Course', *The Physics Teacher* **5**(5), 196-231.
- HOLTON, G.: 1975, 'Science, Science Teaching & Rationality', in S. Hook et al. (eds.) *The Philosophy of the Curriculum*, Prometheus Books, Buffalo.

- HOLTON, G.: 1978, 'On the Educational Philosophy of the Project Physics Course', in his *The Scientific Imagination: Case Studies*, Cambridge University Press, Cambridge.
- HOLTON, G.: 1986, "A Nation At Risk" Revisited', in his *The Advancement of science & Its Burdens*, Cambridge University Press, Cambridge.
- HOME, R. W. (ed.): 1983, *Science Under Scrutiny: The Place of History and Philosophy of Science*, Reidel, Dordrecht.
- JACOBY, B. A. & SPARGO, P. E.: 1989, 'Ptolemy Revived?', *Interchange* **20**(2), 33-53.
- JENKINS, E.: 1990, 'History of Science in Schools: Retrospect and Prospect in the UK', *International Journal of Science Education* **12**(3), 274-281. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- JUNG, W.: 1986, 'Cognitive Science and the History of Science', in P. V. Thomsen (ed.) *Science Education and the History of Physics*, University of Aarhus.
- KAUFFAMN, G. B.: 1989, 'History in the Chemistry Curriculum', *Interchange* **20**(2), 81-94. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- KELLER, E. F.: 1985, *Reflections on Gender and Science*, Yale University Press, New Haven.
- KITCHER, P.: 1988, 'The Child as Parent of the Scientist', *Mind and Language* **3** (3), 217-228.
- KITCHNER, R. F.: 1985, 'A Bibliography of Philosophical Work on Piaget', *Synthese* **65**(1), 139-151.
- KLEIN, M. J.: 1972, 'Use and Abuse of Historical Teaching in Physics', in S. G. Brush & A. L. King (eds.) *History in the Teaching of Physics*, University Press of New England, Hanover.
- KLOPFER, L. E. & COOLEY, W.W.: 1963, 'The History of Science Cases for High Schools in the Development of Student Understanding of Science and Scientists: A Report on the HOSC Instruction Project', *Journal of Research in Science Teaching* **1**(33-47).

- KOULAUDIS, V. & OGBORN, J.: 1989, 'Philosophy of Science: An Empirical Study of Teachers' Views', *International Journal of Science Education* **11**(2), 173-184.
- KOYRÉ, A.: 1939/1978, *Galileo Studies*, trans. J. Mephan, Harvester Press, Hassocks, Sussex.
- KOYRÉ, A.: 1943, 'Galileo and Plato', *Journal of the History of Ideas* **4**, 400-428. (Reproduced in his *Metaphysics and Measurement*, 1968.)
- KOYRÉ, A.: 1986, *Metaphysics and Measurement*, Harvard University Press, Cambridge.
- KRAGH, H.: 1987, *An Introduction to the Historiography of Science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- KRAJEWSKI, W. (ed.): 1982, *Polish Essays in the Philosophy of the Natural Sciences*, Reidel, Dordrecht.
- KRASILCHIK, M.: 1990, 'The "Scientists": A Brazilian Experiment in Science Education', *International Journal of Science Education* **12**(3), 282-287.
- KUHN, T. S.: 1959, 'The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research', *The Third University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent*, University of Utah Press, Salt Lake City. Reprinted in his *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 225-239.
- KUHN, T. S.: 1977, 'Concepts of Cause in the Development of Physics' in his *The Essential Tension*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 21-30.
- LAKATOS, I.: 1978, 'History of Science and Its Rational Reconstruction', in J. Worral and G. Currie (eds.) *The Methodology of Scientific Research Programmes*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 102-138.
- LEDERMAN, N. G. & ZEIDLER, D. L.: 1987, 'Science Teachers Conceptions of the Nature of Science: Do They Really Influence Teaching Behaviour?', *Science Education* **71** (5), 721-734.
- LIPMAN, M. & SHARP, A. M. (eds.): 1978, *Growing Up with Philosophy*, Temple university Press, Philadelphia.
- LOVING, C. C.: 1992, 'The Scientific Theory Profile: A Philosophy of Science Model for Science Teachers', *Journal of Research in Science Teaching*.

- MACH, E.: 1883/1960, *The Science of Mechanics*, Open Court Publishing Company, LaSalle II.
- MACH, E.:1895/1943, 'On Instruction in the Classics & the Sciences', in his *Popular Scientific Lectures*, Open Court, LaSalle.
- MACHAMER, P.: 1978, 'Galileo and the Causes', in R. E. Butts and J. C. Pitt (eds.) *New Perspectives on Galileo*, Dordrecht, Reidel, pp. 161-181.
- MacLACHLAN, J.: 1990, 'Drake Against the Philosophers', in T. H. Levere & W. R. Shea (eds.) *Nature, Experiment, and the Sciences*, Kluwer, Dordrecht, pp. 123- 144.
- MANUEL, D. E.: 1981, 'Reflections on the Role of History & Philosophy of Science in School Science Education', *School Science Review* **62** (221), 769-771.
- MARKUS, G.: 1987, 'Why Is There No Hermeneutics of Natural Sciences: Some Preliminary Theses', *Science in Context* **1**(1), 5-51.
- MARTIN, J. R.: 1989, 'Ideological Critiques and the Philosophy of Science', *Philosophy of Science* **56**, 1-22.
- MARTIN, J. R.: 'What Should Science Educators Do About the Gender Bias in Science?', in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991, pp. 151-166.
- MARTIN, M.: 1972, *Concepts of Science Education*, Scott, Foresman & Co., New York (Reprinted, University Press of America, 1985).
- MARTIN, M.: 1986, 'Science Education & Moral Education', *Journal of Moral Education* **15**(2), 99-108. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Raedings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- MAS, C. J., PEREZ, J. H., and HARRIS, H. H.: 1.987, 'Parallels between Adolescents' Conception of Gases and the History of Chemistry', *Journal of Chemical Education* **64**(7), 616-618.
- MATTHEWS, M. R.: 1987, 'Galileo's Pendulum & the Objects of Science', in B. & D. Arnstine (eds.) *Philosophy of Education*, pp. 309-319, *Philosophy of Education Society*.
- MATTHEWS, M. R.: 1988, 'A Role for History and Philosophy in Science', *Teaching, Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 67-81.

- MATTHEWS, M. R.: 1989a, 'Ernst Mach and Thought Experiments in Science Education', *Research in Science Education* **18**, 251-258.
- MATTHEWS, M. R. (ed.): 1989b, *The Scientific Background to Modern Philosophy*, Hackett Publishing Company, Indianapolis.
- MATTHEWS, M. R.: 1990a, 'History, Philosophy, and Science Teaching: The Case of Pendulum Motion', *Research in Science Education* **19**, 187-198.
- MATTHEWS, M. R.: 1990b, 'History, Philosophy, and Science Teaching: What Can Be Done in an Undergraduate Course?', *Studies in Philosophy and Education* **10**(1), 93-98.
- MATTHEWS, M. R. (ed.): 1991, *History, Philosophy, and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto.
- McCLOSKEY, M.: 1983, 'Intuitive Physics', *Scientific American* **248**, 114-122.
- McDERMOTT, L. C.: 1984, 'Research on Conceptual Understanding in Mechanics', *Physics Today* **37**, 24-32.
- McMULLIN, E.: 1975, 'History and Philosophy of Science: a Marriage of Convenience?', *Boston Studies in the Philosophy of Science* **32**, 515-531.
- McTIGHE, T. P.: 1967, 'Galileo's Platonism: A Reconsideration', in E. McMullen (ed) *Galileo: Man of Science*, Basic Books, New York, pp. 365-388.
- MENDELSON, E.: 1976, 'Values and Science: a Critical Reassessment', *The Science Teacher* **43**(1), 20-23.
- MERTON, R. K.: 1977, 'The Sociology of Science: An Episodic Memoir', in R. K. Merton & J. Gaston (eds.) *The Sociology of Science in Europe*, Southern Illinois University Press, Carbondale, IL., pp. 3-141.
- MILLER, J. D.: 1983, 'Scientific Literacy: A Conceptual & Empirical Review', *Daedalus* **112**(2), 29-47.
- MISCHEL, T.: 1971, 'Piaget: Cognitive Conflict and the Motivation of Thought', in T. Mischel (ed.) *Cognitive Development and Epistemology*, New York, pp. 311- 355.
- MITTELSTRASS, J.: 1972, 'The Galilean Revolution: The Historical Fate of a Methodological Insight', *Studies in the History and Philosophy of Science* **2**, 297- 328.
- MURRAY, F. R. (ed.): 1979, *The Impact of Piagetian Theory on Education, Philosophy, Psychiatry, and Psychology*, Baltimore.

- National Curriculum Council: 1988, *Science in the National Curriculum*, NCC, York.
- NERSESSIAN, N. J.: 1989, 'Conceptual Change in Science and in Science Education', *Synthese* **80**(1), 163-184. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- NIELSEN, H. & THOMSEN, P.: 1990, 'History and Philosophy of Science in the Danish Curriculum', *International Journal of Science Education* **12**(3), 308-316.
- NORRIS, S. P.: 'The Philosophical Basis of Observation in Science and Science Education', *Journal of Research in Science Teaching* **22**(9), 817-833.
- NOVAK, J. D.: 1987, 'Human Constructivism: Toward a Unity of Psychological & Epistemological Meaning Making', in J. D. Novak (ed.), 1987, *Misconceptions & Educational Strategies*, vol I, pp. 349-360.
- NOVAK, J. D. (ed.): 1987, *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions & Educational Strategies in Science & Mathematics*, Education Department, Cornell University, Ithaca.
- NOWAK, L.: 1980, *The Structure of Idealization*, Reidel, Dordrecht.
- NUSSBAUM, J.: 1983, 'Classroom Conceptual Change: The Lesson to be Learned from the History of Science', in H. Helm & J. D. Novak (eds.) *Misconceptions in Science & Mathematics*, Department of Education, Cornell University, pp.272-281.
- PASSMORE, J.: 1978, *Science and its Critics*, Duckworth, London.
- PIAGET, J.: 1970, *Genetic Epistemology*, Columbia University Press, London.
- PIAGET, J. & GARCIA, R.: 1989, *Psychogenesis and History*, Columbia University Press, New York.
- POSNER, G. et al.: 1982, 'Accommodation of a Scientific Conception: Towards a Theory of Conceptual Change', *Science Education* **66**(2), 211-227.
- PUMFREY, S.: 1987, 'The Concept of Oxygen: Using History of Science in Science Teaching', in M. Shortland & A. Warwick (eds.) *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford, pp. 142-155.
- RANDALL, J. H.: 1940, 'The School of Padua and the Emergence of Modern Science', *Journal of the History of Ideas* **1**, 177-206. Reprinted in his *The Career of Philosophy*, Volume One, Columbia University Press, New York, 1961.

- ROBIN, N. and Ohlsson, S.: 1989, 'Impetus Then and Now: A Detailed Comparison between Jean Buridan and a Single Contemporary Subject', in D. E. Herget (ed.), *The History and Philosophy of Science Teaching*, Florida State University, pp. 292-305.
- ROHRLICH, F.: 1988, 'Four Philosophical Issues Essential for Good Science Teaching', *Educational Philosophy and Theory* **20**(2), 1-6.
- ROWELL, J. A.: 1989, 'Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science', *Synthese* **80**(1), 141-162.
- ROWELL, J. A. & CAWTHRON, E. R.: 1982, 'Images of Science: An Empirical Study', *European Journal of Science Education* **4**(1), 79-94.
- RUSSEL, T. L.: 1981, 'What History of Science, How Much and Why?', *Science Education* **65**, 51-64.
- SCHECKER, H.: 1988, 'The Paradigmatic Change in Mechanics: Implications of historical Processes on Physics Education', in C. Blondel & P. Brouzeng (eds.) *Science Education and the History of Physics*, pp. 215-220. Reprinted this volume.
- SCHEFFLER, I.: 1970, 'Philosophy and the Curriculum', in his *Reason and Teaching*, London, Routledge, 1973, pp. 31-44.
- SCHILPP, P. A. (ed.): 1951, *Albert Einstein*, second edition, Tudor, New York.
- SCHWAB, J. J.: 1963, *Biology Teacher's Handbook*, Wiley, New York.
- SCHWAB, J.: 1964, 'Structure of the Disciplines: Meaning & Significances', in G. W. Ford & L. Pugno (eds.) *The Structure of Knowledge & the Curriculum*, Rand McNally & Co., Chicago.
- SIEGEL, H.: 1979, 'On the Distortion of the History of Science in Science Education', *Science Education* **63**, 111-118.
- SIEGEL, H.: 1982, 'On the Parallel between Piagetian Cognitive Development & the History of Science', *Philosophy of Social Science* **12**, 375-386.
- SETTLE, T.: 1990, 'How to Avoid Implying that Physicalism is True: A Problem for Teachers of Science', *International Journal of Science Education* **12**(3), 258-264.
- SHAPER, D.: 1984, *Reason and the Search for Knowledge*, Reidel, Dordrecht.
- SHEA, W. R.: 1972, *Galileo's Intellectual Revolution*, Macmillan, London.

- SHERRATT, W. J.: 1982, 'History of Science in the Science Curriculum: An Historical Perspective', *School Science Review* **64**, 225-236, 418-424.
- SHORTLAND, M. & WARWICK, A. (eds): 1989, *Teaching the History of Science*, Basil Blackwell, Oxford.
- SHUELL, T.: 1987, 'Cognitive Psychology and Conceptual Change: Implications for Teaching Science', *Science Education* **71**, 239-250.
- SHULMAN, L. S.: 1986, 'Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching', *Educational Researcher* **15**(2), 4-14.
- SHULMAN, L. S.: 1987, 'Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform', *Harvard Educational Review* **57**(1), 1-22.
- SIEGEL, H.: 1987, *Relativism Refuted*, Reidel, Dordrecht.
- SIEGEL, H.: 1989, 'The Rationality of Science, Critical Thinking, and Science Education', *Synthese* **80**(1), 9-42. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- SOLOMON, J.: 1990, 'Teaching About the Nature of Science in the British National Curriculum', *Science Education*.
- STEIN, F.: 1989, 'Project 206): Education for a Changing Future', in D. E. Herget (ed.) *The History and Philosophy of Science in Science Teaching*, Florida State University, pp. 339-343.
- STEINBERG, M. S., BROWN, D. E. & CLEMENT, J.: 'Genius is not Immune to Persistent Misconceptions: Conceptual Difficulties Impending Isaac Newton and Contemporary Physics Students', *International Journal of Science Education* **12**(3), 256-273.
- STEVENS, P.: 1978, 'On the Nuffield Philosophy of Science', *Journal of Philosophy of Education* **12**, 99-111.
- STINNER, A.: 1990, 'Philosophy, Thought Experiments, and Large Context Problems in the Secondary School Physics Course', *International Journal of Science Education* **12**(3), 244-257.
- STRIKE, K. A.: 1987, 'Towards a Coherent Constructivism', in J. D. Novak (ed.) *Misconceptions & Educational Strategies*, Education Department, Cornell University, vol. I, pp. 481-489.

- SUCHTING, W. A.: 1992, 'Constructivism Deconstructed', *Science & Education* **1** (3).
- SUMMERS, J. N.: 1982, 'Philosophy of Science in the Science Teacher Education Curriculum', *European Journal of Science Education* **4**, 19-28.
- SWIFT, J. N.: 1988, 'The Tyranny of Terminology: Biology', *The Science Teachers Bulletin* **60**(2), 24-26.
- TAMIR, P.: 1989, 'History and Philosophy of Science and Biological Education in Israel', *Interchange*, **20**(2), 95-98.
- THAYER, H. S. (ed.): 1953, *Newton's Philosophy of Nature*, Macmillan, New York.
- THOMSON, J. J.: 1918, *Natural Science in Education*, HMSO, London. (Known as the *Thomson Report*.)
- THOMSEN, P. V. (ed.): 1986, *Science Education and the History of Physics*, University of Aarhus.
- TOULMIN, S. E.: 1983, 'The Construal of Reality: Criticism, in Modern & Postmodern Science', in W. J. T. Mitchell (ed.), *The Politics of Interpretation*, University of Chicago Press, Chicago, pp. 99-117. (Originally, *Critical Inquiry* **9**(1), 1982, 93-111.
- VIENNOT, L.: 1979, 'Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics', *European Journal of Science Education* **1**, 205-221.
- WAGENSCHNIEDER, M.: 1962, *Die Pedagogische Dimension der Physik*, Westermann, Braunschweig.
- WALLACE, W. A.: 1981, 'Galileo and Reasoning *ex suppositione*', in W. A. Wallace, *Prelude to Galileo*, Reidel, Dordrecht, pp. 129-159.
- WALLACE, W. A.: 1984, *Galileo and His Sources*, Princeton University Press, Princeton.
- WANDERSEE, J. H.: 1985, 'Can the History of Science Help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions?', *Journal of Research in Science Teaching* **23**(7), 581-597.
- WARTOFSKY, M.: 1968, 'Metaphysics as a Heuristic for Science', in R. S. Cohen & M. W. Wartofsky (eds.) *Boston Studies in the Philosophy of Science* **3**, 123-172. Republished in his *Models*, Reidel, Dordrecht, 1979, pp. 40-89.

- WARTOFSKY, M. W.: 1976, 'The Relation Between Philosophy of Science and History of Science', in R. S. Cohen, P. K. Feyerabend & M. W. Wartofsky (eds.) *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Reidel, Dordrecht. (*Boston Studies in the Philosophy of Science* Vol. 39). Republished in his *Models*, Reidel, Dordrecht, 1979.
- WELCH, W.: 1979, 'Twenty Years of Science Education Development: A Look Back', *Review of Research in Education* **7**, 282-306.
- WHEWELL, W.: 1840/1947, *Philosophy of the Inductive Sciences*, London.
- WHITAKER, M. A. B.: 1979, 'History and Quasi-history in Physics Education Pts I, II', *Physics Education* **14**, 108-112, 239-242.
- WHITAKER, R. J.: 1983, 'Aristotle is Not Dead: Student Understanding of Trajectory Motion', *American Journal Physics* **51**(4), 352-357.
- WINCHESTER, I.: 1990, 'Thought Experiments and Conceptual Revision in Science', *Studies in Philosophy and Education* **10**(1), 73-80.
- WOOLNOUGH, B. E.: 1989, 'Faith in Science', *School Science Review* **70**(252), 133-137. Reprinted in M. R. Matthews (ed.) *History, Philosophy and Science Teaching: Selected Readings*, OISE Press, Toronto and Teachers College Press, New York 1991.
- ZIMAN, J.: 1980, *Teaching and Learning about Science and Society*, Cambridge University Press, Cambridge.