

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA/FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

**HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA: DA TEORIA
PARA A SALA DE AULA**

**Andréa Infantsi Vannucchi
Anna Maria Pessoa de Carvalho (Orientadora)**

**Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade
de Educação da Universidade de São Paulo**

1996

Resumo

Este trabalho discute a introdução de tópicos de História e Filosofia da Ciência no ensino de Física para o 2º grau. Procurou-se dar embasamento teórico para atividades com tal temática, tanto no que diz respeito a questões metodológicas, com a análise de resultados de pesquisas em Didática das Ciências, como, também, quanto aos conteúdos histórico e filosófico. Tomando-se como tema o episódio de aperfeiçoamento da luneta no século XVII, foram elaboradas duas atividades de ensino que têm como finalidades a discussão das relações entre Ciência e Tecnologia e o papel dos referentes teóricos dos cientistas na observação e interpretação de dados. As atividades foram introduzidas em sala de aula e analisadas através de seu registro em vídeo.

Abstract

The introduction of topics on history and philosophy of science in high school physics curriculum is discussed. Theoretical basis for the design of activities is presented concerning both methodological aspects, with the analysis of research on the teaching of science as, also, historical and philosophical content. Within the episode of the improvement of the telescope in the 17th century, two activities were developed, having the discussion of the relationship between science and technology and the influence of theoretical references of scientists on data observation and interpretation as themes. The activities were tried out in classroom and analysed through videotape records.

Aos meus pais – minha história. Já que falamos tanto da importância da História.

Devo agradecer aos alunos do colegial noturno de 1995 da Escola Estadual Manuel Ciridião Buarque – LI, MA, CA, ED, LU, GE, ...– os quais, com as atividades deste e de outros trabalhos, procuramos não deixar monossílabos.

Gostaria de apresentar co-autoras deste trabalho: Bia e Kátia.

Agradeço aos meus amigos queridos – Áudrei, Cibelle, Sal e Ana – pelo empenho em me atrapalhar com tantas viagens.

Aos professores Marcelo e Márcia, que me deram material com o qual pude dar uma organizada nas idéias. E ao Reinaldo, que transforma nossas aulas tão curtas em fitas intermináveis.

Agradeço ao "grupo" pelas tantas lições – Marta, Marcelo, Sereia, Maria Lúcia, João, Zé, Zezinha, Deise, Odete, Sérgio e Maria Elisa.

E ao "pessoal do corredor", pessoas que fazem o ambiente de trabalho algo maravilhoso ... será por isso que a gente trabalha tanto? Pensando bem, acho que precisamos rever esse ambiente.

Ao João Zanetic e ao Prof. Mário Azanha que, com seus livros, livros e mais livros, me deram um mapa do tesouro.

À Tia Ana, por me dar o problema – no mínimo.

Agradeço à Camila, Paulo e Alessandra – porque a gente tem que ter com quem brigar sem motivo.

À Anna, que me recebeu com carinho e ... muito trabalho! E eu não poderia deixar de me aliar à Ruth: poucas pessoas conseguem estar sempre no lugar certo, na hora certa, com o comentário preciso, a dimensão exata e o apoio necessário – essa é a Anna, sem tirar nem pôr.

Ao meu pai, minha mãe e irmãos – pela vida toda, por toda a vida.

"Se as coisas são estilhaços
Do saber do universo,
Seja eu os meus pedaços,
Impreciso e diverso".
F. Pessoa

ÍNDICE

I INTRODUÇÃO.....	9
II BASES TEÓRICAS PARA A INTRODUÇÃO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA SALA DE AULA.....	14
1 História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciência.....	14
1.1 Introdução.....	14
1.2 As contribuições da História e Filosofia da Ciência para a educação científica.....	19
1.3 Oposições à aproximação histórico-filosófica.....	24
2 Bases para a Elaboração das Atividades de Ensino.....	29
2.1 Situações problemáticas - Considerações históricas quanto à abordagem de aspectos não conceituais da Ciência em sala de aula.....	29
2.2 Tópicos de planejamento didático.....	33
2.3 Concepções sobre Ciência - Diagnóstico e intervenção.....	37
2.3.1 Introdução.....	37
2.3.2 Concepções de professores e estudantes secundários sobre Ciência.....	39
3 Considerações Finais.....	42
III ALGUNS EPISÓDIOS DA HISTÓRIA DA ÓTICA NO SÉCULO XVII.....	44
1 Antecedentes.....	44
2 A Luneta de Galileu e as Explicações para a Refração da Luz (Atividade 1).....	48
2.1 O aperfeiçoamento da luneta.....	48
2.2 Explicações para a refração da luz.....	50
3 A Controvérsia das Observações Celestes (Atividade 2).....	54
IV ALGUNS TÓPICOS DE FILOSOFIA DA CIÊNCIA.....	63
1 Introdução.....	63
2 Ciência e Tecnologia (Atividade 1).....	65
2.1 A concepção instrumentalista.....	67

2.2	Contra-argumentos à concepção instrumentalista	68
2.3	Interação Ciência-Tecnologia a partir do Século XVII	70
2.4	Interação entre Ciência e Tecnologia: influências recíprocas.....	72
2.5	Os mecanismos de interação entre conhecimento científico e tecnológico.....	74
3	O Papel dos Referentes Teóricos (Atividade 2)	78
3.1	Observação e interpretação.....	79
3.2	Referentes metodológicos e conceituais.....	81
V	ATIVIDADES DE ENSINO	85
1	As Atividades	85
1.1	Ao professor	85
1.2	Ao estudante	88
1.2.1	Atividade 1	88
1.2.2	Atividade 2	93
VI	A SALA DE AULA: ALGUNS EPISÓDIOS DE ENSINO.....	98
1	Dos Dados.....	98
2	Os Episódios e sua Análise.....	98
2.1	Episódio 1	98
2.2	Episódio 2	107
2.3	Episódio 3	109
2.4	Episódio 4	115
3	Considerações Finais	118
VII	ALGUMAS CONSIDERAÇÕES.....	119
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126

I INTRODUÇÃO

No início de 1995, comecei a ministrar aulas de Física para as segundas séries do segundo grau noturno da Escola Estadual Manuel Ciridião Buarque. É nesse momento do colegial que os alunos têm aulas de Filosofia. Um dos assuntos tratados pela professora dessa matéria, Ana Maria Infantsi da Costa, era, justamente, Filosofia da Ciência. Assim, cogitamos a possibilidade de realizar um trabalho conjunto.

Apesar de tratar-se de um guia dos anos 60-70, eu acabara de tomar conhecimento dos *Convites ao Raciocínio*, elaborado pelo *Biological Sciences Curriculum Study*, sob supervisão de Joseph Schwab. É uma proposta muito bonita que pretende, com discussões e trabalhos de laboratório, que os alunos compreendam a natureza da Ciência.

Assim, começamos a analisá-lo. Mas seu tema é a Biologia! Sugestão da professora de Filosofia: "Ora, já que você está lá na Universidade mesmo, por que não faz um desses de Física?"

Bem, dessa forma, embora o presente trabalho não pretenda ser um novo *Convites ao Raciocínio*, pretende discutir a introdução de tópicos de Filosofia da Ciência no ensino de Física do 2º grau e propor algumas atividades como exemplo.

Quanto ao conteúdo de Física, optou-se pela Ótica. Essa escolha deve-se a diversos motivos: em primeiro lugar, tal conteúdo é geralmente ministrado no segundo ano do segundo grau, assim como o curso de Filosofia. Tal simultaneidade favorece trabalhos conjuntos dos professores das diferentes disciplinas.

Além disso, tem-se em Ótica, ou melhor, na Ótica Geométrica que é ministrada nesse nível de ensino, um conteúdo via de regra sem sentido para os estudantes, restrito ao formalismo dos diagramas de raio utilizados para a descrição de propriedades da luz – reflexão, refração, formação de imagens, difração.

É importante considerar que apenas uma pequena parcela dos estudantes que completam o segundo grau continuará seus estudos na Universidade, ou estará envolvida em atividades que apresentem necessidade de conhecimento operacional em Física. Assim, o ensino de Física que se reduza à mera apresentação de seu formalismo e solução de certos problemas padrão carece de sentido.

O conteúdo sistematizado de Ótica que é apresentado aos estudantes pode ter seu significado ampliado com a introdução de problemas e características históricas de seu processo de construção. De fato, segundo Matthews, "a educação científica é enriquecida, além de mais fiel ao seu conteúdo, se aspectos da relação interessante e complexa entre Ciência e Filosofia puderem ser levados à sala de aula" (1994b, p. 86).

Conforme discutido no Capítulo II, a introdução da História e Filosofia da Ciência nos currículos de Ciência pode ser vista segundo duas concepções diferentes do conteúdo: a História e Filosofia da Ciência enquanto *elementos auxiliares* à compreensão conceitual das teorias científicas ou, por outro lado, enquanto *elementos constituintes* da Ciência – a compreensão bem fundamentada da Ciência sendo, necessariamente, histórica.

O papel auxiliar da História e Filosofia da Ciência é inegável. Já, se considerados elementos constituintes da Ciência, implicam a revisão do conteúdo atualmente ministrado nas aulas de Física. Não se está defendendo o abandono do conteúdo específico nos cursos de Ciências. Entretanto, uma nova abordagem, contextualizada, requererá, conforme explicitamente proposto pela *American Association for the Advancement of Science*, que se diminuam os conteúdos dos currículos “inchados e desnutridos” (apud Matthews, 1994a).

Nesse sentido, é interessante a observação de Shymansky et al. (1992), de ser ironicamente positivo o fato da época em que vivemos tornar cada vez mais difícil a identificação dos conteúdos realmente essenciais à educação. Torna-se impreterível confrontar-se com a explosão de conhecimentos e reconhecer-se que o currículo não pode crescer indefinidamente. É preciso ensinar menos para que se possa ensinar melhor.

Ernst Mach dizia, já no século passado: “Creio que a quantidade de matéria necessária para um ensino útil [...] é muito pequena [...] Não conheço nada mais terrível que as pobres criaturas que aprenderam demais [...] O que adquiriram é um emaranhado de pensamentos demasiado débil para proporcionar sustentação segura, embora complicado o suficiente para produzir confusão” (apud Matthews, 1994a, p.257).

Para este físico, filósofo e historiador, os principais objetivos da educação seriam: desenvolver a compreensão, fortalecer a razão e promover a imaginação. Tais propósitos encontram-se, ainda, seriamente comprometidos pelos currículos atuais.

Na verdade, com a não inserção de discussões histórico-filosóficas no currículo, toda uma perspectiva tem estado ausente do contexto escolar, sobretudo dos cursos de Ciências: os estudantes não são preparados para vislumbrar os fatos de diferentes pontos de vista, não tomam consciência da diversidade de opiniões possíveis, não se questionam quanto aos propósitos da investigação e não são solicitados a comparar os próprios pontos de vista aos demais e, portanto, não estão preparados para aprender com eles.

Ignorar as dimensões histórica e filosófica da Ciência favorece visão distorcida da atividade científica, baseada em concepções empírico-indutivistas – a Ciência como composta de verdades incontestáveis. A rigidez e intolerância desta perspectiva subestima a criatividade do trabalho científico e cria obstáculo intransponível para o ensino de Ciência, pois, além de pretensiosa e reducionista, a ponto de atribuir à Ciência características inapropriadas, tal perspectiva acaba moldando o comportamento do estudante a esta

imagem – o pensamento divergente e opiniões conflitantes não são tidos como importantes, sendo até, por vezes, considerados como negativos (Gil-Pérez, 1985, apud Castro et al., 1995).

É importante salientar que a educação escolar – os cursos de Ciência incluídos – é tão importante para o desenvolvimento individual quanto, em sua dimensão social, para a formação do cidadão. Assim, uma das funções da História e Filosofia da Ciência na educação científica seria a de combater a arrogância e autoridade da Ciência, evidenciando-se suas características de construção humana, sua falibilidade, o impacto de interesses políticos, sociais e individuais.

Segundo Ziman (apud Stiefel, 1995), "Muitos alunos estariam, atualmente, melhor formados para suas vidas se lhes houvesse sido ensinado um pouco menos de Ciência como tal e um pouco mais *sobre* a Ciência". De fato, na revisão de estudos sobre as concepções de estudantes e professores sobre Ciência e Tecnologia (Capítulo II), evidenciam-se idéias absolutamente equivocadas quanto à natureza dessas atividades.

Defende-se, assim, a utilização de histórias da Ciência como elementos auxiliares à compreensão do conteúdo específico, e mais: como modo de favorecer a compreensão dos processos da Ciência. E, recorrente, tal compreensão reforça o papel auxiliar das discussões histórico-filosóficas que, ao se contraporem ao *status* privilegiado do conhecimento científico, tornam seu estudo mais acessível (Solomon et al., 1994).

Além disso, quanto à questão didática, também discutida no Capítulo II, procurou-se subsídio nos trabalhos de autores como Driver (1986), Duschl (1995), Gil-Pérez (1995) e Wheatley (1991), os quais propõem a organização da aprendizagem como tratamento de situações problemáticas. Assim, no presente trabalho, as atividades de sala de aula foram elaboradas a partir de momentos de controvérsia na História da Ciência, de modo que as questões filosóficas sejam apresentadas aos estudantes como situações problemáticas.

Ainda no capítulo II, são fornecidos subsídios metodológicos para a introdução das atividades no contexto escolar. Propõe-se que, na dinâmica social de sala de aula, os estudantes trabalhem nas atividades em pequenos grupos e, posteriormente, a classe reúna-se como um todo para a discussão das idéias levantadas. A importância que têm, para o desenvolvimento cognitivo, a socialização e o trabalho em grupo vem sendo demonstrada por diversos pesquisadores (Doise e Mugny, 1984; Haste, 1987; Piaget e Inhelder, 1969, apud Wheatley, 1991).

Dessa forma, prevê-se a valorização das perspectivas atitudinal – com o trabalho em equipe, discussões coletivas – e procedimental por parte dos estudantes – com a necessidade destes adotarem estratégias para resolver e argumentar a respeito de questões problemáticas, selecionando informação pertinente, gerando evidência para respaldar suas

hipóteses, contra-argumentando, analisando posições alternativas etc. Autores como Duschl (1995) sustentam a argumentação e a explicação como práticas e objetivos das estratégias de aprendizagem.

Quanto ao conteúdo específico das atividades elaboradas, foi feito um estudo histórico do desenvolvimento da Ótica no século XVII, momento escolhido por sua importância fundamental na História da Ciência. Século no qual se consolida a Ciência Moderna, com destaque das matemáticas e da experimentação, trata-se, também, de uma época de grande avanço da Ótica, com trabalhos de estudiosos como Descartes, Kepler, Newton e Huygens.

Assim, consta do capítulo III um breve panorama dos conhecimentos que se tinha acerca da luz no início daquele século e, em seguida, são analisados, mais detalhadamente, os episódios relativos a cada uma das atividades elaboradas neste trabalho.

Além disso, para a elaboração das atividades, é necessário o estudo dos temas filosóficos nelas tratados. Foram selecionados os seguintes temas: observação e interpretação de dados e relações Ciência-Tecnologia. Para tanto, foram feitas leituras nestas temáticas específicas, abordadas no capítulo IV.

As atividades são apresentadas no capítulo V.

O contexto histórico no qual estão inseridas as atividades trata-se do episódio de aperfeiçoamento da luneta por Galileu Galilei.

Na Atividade 1, tem-se como objetivo principal a discussão das relações entre Ciência e Tecnologia. Na verdade, o episódio da luneta representa um contra-exemplo para a concepção muito comum de que a Tecnologia seria fruto da Ciência. No caso, ao contrário, embora Galileu tenha aperfeiçoado a luneta a ponto de possibilitar, inclusive, observações astronômicas, não sabia explicar seu funcionamento, o que foi feito somente no ano seguinte por Johannes Kepler, em sua obra *Dióptrica* (Koestler, 1989).

Além disso, não havia um modelo aceitável para explicar a refração da luz quando da mudança de meio. Apesar de Snell e Descartes já haverem deduzido, anteriormente, a lei da refração, não o haviam feito com um modelo explicativo aceitável, o que acarretaria a inversão das velocidades de propagação da luz em meios de diferentes densidades. Este problema seria solucionado somente 70 anos após o aperfeiçoamento da luneta, quando Huygens apresenta seu modelo de composição de ondas secundárias, utilizando-o para explicar o fenômeno de refração (Sabra, 1981).

A Atividade 2 trata da receptividade dos estudiosos em relação à luneta e às observações astronômicas por ela propiciadas. É, assim, abordada outra concepção comum e equivocada das relações Ciência-Tecnologia: a idéia de que o desenvolvimento tecnológico propicia maiores possibilidades de investigação científica. Esta relação é

verdadeira somente até certo ponto, pois desconsidera a importância dos referentes teóricos dos estudiosos na obtenção e interpretação de dados.

Este é o ponto que se intenta destacar na Atividade 2: o papel dos referentes teóricos dos cientistas. Notadamente, no episódio da luneta, os estudiosos estavam fortemente condicionados à concepção celeste aristotélica, amplamente aceita na época. Devido à autoridade de Aristóteles, muitos estudiosos não aceitaram como verdadeiras as observações astronômicas efetuadas por intermédio da luneta, pois estas contrariavam as idéias aristotélicas em diversos pontos (Drake, 1983; Santillana, 1976). Além disso, as observações científicas foram feitas por intermédio de um instrumento, o que trazia sérios problemas para os referentes metodológicos dos estudiosos da época, reforçados pelo desconhecimento a respeito do funcionamento da luneta.

Uma contribuição importante da reflexão proporcionada pela Atividade 2 diz respeito ao fato de que não há infalibilidade científica ou metodologia inquestionável. Isto porque, mesmo com dados, ou pretensas confirmações empíricas, constata-se, com o perdão da expressão, que o conhecimento está sujeito ao sujeito.

No Capítulo VI serão apresentados alguns episódios transcritos de aulas nas quais foram propostas as atividades elaboradas neste trabalho. Embora sua análise não tenha a sistematização de uma pesquisa em sala de aula, procura-se dar significado à teoria discutida em capítulos anteriores, com exemplos de interpretação dos referenciais teóricos apresentados.

Finalmente, no último capítulo serão apresentadas algumas considerações que pretendem sistematizar os principais pontos discutidos no trabalho, avaliando-se sua relevância e aplicação ao ensino de Física.

II BASES TEÓRICAS PARA A INTRODUÇÃO DA HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA SALA DE AULA

Neste capítulo serão analisadas questões pedagógicas envolvendo a aproximação da História e Filosofia da Ciência e ensino de Ciência, bem como, a constituição de atividades de ensino.

As considerações tecidas aqui, ainda que se apliquem no todo ou em parte a outros níveis de ensino, foram pensadas especificamente com relação ao ensino de Física no segundo grau. Por consequência, ou, segundo Laranjeiras (1994), por antecedência, devem também se aplicar à formação de professores de Física.

1 História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciência

1.1 Introdução

De acordo com a visão dita técnica da educação científica, os cursos de Ciência têm por objetivo a introdução dos estudantes ao seu domínio conceitual e procedimental. Um propósito mais abrangente constitui-se em auxiliar os estudantes a aprenderem sobre Ciência em seu contexto histórico de desenvolvimento.

Segundo Matthews (1994b), a inclusão da História e Filosofia da Ciência é um fator intrínseco à boa educação científica, independente dos diferentes objetivos atribuídos aos cursos de Ciências.

Considera-se que o conhecimento apropriado da Ciência envolva não apenas seus produtos – leis, teorias – mas, também, o conhecimento dos *processos* da Ciência - seus métodos, sua estrutura de desenvolvimento. A compreensão deste processo de desenvolvimento implica a inclusão da História e Filosofia da Ciência, que, mesmo no ensino de caráter técnico, podem contribuir com exemplos históricos de investigação, experimentação, hipóteses inesperadas, consolidação e substituição de teorias e modelos.

Segundo o enfoque mais amplo de ensino de Ciência, os estudantes devem ser introduzidos aos fatores intelectuais, técnicos, pessoais e sociais da atividade científica. Os grandes episódios de desenvolvimento da Ciência estão intimamente relacionados ao desenvolvimento cultural do mundo ocidental: o declínio da visão mitológica da natureza, as concepções heliocêntrica/geocêntrica do universo, a teoria evolucionista de Darwin, as pesquisas da base genética para a vida. Dessa forma, trata-se de uma educação que busca minimizar a fragmentação intelectual, situando a atividade científica como parte do

desenvolvimento cultural, inserindo-a, na medida do possível, num panorama mais abrangente, relacionando Ciência a Ética, Religião, Economia, Política.

Na última década, a integração entre História e Filosofia da Ciência e educação científica foi proposta em diversos países. Nos E.U.A., pela *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) nos relatórios *Project 2061* (1989) e *The Liberal Art of Science* (1990); na Inglaterra, pelo *British National Curriculum Council* (NCC 1988); pelo *Science Council of Canada* (SCC 1984); na Dinamarca, com o *Danish Science and Technology curriculum*, e na Holanda, com o *PLON curriculum materials*.

Nestes casos, a História e Filosofia da Ciência não são propostas como tópicos adicionais, mas como *características* dos cursos de Ciência. Segundo a *American Association for the Advancement of Science*:

“Os cursos de Ciência deveriam situá-la numa perspectiva histórica. [...] Os estudantes deveriam completar seus cursos de Ciência com uma apreciação desta como parte de uma tradição intelectual, social e cultural. Os cursos de Ciência devem contemplar estes aspectos enfatizando as dimensões ética, social, econômica e política da atividade científica” (apud Matthews, 1994b).

Diversos fatores são responsáveis pela proposta de um novo enfoque para a educação científica. O mais significativo é a comprovada ineficácia da educação técnica ortodoxa, não contextual. Esta ineficácia pode ser constatada por resultados de estudos realizados nos E.U.A., os quais revelam que grande parte da população escolarizada não sabe o significado de conceitos científicos básicos e, além disso, os estudos indicam visões anti-científicas amplamente difundidas e pensamento ilógico. Outro dado relevante é que 70% dos estudantes norte-americanos excluem Ciência de seu programa escolar na primeira oportunidade que encontram (Matthews, 1994b).

Como conseqüências desta situação cultural, do pensamento sem coibições racionais, Matthews (1994b) cita a efusão de racismo, preconceito, histeria, fanatismo. A introdução dos estudantes nas questões especulativas, metafísicas e éticas que a Ciência vem considerando ao longo de sua história poderia minimizar posturas ingênuas dos estudantes frente a credices e superstição. Além disso, o pensamento científico pode constituir-se em influência contrária à tendência natural das pessoas de julgarem circunstâncias em termos de seus interesses próprios.

Segundo Ernst Mach, “Um indivíduo que tenha lido e compreendido os autores gregos e romanos tem mais consciência e experiência que aquele cujas impressões são restritas ao presente. Ele percebe que homens submetidos a circunstâncias diferentes avaliam de forma diferente à que adotamos nos dias de hoje. Seu próprio julgamento tornar-se-á, portanto, mais independente” (apud Matthews, 1994b, p.52).

É verdade que grandes questões da Ciência – Qual a natureza da atividade científica? De que forma a Ciência está relacionada à Religião? O conhecimento do mundo é realmente possível? A Ciência é apenas um produto social? – trazem discussões que requerem análise sofisticada, além de informação sobre tópicos específicos da História da Ciência e da Filosofia da Ciência. Não são questões às quais os estudantes devam ser convidados a darem sua opinião a despeito de seu conhecimento, o que desvalorizaria a aquisição escolar de conhecimento e o pensamento fundamentado.

Matthews (1994b) critica esta apresentação de pontos de vista pessoais e sem fundamento como a forma pela qual têm sido abordadas tais questões (quando o são, o que, em geral, vem ocorrendo nos novos programas Ciência-Tecnologia-Sociedade). Aponta, pelo contrário, como um dos objetivos do bom ensino Ciência-Tecnologia-Sociedade, a contraposição a práticas narcisistas. Em decorrência, os estudantes devem deparar-se com a complexidade das questões, tendo, assim, oportunidade de confrontarem a visão arbitrária e distorcida da Ciência, via de regra veiculada.

Neste sentido, numa resenha intitulada *Para que filosofia?*, paradoxalmente publicada no jornal Folha de São Paulo (01/01/1996), Olgária Chaim Féres Matos refere-se à indústria cultural como “portadora de dogmatismo e preconceito”. A autora condena a mídia, que “evita a complexidade, oferecendo produtos à interpretação literal, ou melhor, minimal [...] Semiformação é próprio da mídia [...] [O semiculto] é auto-referente, não aprende com o espaço e com o tempo, não reconhece diferenciações”.

Da mesma forma que a mídia, a educação escolar, ao promover o desconhecimento histórico e metodológico da Ciência, tem sido veículo de "dogmatismo e preconceito".

O respeito exacerbado pela Ciência, por sua categorização de verdade, encontra base na visão da Ciência como investigação racional e disputa racional entre teorias concorrentes, tendo como objetivo final o conhecimento da natureza. Esta visão vem sendo criticada por sociólogos e por filósofos da Ciência como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend, para os quais o desenvolvimento científico nem sempre está condicionado a fatores racionais. Numa abordagem mais rica e realista da Ciência, aspectos sociais e políticos, entre outros, deveriam ser levados em consideração.

O papel da racionalidade na Ciência vem sendo amplamente debatido. Esta questão tem implicações fundamentais para o ensino de Ciência, posto que a introdução dos estudantes ao pensamento e aos debates racionais tem sido um dos argumentos mais importantes a favor da educação científica. Por isso, cabe abrir um parêntese para situar, ainda que de forma breve, alguns pontos de vista a respeito do que seja "racionalidade", além de alguns aspectos do debate em torno desse tema.

Segundo Siegel (1991), um primeiro nível de análise seria entender-se "racionalidade" como representando a relação formalmente correta entre proposições. Entretanto, esta relação formalmente correta, isto é, logicamente válida, como indicado pelo próprio termo "formalmente", está relacionada essencialmente à *forma* das proposições, independente do *conteúdo* em questão.

Assim, segundo o autor, este nível de compreensão é epistemologicamente e educacionalmente inadequado. Siegel (op. cit.) argumenta que a racionalidade de determinada conclusão ou decisão é contextual – por exemplo, pelo fato de que a evidência que se tem à disposição num dado momento é contingente. Este seria um dos motivos pelos quais pontos de vista incompatíveis podem ser igualmente plausíveis, situação que encontra, na História da Ciência, vários exemplos.

Isto não significa que *o termo* racionalidade tenha significado contextual. O critério de racionalidade está condicionado à *significância* das justificativas apresentadas para respaldar determinada opção, ponto de vista ou ação. Todavia, embora pontos de vista possam ser considerados "racionais", isto é, bem justificados, as justificativas são boas ou não em termos contextuais. E esta contextualização não está relacionada apenas a limitações quanto à evidência disponível, mas é também relativa em função do conteúdo proposicional em questão. Assim, por exemplo, há situações nas quais determinadas proposições não implicam inequivocamente uma certa conclusão e, todavia, pode-se dizer que é "racional" adotá-la.

Portanto, racionalidade não é uma noção exclusivamente lógica, haja vista a necessidade de se ter em consideração mais que habilidades de raciocínio. Por este motivo, Siegel (op. cit.) coloca a seguinte questão: Qual seria a importância educacional da racionalidade – entendida em termos formais – por parte dos estudantes? O autor opõe-se a essa perspectiva, alegando que se estaria tomando os estudantes como "máquinas lógicas". Além disso, mesmo que tal objetivo fosse contemplado, ao mesmo tempo poder-se-ia constatar deficiências educacionais graves em termos de informação e compreensão.

Esse ponto de vista é discutível. Embora a racionalidade, entendida enquanto compreensão formal das relações entre proposições, seja, de fato, limitada, sobretudo se associada à compreensão da *natureza* da Ciência, esta tem sua importância na vida dos estudantes. Estudos indicam (item viii, a seguir) a inaptidão destes quanto a habilidades lógico-analíticas, o que implica suscetibilidade à argumentação falaciosa.

De qualquer modo, para que se contemple o objetivo escolar de promover o "pensamento crítico", é preciso *também* conceber decisões "racionais" contextualmente – e aí a História da Ciência pode se constituir num referencial. Conforme afirma Borbules (apud Siegel, 1991, p. 228), "[...] o fato de se dispor de certas habilidades ou conhecimentos

formais, sem que sua aplicação – e os limites de aplicação – seja avaliada e dimensionada, não implica um indivíduo crítico ou racional”.

Por outro lado, conforme argumenta Eger (1989), a História da Ciência não favorece o desenvolvimento da racionalidade se considerada como fonte de “modelos de comportamento racional” a serem seguidos pelos estudantes, a não ser que, como Laudan (1977), se considere a significância de fatores religiosos, filosóficos e morais aos quais a atividade científica está submetida – a comparação entre teorias deve ser pensada segundo os padrões de racionalidade disponíveis em sua época.

Todavia, o desenvolvimento da racionalidade pode ser favorecido pela introdução dos estudantes no debate de questões polêmicas constituintes ou relativas aos processos de desenvolvimento da Ciência. Nesse contexto, além do desenvolvimento de habilidades lógicas, de argumentação e comunicação de idéias, propicia-se a tomada de consciência das condicionantes contextuais da atividade científica.

É preciso estar atento, neste ponto, à crítica apresentada por Gil-Pérez (1995) à tendência de um "reducionismo sociológico" no ensino secundário, o qual limita o currículo de Ciência a problemas de Ciência-Tecnologia-Sociedade. A contraposição à visão da atividade científica como "neutra", descontextualizada, tem-se estabelecido *em detrimento* da busca por coerência e outros aspectos essenciais da Ciência.

Abre-se aí um debate não apenas quanto ao que se constitua, mas, também, quanto ao que se acredite deva constituir Ciência. Embora seja fato a influência de determinantes sócio-políticas no desenvolvimento da Ciência, pode-se colocar as seguintes questões: Qual a extensão de tais determinantes? Sua influência prescinde uma racionalidade do desenvolvimento científico? Tais determinantes são desejáveis no empreendimento científico?

Finalmente, apesar de toda argumentação favorável à abordagem histórico-filosófica, ao ter-se em consideração fatores culturais e econômicos, é certo que a crise da educação científica não encontra solução exclusivamente com a inclusão da História e Filosofia da Ciência nos currículos escolares.

Krasilchik (1995), numa análise da evolução do ensino científico no Brasil entre as décadas de 50 e 90, defende a necessidade de um foco "ecológico" da educação. O conjunto de elementos envolvidos no processo educacional abrange não apenas o estudante em seu contexto mais imediato, mas, também, estruturas sociais, realidades ideológicas, culturais e institucionais.

Tomando-se um desses níveis, o do estudante em seu contexto escolar mais imediato, é preciso que se dedique atenção especial não apenas aos conteúdos escolares,

mas, também, às estratégias educacionais adotadas no sentido de ampliar a compreensão dos estudantes e promover discussões fundamentadas.

As escolas em geral não oferecem *settings* que permitam comunicação, reflexão e argumentação, fatores importantes para o desenvolvimento da racionalidade e contemplação de conteúdos metodológicos e atitudinais (Trumbull, 1987). Deve-se considerar as interações sociais e o ambiente emocional favoráveis à cognição, a discussões racionais, à aprendizagem. Esses pontos serão analisados mais detalhadamente no item 2 deste capítulo.

1.2 As contribuições da História e Filosofia da Ciência para a educação científica

Apesar da limitação imposta pelos diversos fatores envolvidos no processo educacional, a aproximação da História e Filosofia da Ciência apresenta, potencialmente, contribuição significativa para o ensino e aprendizado da Ciência. Alguns aspectos são apontados e analisados por Matthews (1994b):

(i) A História e Filosofia da Ciência podem humanizar a Ciência, vinculando-a a questões pessoais, éticas, culturais e políticas. Há evidência de que este enfoque torna seu estudo mais atrativo para muitos estudantes, em especial, para meninas, que via de regra o rejeitam.

(ii) A História e Filosofia da Ciência proporcionam interação entre tópicos e disciplinas, manifestando a natureza interativa e interdependente dos empreendimentos humanos.

Pode-se facilmente entrever aspectos interdisciplinares proporcionados à educação escolar pela abordagem histórico-filosófica.

Além disso, segundo a *American Association for the Advancement of Science*, o ensino de Ciência, ao explorar as relações desta com as tradições intelectual e cultural, fornece aos estudantes subsídios para debates contemporâneos (apud Matthews, op. cit., p. 86).

(iii) A História e Filosofia da Ciência vinculam o desenvolvimento do pensamento individual ao desenvolvimento das idéias científicas. Desta forma, podem auxiliar os professores a compreenderem as dificuldades dos estudantes, alertando-os para as mudanças conceituais e para as dificuldades enfrentadas historicamente no curso do

desenvolvimento científico. Tal conhecimento pode auxiliá-los na organização do programa, na seleção e condução de atividades.

(iv) A História e Filosofia da Ciência fornecem base para os debates educacionais contemporâneos - métodos de ensino, currículos - os quais fazem referência à História e Filosofia da Ciência e à natureza do conhecimento, à sua produção e validação.

(v) A História e a Filosofia da Ciência são intrinsecamente importantes se a Ciência for encarada como uma das heranças culturais mais importantes da humanidade.

Parte dos cursos de Filosofia abordam questões de Filosofia da Ciência; entretanto, a maioria dos cursos de História são elaborados sem qualquer referência aos resultados científicos, matemáticos e técnicos, que se constituem em alguns dos episódios mais importantes no desenvolvimento da civilização. Matthews (1994b, p.52) afirma: “Haveria considerável avanço na educação global da sociedade se fosse dedicado tempo equivalente tanto à revolução científica, quanto às revoluções políticas, tanto a Mendel e à Genética quanto aos gerais, tanto ao desenvolvimento da medida do tempo quanto à elaboração de constituições”.

As demais contribuições apontadas por Matthews (op. cit.) estão mais diretamente relacionadas aos objetivos deste trabalho. Discute-se a relevância da educação científica contemplar, não apenas aspectos conceituais da Ciência, mas, também, aspectos metodológicos e epistemológicos. Aponta-se, além disso, a importância de se atentar ao desenvolvimento de habilidades lógicas dos estudantes.

(vi) A História e Filosofia da Ciência podem contribuir para melhor compreensão do conteúdo específico, ajudando a superar o “mar de sem-sentidos” constituído de fórmulas e equações que os estudantes repetem sem compreender o significado.

A História e Filosofia da Ciência podem introduzir os estudantes aos métodos de investigação científica, em contraposição à definição positivista de "método científico" presente em livros didáticos. Assim, tem-se oportunidade de abordar tópicos como: a variedade de interpretações racionais e plausíveis que podem ser apresentadas para um mesmo conjunto de dados, a distinção clássica entre equações matemáticas, modelos e sua interpretação física etc.

Tais contribuições não implicam, entretanto, que o papel da História e Filosofia da Ciência na educação científica seja o de meros instrumentos que favoreçam melhor compreensão do conteúdo convencional.

Segundo Laranjeiras (1994), tem-se verificado duas grandes tendências de abordagem da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciência. Uma, que entende a História e Filosofia da Ciência enquanto elementos auxiliares à compreensão conceitual das teorias científicas; por exemplo, por sua eficiência na apresentação de conceitos e teorias. Numa outra perspectiva, a História e Filosofia da Ciência são entendidas enquanto elementos constituintes da própria Ciência, sendo a concepção subjacente à convicção de que a compreensão bem fundamentada da Ciência é necessariamente histórica.

É interessante, neste ponto, fazer um paralelo com outras áreas do conhecimento. Michel Polanyi (apud Matthews, 1994a) ressaltou como óbvio que a História e Filosofia da Ciência deveriam ser, ao menos, parte do ensino de Ciência, como a crítica literária e musical o são no ensino literário e musical. Seria estranho pensar num bom curso de Literatura que não contivesse elementos de crítica literária, a história das formas literárias, o modo como a Literatura está subordinada aos períodos históricos e aos acontecimentos sociais etc. Entretanto, é menos consensual a importância da compreensão histórica dos produtos e métodos da Ciência.

Segundo Ernst Mach, a perspectiva histórica permite às pessoas, em geral, e aos cientistas, em particular, localizarem-se numa tradição de pensamento, confrontando historicamente suas concepções e estrutura de pensamento. Tal perspectiva favoreceria novas idéias e conceitualizações. Destaca-se, nesse sentido, a importância atribuída por Albert Einstein à obra de Mach, *História da Mecânica*, para sua formulação da Teoria da Relatividade.

(vii) A História e Filosofia da Ciência são necessárias para a compreensão da natureza da atividade científica, explicitando a dinâmica do processo de construção do conhecimento.

Assim, nos cursos de Ciência, devem ser abordadas questões epistemológicas como: o papel da idealização e das experiências de pensamento, a importância das crenças religiosas dos cientistas, os aspectos metafísicos dos grandes debates, além dos fatores políticos, econômicos e sociais do desenvolvimento científico.

Nesse sentido, Laudan (1977) aponta a subordinação das teorias e tradições de pesquisa a uma rede mais ampla de crenças e concepções. Assim, as respostas de diferentes tradições de pesquisa a questões como: O que pode ser reconhecido como um problema relevante? Quais objeções podem ser consideradas problemas conceituais? Quais os critérios de inteligibilidade? Quais os padrões de controle experimental? – têm mudado drasticamente ao longo da história e são distintas para culturas distintas.

Desta forma, a História e Filosofia da Ciência vêm de encontro a concepções equivocadas da atividade científica, ao demonstrar a subordinação da Ciência aos contextos histórico e cultural vigentes nos diferentes momentos, o que significa, conseqüentemente, que o conhecimento científico atual é suscetível de ser transformado.

A compreensão mais rica e autêntica da Ciência, contextualizada intelectual e socialmente, se contrapõe, portanto, ao cientificismo e ao dogmatismo, comuns nos livros didáticos, nas aulas de Ciência e, também, como mostram diversos estudos (item 2.3), nas concepções de professores e alunos.

(viii) A História e Filosofia da Ciência, em particular, exercícios lógicos e analíticos básicos, podem tornar as aulas mais desafiadoras, favorecendo o desenvolvimento do raciocínio e de habilidades de pensamento crítico.

Serão apresentados, a seguir, alguns resultados de pesquisa que reiteram a necessidade de atenção especial voltada às habilidades cognitivas.

Estima-se, por exemplo, que ao ingressarem nas universidades, a maioria dos estudantes norte-americanos não tenha atingido o estágio de operações formais, segundo a classificação piagetiana. Um estudo recente (Cromer, 1993, apud Matthews, 1994b) mostrou que, nos E.U.A., menos de 6% dos estudantes de 17 anos era capaz de resolver problemas algébricos simples.

Num outro estudo, com 600 estudantes primários entre 9 e 12 anos e 400 licenciandos em Ciência de três países diferentes, Jungwirth (1987, apud Matthews, op. cit.) analisou, entre outros, os seguinte tipos de raciocínio falacioso:

- a) Assumir que eventos que procedem outros são conseqüências dos primeiros.
- b) Enunciar conclusões com base em proposições insuficientes.
- c) Enunciar conclusões com base em proposições irrelevantes.
- d) Assumir que algo verdadeiro em condições específicas seja verdadeiro sempre.

Foram apresentados aos estudantes tanto itens de temática curricular, quanto extracurricular (cotidiano). Os resultados obtidos podem ser resumidos na Tabela 1 (as porcentagens são relativas aos grupos que cometeram os erros especificados acima (a-d)).

Tipos de raciocínio	Estudantes primários (9 -12 anos)		Licenciandos em Ciência	
	Curricular	Cotidiano	Curricular	Cotidiano
a)	40%	50%	30%	25%
b)	30%	40%	30%	40%

c)	15%	50%	60%	60%
d)	35%	50%	30%	60%

Tabela 1 Porcentagens de respostas erradas para diversos tipos de raciocínio falacioso.

Estes dados evidenciam a necessidade de atenção especial voltada ao desenvolvimento do pensamento formal e abstrato, às habilidades de pensamento crítico-lógico-analítico, dada a função que desempenham não apenas na Ciência, mas pessoal e socialmente.

Num curso de Ciência, análises filosóficas introdutórias conduzem à esfera da lógica e da argumentação. A educação científica pode contribuir para a diferenciação, para o des-sincretismo de relações e funções como, por exemplo, definição, descrição, explicação. Os estudantes envolvem-se em tais análises ao levantarem questões como "O que você quer dizer por "lei", "causa", "evidência", "hipótese"?" ou "Como você sabe?" Desta forma, podem não apenas *aprender* Filosofia, como também *fazer* Filosofia.

Além de auxiliar o desenvolvimento do raciocínio, análises lógicas podem também favorecer a compreensão dos métodos da Ciência. Por exemplo, quanto ao papel de resultados experimentais na comprovação de teorias científicas, pode ser útil o exame do seguinte argumento falacioso, subjacente a concepções sobre Ciência amplamente difundidas:

T implica O (uma teoria T implica uma observação O)
O (observa-se O)
Portanto T (a teoria T é verdadeira)

A conclusão não é verdadeira porque, da mesma forma que T implica O, um número indeterminado de outras teorias (Ts), conhecidas ou não, pode implicar os mesmos resultados experimentais (Matthews, op. cit., p. 88).

Embora análises desse tipo situem o raciocínio lógico num contexto mais amplo – o da Ciência –, por outro lado, o pensamento científico não pode ser reduzido a regras ou estruturas da lógica formal. Todavia, também a compreensão desta característica da Ciência é favorecida se os estudantes foram capazes de reconhecer, antes, o pensamento formalmente correto e lógico, o que requer intervenção didática.

Finalmente, é preciso afastar a preocupação de Joseph Schwab, um dos teóricos do *American Biological Science Curriculum Study* (BSCS), de que a História e Filosofia da Ciência sejam ensinadas como “retórica de conclusões”. Atendo-se, especificamente, aos

objetivos do presente trabalho, as dimensões histórica e filosófica não são enfocadas como ainda mais coisas para os estudantes saberem. O objetivo central é promover nos estudantes consciência para questões importantes e cativantes, despertando seu interesse pelos desdobramentos da Ciência.

De acordo com Matthews (1994b, p.70), a História da Ciência tem sido incluída nos programas de Ciência de duas maneiras. Na primeira abordagem, minimalista, cursos ahistóricos típicos são completados por tópicos em História da Ciência - esta é a abordagem recomendada no *British National Curriculum*. Outra forma é a organização do curso de Ciência numa perspectiva histórica – este é o caso do *Harvard Project Physics Course*.

A abordagem minimalista é, em diversas circunstâncias, aquela possível. Ainda assim, uma postura mais positiva dos alunos frente à Ciência, promovida por sua melhor compreensão da natureza do empreendimento científico, deve também favorecer a aprendizagem conceitual e metodológica, além do desenvolvimento de habilidades cognitivas proporcionadas pelo “exercício” que a discussão epistemológica da Ciência proporciona.

1.3 Oposições à aproximação histórico-filosófica

Em 1970, num simpósio realizado no Massachusetts Institute of Technology (MIT), a utilidade da História da Ciência na educação científica foi questionada. Tratava-se de um prenúncio dos grandes debates que seriam travados naquela década, motivados pelo conflito de posições acerca do papel da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciência.

Martin Klein alegava, na ocasião, que a única história possível nos cursos de Ciência seria pseudo-história. A concepção subjacente à argumentação de Klein é que a boa história reflete a complexidade do passado. Os professores de Ciência fariam, por sua vez, uma abordagem seletiva e parcial da História da Ciência, condicionados por objetivos pedagógicos ou por objetivos científicos contemporâneos. Portanto, segundo o critério de complexidade de Klein, o resultado desta abordagem seletiva seria, quase inevitavelmente, má história.

Matthews (1994b) aponta aí uma aparente confusão entre escrever história e utilizá-la em sala de aula. Pode ser que a boa história fique comprometida quando escrita com propósitos específicos. Entretanto, seja qual for o critério aplicado à *produção* de boa história, o professor de Ciência a *utiliza* com propósitos pedagógicos, e deve, portanto, ser avaliado com critérios distintos daqueles utilizados para historiadores, já que as duas atividades são completamente diferentes.

Klein aponta ainda outra questão: a diferença fundamental das empresas histórica e científica, o que tornaria sua aliança problemática. Segundo ele, "um dos motivos que torna difícil fazer a História da Física útil às necessidades do ensino de Física diz respeito à diferença essencial das perspectivas do físico e do historiador . . . é tão difícil imaginar a combinação entre a complexidade dos fatos, a qual busca o historiador, e o *insight* simples e preciso que os físicos procuram" (Klein, apud Matthews, 1994b, p. 72).

A este argumento contrário à aproximação histórica, Matthews (1994b) levanta a seguinte questão: A presença de duas perspectivas antagônicas é, de fato, prejudicial ao ensino? Parece não haver respaldo empírico para tal afirmação. Pelo contrário: há exemplos de programas bem sucedidos, apesar de interdisciplinares. A não ser pela limitação de tempo, acredita-se, em geral, que um bom currículo escolar deva encorajar uma gama de perspectivas para se apreciar uma questão. De fato, além dos cursos Ciência-Tecnologia-Sociedade, o *British National Curriculum* e o *Project 2061*, entre outros programas curriculares importantes, prevêm que o estudante de Ciência deva ser capaz de examinar um tema sob diversos pontos de vista.

Além disso, Matthews (1994b) questiona: Seriam as diferenças entre as abordagens científica e histórica tão grandes quanto se advoga? A caracterização da História como busca da complexidade, não se deixando nada de lado, conforme anuncia Klein, é incorreta, impraticável: todo tratado histórico é necessariamente seletivo. O historiador não é um arquivista.

Posição consensual quanto à relação entre História da Ciência e Filosofia da Ciência, de fundamental importância no contexto educacional: a História da Ciência ilustra posições filosóficas. Conforme expresso por Imre Lakatos: "A Filosofia da Ciência está vazia sem História da Ciência; a História da Ciência está cega sem Filosofia da Ciência" (apud Matthews, 1994b, p.41).

O físico substitui uma bola por uma massa puntual, deixando de lado cor, textura e composição. Da mesma forma, o historiador restringe a riqueza dos episódios, delimitando-os de acordo com a história que deseja contar. A História da Ciência está necessariamente vinculada à concepção filosófica do historiador, a partir da qual são, por exemplo, selecionados os episódios históricos.

Num artigo de 1979, Whitaker (apud Matthews, op. cit.) leva as críticas de Klein adiante. Ele não apenas se preocupa com a qualidade da História da Ciência utilizada para servir a propósitos pedagógicos, como também condena a fabricação da História para servir a ideologias científicas. Alega que, apesar da análise de dados estar inevitavelmente sujeita à posição filosófica do historiador, isto não significa que dados históricos devam ser distorcidos.

É verdade que mitos e ideologias são bastante freqüentes nas histórias da Ciência, da mesma forma como o são nas histórias política, social e religiosa. Para citar um exemplo, episódios da Ciência arianos, escritos pelos nazistas, demonstravam que os cientistas judeus ou faziam pesquisa de má qualidade, ou roubavam boas idéias dos alemães (Beyerchen, 1977, apud Matthews, 1994b). Outro exemplo: na disputa entre Igreja e Ciência, ambas produziram, com diferentes graus de consciência, Histórias da Ciência convenientes à sua versão dos fatos.

Outro caso muito discutido é a hipótese apresentada por Albert Einstein para a natureza da radiação luminosa. Einstein teria proposto, como solução brilhante para as anomalias observadas no efeito fotoelétrico, inaugurando novo período na física da radiação, a interpretação da luz como fótons, juntamente com a equação $E = hf$. Assim, o antigo conflito entre as teorias ondulatória e corpuscular da luz estaria finalmente solucionado por uma interpretação intermediária, segundo a qual as ondas luminosas seriam constituídas de pacotes, o que as aproximaria da descrição corpuscular.

Segundo Matthews (1994b, p.73), este relato "reforça a imagem pública e científica de Einstein, está de acordo com o modelo hipotético-dedutivo para a formulação de teorias científicas, enfatiza a racionalidade da Ciência e demonstra o progresso inevitável da atividade científica. Em suma, não há nada nesta versão que disturbe a perspectiva tradicionalmente aceita tanto por cientistas, quanto pelo público em geral, para os quais o desenvolvimento científico é racional, metódico e inevitável. O único problema é que a história não ocorreu exatamente assim".

Matthews prossegue: por muitos anos, cientistas como Lenard, Thomson e Lorentz apresentaram descrições alternativas para o efeito fotoelétrico, centradas nas estruturas e comportamento interatômico (efeitos de ressonância ocasionados pela luz). Tais interpretações adequavam-se ao efeito fotoelétrico tanto quanto a hipótese de Einstein, embora não estivessem centradas nas propriedades da luz incidente.

Desta forma, embora a idéia dos fótons date de 1905, Robert Millikan, que receberia o Prêmio Nobel por sua confirmação, diz em sua autobiografia: "Acredito ser correto afirmar que a concepção de Einstein dos pulsos luminosos, ou fótons, como os conhecemos agora, praticamente não contou com partidários até por volta de 1915 ... Nos anos anteriores, nem mesmo o próprio Einstein a defendia de modo seguro e definitivo" (1950, apud Matthews, op. cit.). Além disso, quando começaram a aparecer os primeiros partidários, estes o eram da equação de Einstein, e não da interpretação física proposta por ele.

Este episódio sugere certa lentidão no processo de conversão racional da comunidade científica e indica, como adverte Whitaker, que a história tenha sido reescrita

de forma a encaixar-se passo a passo com a física. Essa história, a qual ele denomina de *quasi-history*, não seria necessariamente resultado do esforço consciente do autor para respaldar sua visão de Ciência; poderia ser ocasionada, conforme Klein já observara anteriormente, por preocupações pedagógicas: "Não suponho que autores de *quasi-history* tenham, necessariamente, qualquer intenção filosófica, mesmo que inconsciente. Encaro *quasi-history*, de modo geral, como simplesmente resultante de certo desejo por ordem e lógica, conforme conveniente para o processo de ensino e aprendizagem" (Whitaker, 1979, apud Matthews, op. cit., p.75).

Embora a objeção apresentada por Whitaker seja procedente, a produção de *quasi-history* pode ser minimizada pelo trabalho conjunto de professores, historiadores e filósofos da Ciência e, além disso, deve ser avaliada segundo critérios peculiares à atividade educativa. Conforme afirma Matthews (op. cit., p.80): "A arte pedagógica constitui-se na simplificação da História de forma tal que a distorção inevitável seja educacionalmente favorável, e não pernicioso".

Além da influência de preocupações pedagógicas, outro fator potencial a ocasionar distorções da História da Ciência diz respeito a fatores externos à Ciência, como ideologia política e crenças religiosas de professores e historiadores.

Além disso, Klein e Whitaker advertem para eventuais distorções determinadas por fatores internos à Ciência, como concepção metodológica do historiador, ou visão de Ciência do professor. Matthews (op. cit.) menciona, como reflexo da subordinação da História da Ciência à ortodoxia metodológica corrente, as diversas interpretações que vêm sendo atribuídas à figura de Galileu Galilei: em textos empiricistas, um experimentalista, em outros textos, um racionalista.

Quanto à visão de Ciência do professor, a questão recai na formação desse profissional. Segundo Matthews (1994b), a epistemologia do professor é seguramente constituída informalmente. Alguns dados respaldam tal afirmação: em 1989, apenas quatro entre cinquenta e cinco instituições australianas de formação de professores ofereciam cursos de História e Filosofia da Ciência. Em 1990, entre os quinze principais centros de formação de professores nos E.U.A., apenas metade requeria um curso em Filosofia da Ciência; a proporção nas demais centenas de centros seria, com grande probabilidade, consideravelmente menor. A situação nos demais países não seria diferente.

Ainda no simpósio realizado em 1970, no MIT, outra objeção à aproximação histórica no ensino de Ciência diz respeito ao receio de que o conhecimento histórico, ao debilitar a convicção dos jovens na Ciência, minasse seu espírito científico. Tal convicção seria necessária para o êxito na aprendizagem.

Segundo Burstyn (1972, apud Matthews, op. cit.), os estudantes pensariam de forma "convergente", buscando a resposta "certa"; a História da Ciência teria, entretanto, a complexidade como característica essencial, conforme advogado por Klein. Desta forma, Burstyn adverte: "É de fato possível a utilização de material histórico, caracterizado pela complexidade, abrangência e divergência, no ensino de pessoas interessadas em obter a resposta certa [...]? A História não é, portanto, de certa forma, subversiva aos propósitos pedagógicos da Física?"

Este ponto de vista havia sido sustentado anteriormente, entre outros, por Thomas Kuhn, que ressaltava o fato do ensino de Ciência estar baseado, ao contrário de outras áreas do conhecimento, não nas obras originais, mas em livros-texto escritos especialmente para estudantes. Segundo ele, esta "iniciação dogmática numa tradição estabelecida" seria justificada pelo fato de "nenhuma parte da Ciência ter progredido tanto, ou tão rapidamente, antes desta educação convergente [...] ser possível" (1959, apud Matthews, op. cit., p. 76). Kuhn, desta forma, legitima a educação dogmática em função de seus resultados – a produção de cientistas criativos e inovadores, os quais não seriam inovadores senão após profundamente imersos nas concepções ortodoxas de sua disciplina, acreditando-se parte de uma tradição bem sucedida na busca pela verdade (1970, apud Matthews, op. cit., p. 76).

Um primeiro ponto a ser questionado nessa argumentação diz respeito a questões educacionais muito sérias – como a doutrinação – envolvidas na troca da verdade histórica pelo compromisso dos estudantes para com a empresa científica. Além disso, preocupações com o domínio do conteúdo específico e, também, com o interesse dos estudantes pela Ciência, quando de seu conhecimento histórico, carecem de evidência empírica. Pelo contrário, segundo Matthews (op. cit.), estudos realizados com centenas de milhares de alunos que nos anos 70 estudaram o *Harvard Project Physics Course*, no qual a Física é apresentada numa perspectiva histórica, mostram resultados positivos.

A falta de tempo que a abordagem histórico-filosófica acarretaria para o conteúdo específico constitui outro argumento apresentado com frequência em oposição à História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciência. Todavia, tal abordagem não pressupõe o abandono do conteúdo programático; ao contrário, para que tenham sentido, discussões histórico-filosóficas necessitam do domínio de um corpo de conhecimento científico e técnico por parte dos estudantes.

Além disso, é interessante notar que, na maioria dos currículos atuais, a História e Filosofia da Ciência não se fazem presentes e, ainda assim, os alunos não são preparados adequadamente em termos do conteúdo.

2 Bases para a Elaboração das Atividades de Ensino

2.1 Situações problemáticas - Considerações históricas quanto à abordagem de aspectos não conceituais da Ciência em sala de aula

A partir da discussão anterior, considerando-se importante a aproximação histórica e filosófica no ensino de Física, uma pergunta permanece: Como devem ser elaboradas as atividades didáticas?

Uma das contribuições propiciadas pela aproximação entre a História e Filosofia da Ciência e o ensino de Ciência diz respeito à base que o conhecimento da História e Filosofia da Ciência pode trazer aos debates educacionais (item iv). Assim, para se discutir atividades didáticas, torna-se útil buscar subsídios, à luz da História e Filosofia da Ciência, nas avaliações de inovações curriculares importantes realizadas, sobretudo, nos anos 60.

A primeira experiência inovadora, o chamado modelo de aprendizagem por descoberta, veio contrapor-se à concepção de aprendizagem por recepção. Os estudantes eram considerados como cientistas "espontâneos" e autônomos. A concepção de Ciência subjacente, empírico-indutivista, previa uma relação biunívoca entre problema e resposta. Através de método científico simples e linear, descobrir-se-iam as leis que estão na natureza.

Segundo Matthews (1994a), numerosos projetos curriculares da *American National Science Foundation* e do esquema *Nuffield* (Great Britain) fracassaram devido à ignorância do desenvolvimento da Filosofia da Ciência, ao recomendarem a abordagem da Ciência por descoberta, como réplica dos métodos supostamente indutivos da atividade científica.

Entretanto, mesmo os programas coordenados por pesquisadores competentes em História e Filosofia da Ciência tinham no “ensino por descoberta ou investigação” problemas estruturais intrínsecos. Matthews (op. cit.) levanta a questão do tipo de conhecimento com o qual se está lidando. Aponta a diferença entre objeto de conhecimento material e objeto de conhecimento teórico. Uma das características principais da Ciência Moderna é a idealização, sendo os objetos de conhecimento, portanto, primordialmente teóricos. Conseqüentemente, o ensino por investigação seria inviabilizado pela própria experimentação. Na Ciência Moderna, a experiência não proporciona o conflito cognitivo que é supostamente o motor da mudança conceitual - a experiência é por demais aristotélica. O historiador da revolução científica, Alexandre Koyré (apud Matthews, 1994a, p.264), adverte que “a observação e a experiência têm um papel muito pequeno na edificação da Ciência Moderna; poder-se-ia também dizer que constituem-se nos principais obstáculos que tal edificação encontra em seu caminho”.

Segundo Matthews (1994b), outro problema associado ao ensino por descoberta, também ligado à epistemologia da Ciência, diz respeito à "artificialidade" do pensamento científico (Wolpe, apud op. cit.). A Ciência é caracterizada por um "senso incomum" (Cromer, apud op. cit.), no sentido de utilizar um modo particular de pensar e investigar o mundo; os procedimentos científicos precisam ser aprendidos, tanto quanto seus resultados. O pensamento científico não se desenvolve conforme a manipulação progressivamente melhor sucedida do meio. A interação do dia-a-dia não leva à Ciência.

Estas idéias estão de acordo com a necessidade de mudanças conceitual e metodológica que integrariam a aprendizagem de Ciência, as quais vêm sendo propostas por diversos autores (Duschl, 1995; Gil-Pérez et al., 1994; Hodson, 1992).

Além de discutir o papel da experimentação na Ciência Moderna e a necessidade da metodologia científica constituir-se também num conteúdo de ensino, Matthews (1994b) critica, com relação às estratégias de ensino por descoberta, a desconsideração dos referenciais conceituais na análise de dados e nos debates científicos e, também, no aprendizado de Ciência:

"Uma deficiência fundamental [...] é a aparente suposição de que a Ciência seja uma espécie de atividade do senso comum, e que as "habilidades" apropriadas constituem-se no principal ingrediente para o trabalho produtivo. Parece não haver reconhecimento explícito do papel poderoso dos sistemas de referência conceitual com os quais os cientistas e as crianças operam e às quais estão fortemente vinculados. Estas visões do mundo físico requerem tratamento cuidadoso ... por uma série de recursos" (Atkin, apud op. cit., p. 27).

Quanto aos cientistas, o papel dos referenciais conceituais pode ser exemplificado no episódio do aperfeiçoamento da luneta por Galileu Galilei, no século XVII. Certos estudiosos de então recusavam-se a reconhecer como válidas as observações celestes realizadas através daquele instrumento, quer pelo problema que observações indiretas traziam a seus referenciais metodológicos, quer pela ameaça que tais observações podiam suscitar à concepção celeste aristotélica, da qual eram partidários.

No que diz respeito ao estudante de Ciência, pode-se entender a afirmação de Atkins como relativa à concepção de aprendizagem que desconsidera a importância das idéias e esquemas de conhecimento prévios ao ensino.

Cleminson (1990) argumenta que um currículo mais representativo do conhecimento científico não é, por si só, base adequada para a melhoria da educação científica. Afirma a necessidade de se considerarem as maneiras pelas quais os estudantes poderiam aprender a partir deste currículo, ou seja, reclama a necessidade de um modelo de aprendizagem apropriado para a educação científica.

Apesar das diferentes posições e das divergências quanto a esta questão, a epistemologia construtivista apresenta, pelo menos, um princípio consensual para a maioria das pessoas: "O conhecimento não é recebido passivamente, mas ativamente construído pelo sujeito cognoscente. Idéias e pensamentos não podem ser comunicados, no sentido dos significados serem empacotados em palavras e "enviados" a outra pessoa que os desempacota das frases. Não importa o quanto desejássemos que fosse diferente, não podemos colocar idéias nas mentes dos estudantes, eles devem e irão construir seus próprios significados" (Wheatley, 1991).

Outro princípio, problemático para muitos, enuncia que todo aprendizado depende do conhecimento anterior (Gómez-Granell et al., 1994; Resnick, apud Gil-Pérez, 1995). O conhecimento é sempre contextual e indissociável do sujeito (Wheatley, 1991).

Estratégias de ensino baseadas nestes pressupostos consideram a subjetividade da observação (Gil-Pérez, 1995; Shymansky, 1992; Wheatley, 1991). O que vemos é uma interpretação com base naquilo que sabemos. O conhecimento não é considerado como propriedade do mundo natural.

Esse ponto de vista está em concordância com a visão de Ciência como experiência criativa, como construção humana. Apesar de preverem uma metodologia específica da investigação científica, estratégias de ensino baseadas na epistemologia construtivista, por considerarem a subjetividade da observação, se contrapõem, necessariamente, ao trabalho científico como um algoritmo infalível a ser seguido, uma seqüência linear de etapas a serem percorridas passo a passo – o "Método Científico".

Portanto, tais estratégias conduzem naturalmente, com relação ao ensino de Ciência, à consideração de outros fatores, além do metodológico, característicos da atividade científica. Por sua importância no desenvolvimento da Ciência, devem ser abordados, em sala de aula, aspectos epistemológicos como negociação social, conflito de teorias, relação Ciência-Tecnologia, criatividade etc.

Assim, apesar das críticas ao modelo de ensino por descoberta, algumas conseqüências positivas muito importantes podem ser mencionadas. A experiência abriu caminho a estudos e propostas inovadoras, pois, além de valorizar o pensamento divergente, buscando alunos ativos, críticos e criativos, atribuía importância não apenas a aspectos conceituais (fatos, conceitos e teorias), mas, também, à questão metodológica da Ciência. A partir daí, passaram a ser realizados estudos visando, além do conhecimento conceitual, a introdução dos estudantes aos aspectos epistemológicos e metodológicos da Ciência.

Gil-Pérez (1995) defende a importância do "movimento de aprendizagem por descoberta" como precursor das propostas atuais, embora refira-se ao seu fracasso tanto na aprendizagem conceitual, quanto na compreensão da natureza da investigação científica.

O autor aponta duas grandes diferenças entre as propostas atuais e as anteriores. A primeira, é o redimensionamento da analogia estudante-cientista. Pode-se entender a analogia no sentido empregado por Duschl (1995), ao afirmar que o processo de aprendizagem é otimizado quando a atividade de sala de aula *se modela* a partir das práticas científicas empregadas na comunicação, argumentação e explicação de afirmações de conhecimento científico, de procedimentos metodológicos e objetivos de investigação. Salienta-se, atualmente, a mediação do professor na condução das atividades, nas quais a analogia mais adequada para os estudantes seria, não com cientistas, mas com pesquisadores novatos, atentando-se, ainda, às limitações de tal aproximação. Dessa forma, a atividade dos estudantes seria comparável a uma pesquisa orientada em áreas de domínio do "diretor de pesquisa" – o professor (Gil-Pérez et al., 1994; Gil-Pérez, 1995).

Essa importância atribuída ao professor vai também de encontro à crítica dirigida por Gómez-Granell & Coll (1994) a propostas pedagógicas baseadas na teoria de Piaget. Segundo os autores, para Piaget, o processo de construção do conhecimento seria um processo essencialmente interno e individual. Assim, o diálogo se estabeleceria entre sujeito e objeto, e a mediação social não se constituiria fator determinante, visto que a construção de estruturas intelectuais progressivamente mais potentes obedeceria, em última instância, a necessidades internas da mente. A interpretação dessas considerações teria levado a propostas pedagógicas nas quais os estudantes construiriam seu próprio conhecimento através de um processo de *descoberta* relativamente autônomo, no qual o papel do professor se limitaria ao de propor-lhes atividades adequadas.

Ademais, os autores salientam o caráter sócio-cultural e contextual da construção do conhecimento, conforme previamente assinalado por Vygotsky. Considerando-se tal dimensão como característica não somente da construção individual do conhecimento, mas, também, da construção do conhecimento científico, tem-se esta como uma das características da analogia entre atividade de pesquisa e o trabalho dos estudantes em sala de aula, quando engajados em atividades de "investigação".

Assim, Gil-Pérez et al. (1994) associam à metáfora cientista -"pesquisador novato", além da situação problemática sobre a qual se debruçam os indivíduos, o trabalho em grupos cooperativos, a interação entre os grupos e a "comunidade científica", representada pelo professor e pelos textos.

Outra diferença das propostas atuais, apontada por Gil-Pérez (1995), é a atenção dispensada, hoje em dia, ao reducionismo e às distorções da natureza da Ciência como

consequências da epistemologia espontânea dos professores. Esta questão será analisada no item 2.2.3, "Concepções sobre Ciência - Diagnóstico e intervenção".

Um último ponto a mencionar é o fato das atividades de investigação, conforme propostas atualmente por autores como Gil-Pérez (1995) e Duschl (1995), não se constituírem, necessariamente, em atividades de experimentação, as quais recairiam, por vezes, na crítica já citada de Matthews (1994a, 1994b), que questiona sua compatibilidade com a Ciência Moderna, dada a importância que nela desempenha a idealização.

2.2 Tópicos de planejamento didático

Os autores cujas idéias serão analisadas a seguir elaboram suas considerações, de modo mais específico, com respeito ao ensino dos conteúdos conceitual e metodológico da Ciência. Defendem a aproximação entre aprendizagem de Ciência e atividade científica.

Apesar do presente trabalho estar centrado na abordagem, em sala de aula, de aspectos epistemológicos não necessariamente relativos à metodologia científica, algumas características das propostas analisadas são, ainda assim, pertinentes e válidas.

A proposta deste trabalho situa-se na concepção de Joseph Schwab, que propõe incorporar-se ao ensino de Ciência a reflexão sobre o processo de construção científica – *as an inquiry into inquiry*; no caso deste autor, trata-se de reflexão sobre a atividade dos cientistas (1964, apud Duschl, 1995).

Entretanto, conforme apontado por Duschl (op. cit.), a representação do trabalho desenvolvido individualmente por cientistas difere bastante das representações de uma comunidade de cientistas. E mais: a representação isolada da Ciência é diferente daquela contextualizada social, política, econômica ou religiosamente.

O objetivo deste trabalho é trazer para sala de aula reflexão sobre o desenvolvimento da Ciência nesse contexto mais amplo. Foram selecionados momentos de controvérsia na história da Ciência, donde questões epistemológicas são apresentadas como situações problemáticas, buscando-se favorecer a reflexão dos estudantes.

Entre os autores atuais (Driver, 1986; Wheatley, 1991) que propõem a organização da aprendizagem como tratamento de situações problemáticas, Gil-Pérez (1995) enfatiza a relevância e interesse que tais atividades devem suscitar nos estudantes.

Quanto a propostas atuais para incorporação de conteúdos não conceituais à educação científica, Duschl (op. cit.) é um dos autores a afirmar que os estudantes devem participar de atividades de aprendizagem que permitam a construção conjunta de habilidades em diferentes áreas de conhecimento. Os estudantes deveriam ser levados, nos

cursos de Ciência, além de adquirir, também a comunicar o conhecimento científico, bem como raciocinar, construir significados, compreender a natureza e práticas da Ciência.

Ao defender o ensino de Ciência em que não se distinga a construção de significados e a prática científica, Duschl (op. cit.) amplia as áreas de conhecimento com as quais os estudantes deveriam familiarizar-se. Assim, critica a exclusividade, em detrimento das demais áreas de instrução, do que denomina conhecimento declarativo – fatos, termos e conceitos.

Propõe que os estudantes participem de discussões sobre, por exemplo, o que determina que uma explicação seja correta e melhor que outra, que um arranjo experimental seja adequado, que um modelo seja preciso, que um argumento seja ou não consistente. Essas discussões seriam desenvolvidas a partir e com as idéias e produções dos estudantes.

Allchin (1995), tomando uma atividade desenvolvida por Duschl (1993, apud Allchin, op. cit.) como exemplo, critica a proposta de inclusão da História e Filosofia da Ciência em aulas nas quais os estudantes participem de uma *reconstrução* histórica ao invés de *simulação* histórica.

A atividade à qual Allchin (op. cit.) refere-se trata da "Causa de Terremotos" e tem, como objetivo, auxiliar estudantes secundários a compreenderem o raciocínio subjacente a diferentes teorias científicas e a desenvolverem habilidades na comparação e avaliação de teorias. Aos estudantes são introduzidas historicamente cinco explicações alternativas para os terremotos; utiliza-se, na medida do possível, documentos originais. Em seguida, lhes são fornecidos dados sísmicos originais para que os transfiram para mapas mundiais e analisem. Constroem uma tabela onde, de acordo com diversas perguntas-chave, sistematizam as evidências para cada teoria e, finalmente, optam entre elas a partir de padrões pré-estabelecidos.

Allchin (op. cit.) ressalta os potenciais benefícios da atividade – apreciação de diferentes explicações para um mesmo fenômeno e subordinação dessas explicações a certas hipóteses iniciais, apreciação da importância do trabalho de campo e do caráter criativo da interpretação de dados para a construção de evidência teórica e, além disso, desenvolvimento de habilidades de raciocínio associadas à avaliação e interpretação de propostas teóricas concorrentes.

Entretanto, critica o fato da atividade diferir profundamente da realidade histórica – as cinco teorias não foram, historicamente, analisadas simultaneamente, pois cada uma constituiu-se em resposta a dados específicos e teorias concorrentes da época. Além disso, a atividade organiza cada explicação, explicitando condições iniciais e, tanto hipóteses e premissas declaradas, quanto subjacentes. Os cientistas raramente trabalham com raciocínio estruturado dessa forma. Outra objeção: como os dados são fornecidos aos estudantes, a

atividade não contempla o papel do projeto experimental e a influência da intencionalidade na coleta de dados.

Assim, Allchin (op. cit.) conclui que a atividade utiliza-se de um processo de raciocínio idealizado onde, ao contrário, deveria recriar para os estudantes contexto real de julgamento científico. Afirma, ainda, que o problema de se ensinar através de reconstruções racionais é que a História – e, portanto, o processo da Ciência – aparece invertida; isto é, não se apresenta aos estudantes contexto análogo ao do desenvolvimento "cego" da Ciência, ao longo do qual não são conhecidos os resultados que, no final das contas, prevaleceram.

Apesar dessas afirmações serem, de fato, legítimas, isto é, apesar da atividade dos terremotos tratar-se de uma reconstrução e, não, de uma simulação histórica, poder-se-ia ressaltar o fato da prática científica *não* garantir a consciência e compreensão do raciocínio subjacente a diferentes teorias científicas e o desenvolvimento de habilidades de comparação e avaliação de teorias, objetivos, estes, eleitos por Duschl para a atividade em questão. Para esta conclusão, basta constatar o baixo nível de sofisticação filosófica, em geral, apresentado pelos cientistas (Shapiro, 1994, apud Alters, 1995, p. 35), os quais não são versados ou instruídos quanto à natureza de sua própria atividade.

Tal constatação não é uma surpresa, pois está de acordo, por exemplo, com a teoria da abstração reflexionante de Piaget (1995, p. 279): na passagem do plano da ação para o da conceitualização, ocorre uma construção mais efetiva do que possa parecer, pois a “tomada de consciência” está sujeita a múltiplas deformações e seu ajustamento pode ser bastante trabalhoso. Neste caso, a reconstituição exige um esforço inferencial não desprezível; uma construção, pois, em parte, nova. Em outras palavras, o fato de participar da atividade de pesquisa científica não garante a consciência do sujeito para a natureza de sua prática, o que pode ser favorecido pela reflexão distanciada e contextualização histórica.

Analisando, ainda, as idéias propostas por Duschl (1995), o autor defende, também, ampla associação entre as áreas de conhecimento. Por exemplo, ao contemplar-se, em sala de aula, a habilidade de articulação de teorias ou o raciocínio sobre explicações científicas – realizações descuidadas no ensino de Ciência (Ohlsson, apud Duschl, 1995) –, está sendo favorecido, tanto o desenvolvimento de habilidades cognitivas, quanto o conhecimento epistemológico da Ciência. Assim, Duschl (op. cit.) sustenta, como um dos elementos primordiais de um programa de estudos, a adoção de atividades de instrução que façam com que os estudantes participem da construção e avaliação de argumentos e explicações.

Considera, além disso, que a aquisição de conhecimento – declarativo (fatos, termos e conceitos) e procedimental (métodos científicos de raciocinar e conhecer) – constitui-se numa atividade social. Assim, sugere que os professores, ao tomarem decisões sobre sua

prática instrucional, incluem considerações a respeito não apenas de conceitos científicos e processos da Ciência mas, também, da dinâmica social de sala de aula.

Pesquisas demonstram que, quando aumentam as oportunidades de discussão e argumentação, também se incrementa a habilidade dos alunos compreenderem os temas submetidos à investigação e os processos de raciocínio envolvidos (Newman, Griffin & Cole 1989; Resnick, 1987; Rogoff & Lave 1984, apud Duschl, 1995). Autores como Deanna Kuhn (apud Duschl, 1995) defendem a habilidade de argumentação como uma das realizações mais importantes da educação científica.

Duschl (op. cit.) sustenta, desta forma, a argumentação e a explicação como práticas e objetivos das estratégias de aprendizagem. Na mudança de enfoque proposta, as atividades instrucionais devem ser elaboradas para permitir: 1) produção de idéias e explicações por parte dos estudantes; 2) discussão sobre essas idéias e sua compreensão e 3) avaliação e *feedback* das mesmas.

Nota-se a concordância com o que Wheatley (1991) denomina de "aprendizagem centrada no problema", cujas três componentes essenciais seriam a tarefa, o trabalho em grupo, o compartilhamento das idéias. Os estudantes, inicialmente, se debruçam sobre o problema em pequenos grupos, sendo o papel do professor, nesse momento, o de promover o trabalho cooperativo. Num segundo momento, a classe reúne-se como um todo para o compartilhamento das idéias.

Carvalho et al. (1995), ao discutirem o papel das atividades na construção do conhecimento em sala de aula, também sugerem, como procedimento de ensino, atividades de discussão, inclusive por sua utilidade na superação de dificuldades enfrentadas pelos professores, como a impossibilidade de identificação de um ponto único através do qual possam coordenar o trabalho de todos os estudantes. As atividades exigem do professor gradações distintas, o que inclui perguntas intermediárias, esclarecimento de dúvidas e sugestões adequadas a cada caso. Atividades de discussão – tanto as que se realizam em pequenos grupos, quanto entre o professor e todo o grupo – facilitariam tais procedimentos.

Além disso, considerando-se a dimensão social do conhecimento, situações de aprendizagem incluem, necessariamente, o diálogo. A importância que a socialização e o trabalho em grupo têm para o desenvolvimento cognitivo vem sendo demonstrada por diversos pesquisadores (Doise e Mugny, 1984; Haste, 1987; Piaget e Inhelder, 1969, apud Wheatley, 1991).

Desta forma, é preciso que os estudantes tenham oportunidade de compartilhar suas idéias com seus pares, tanto em pequenos grupos, quanto com a sociedade da sala de aula. Pequenos grupos proporcionam oportunidade para os estudantes explicarem e defenderem seus pontos de vista, processo que estimula a aprendizagem. No processo de contar aos

outros como pensam sobre um problema, os estudantes elaboram e refinam seus pensamentos e aprofundam sua compreensão (Wheatley, op. cit.).

Soma-se ainda, nessas situações de diálogo, o fato dos estudantes serem estimulados por desafios a suas idéias, reconhecendo a necessidade de reorganizá-las e reconceitualizá-las. Como afirmam Noddings e Shore (1984, apud Wheatley, op. cit.), "A maior parte de nós precisa do interesse e do criticismo construtivo de outros, melhor informados". Além disso, o próprio ato de formular a maneira de expor pontos de vista promove ao indivíduo reflexão, o que leva à revisão (Haste, 1987, apud Wheatley, op. cit.).

É importante observar que o trabalho em grupo não é aqui entendido como um momento no qual os estudantes simplesmente opinam sobre o assunto em questão. Conforme alertado por Matthews (1994b), grandes questões do desenvolvimento científico trazem discussões que requerem análise sofisticada, além de informação sobre tópicos específicos da História da Ciência e da Filosofia da Ciência. O presente trabalho propõe, a partir do fornecimento, através de textos, de informações e dados sobre alguns tópicos específicos, que seja dada oportunidade aos estudantes para explicitação, contraste e negociação de idéias, favorecendo-se, dessa forma, a análise primeira de questões epistemológicas da Ciência.

2.3 Concepções sobre Ciência - Diagnóstico e intervenção

2.3.1 Introdução

Driver, num artigo de 1986, propõe uma sistematização das características de propostas construtivistas de ensino. Entre elas, pode-se destacar, a despeito das diferentes nuances, pontos de concordância com as idéias contidas no presente trabalho, bem como, com as propostas de Duschl (1995), Gil-Pérez (1995) e Wheatley (1991):

- Ter em conta os conhecimentos e idéias prévias dos estudantes;
- Proposição de situações problemáticas;
- Aluno responsável por sua aprendizagem;
- Diálogos e discussão em sala de aula.

Wheatley (op. cit.) recomenda que, para identificar situações potencialmente problemáticas, o professor deve estar atento aos conhecimentos e idéias dos estudantes.

O conhecimento das idéias e representações de alunos e alunas sobre conteúdos que são objetos de aprendizagem escolar é considerado de suma importância, não apenas para

melhorar o ensino de tais conteúdos, mas, a prática educativa de forma geral (Gómez-Granell & Coll, 1994).

Entretanto, Gómez-Granell & Coll (op. cit.) criticam o caráter excessivamente descritivo dos trabalhos nesta temática. Apontam como *o tópico pendente* da perspectiva construtivista, pesquisas psicológicas que descrevam, não mais de forma geral, os processos cognitivos subjacentes ao pensamento, mas, mais especificamente, os processos de ensino e aprendizagem (Pozo, 1993, apud Gómez-Granell & Coll, op. cit.). Tal pesquisa teria o intuito de explicar como se produz a mudança cognitiva e a aquisição de novos conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais.

Apesar das críticas, no final da década de 80, as pesquisas em pré-concepções passaram a dedicar atenção especial, não apenas às idéias dos professores sobre a natureza da Ciência, o ensino e a aprendizagem, mas, também, às influências dessas concepções no processo de ensino/aprendizagem (Gil-Pérez, 1995). Salienta-se o professor como um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso ou fracasso de projetos curriculares - seu conhecimento, entusiasmo, atitudes e filosofia educacional (Matthews, 1994b; Shymansky et al., 1992).

Segundo Matthews (1994b, p.83), sempre que se ensina Ciência, de alguma forma, Filosofia é também ensinada. Isto ocorre, no mínimo, através da epistemologia do professor, ou sua concepção de Ciência – seguramente constituída informalmente – que é passada para os alunos, determinando a visão de Ciência que constroem em sala de aula.

Além disso, a concepção que os estudantes fazem de Ciência é, em grande parte, responsável pelas atitudes negativas apresentadas, por grande parte deles, com relação à aprendizagem de Ciência (James & Smith, 1985; Schibeci, 1984; Yager & Penick, 1986, apud Gil-Pérez et al., 1994).

Nesse sentido, Vásquez Alonso et al. (1995) defendem o que denominam de educação das atitudes como conteúdo de aprendizagem autônomo, num plano de igualdade com os conteúdos conceituais e metodológicos da Ciência.

Alertam, entretanto, para a aparente dissociação entre atitudes e representações de Ciência. Isto é, para a maior parte dos professores, o conceito de "atitude" é implicitamente identificado com a disposição dos estudantes em relação à aprendizagem de Ciência, o que se operacionaliza, por exemplo, através do interesse dos alunos por Ciência, a motivação por seu estudo, ou a pontualidade no cumprimento das tarefas escolares.

Os autores criticam o caráter reducionista e instrumentalista desta concepção, afirmando que a mudança atitudinal implica, não apenas em atitudes relacionadas com o ensino/aprendizagem de Ciência (e Tecnologia), mas, em duas outras categorias: atitudes relacionadas com as interações entre Sociedade, Ciência e Tecnologia e atitudes

relacionadas com o conhecimento científico e técnico – características dos cientistas, construção coletiva do conhecimento e natureza do conhecimento científico. Isto é, vinculam a disposição dos estudantes para o aprendizado da Ciência com a compreensão que têm do empreendimento científico, incluindo seu processo de construção.

Apesar da relação e superposição dessas três categorias relativas a conteúdo atitudinal, serão apresentados, para ilustrar a extensão do problema, resultados de alguns estudos que enfocam, mais especificamente, as duas últimas, ou seja, as concepções sobre Ciência tanto de estudantes, quanto de professores secundários em formação ou em serviço.

2.3.2 Concepções de professores e estudantes secundários sobre Ciência

Díaz (1995) aponta alguns dos principais resultados obtidos em trabalhos recentes sobre a crença de estudantes cursando, ou após o término do nível secundário (Fleming, 1987; Zoller et al., 1990, 1991a), estudantes universitários de ciências (Fleming, 1988) e professores em formação ou em serviço (Rubba & Harkness, 1993; Zoller et al., 1991a,b):

- Quanto a suas repercussões sociais, identifica-se a Ciência e a Tecnologia como uma empresa única ("Tecnociência"), com grande dificuldade na distinção dos papéis de ambas.

- Muitos consideram a Tecnologia como hierarquicamente dependente da Ciência, sendo a primeira mera aplicação da segunda.

- Em relação à tomada de decisões importantes sobre a Tecnologia, com implicações sociais, há a tendência em se apoiar um modelo tecnocrático, baseado na opinião de especialistas. Além disso, atribui-se aos governos, através de suas agências especializadas, a coordenação de programas de investigação e desenvolvimento, o que também supõe uma política de caráter tecnocrático.

O autor menciona resultados análogos obtidos através de metodologias e instrumentos diferentes. Assim, por exemplo, para a maioria dos professores do ensino secundário de Perth, Austrália, a Tecnologia constitui-se na aplicação prática da Ciência no mundo moderno, com o intuito de produzir artefatos, melhorar a qualidade de vida, ou fabricar novos dispositivos e equipamentos técnicos que, por sua vez, seriam utilizados para aumentar os conhecimentos científicos. Estas idéias implicam a crença de que a Tecnologia está subordinada à Ciência, o que foi inclusive explicitamente mencionado por alguns professores (Rennie, 1987, apud Díaz, 1995).

Num artigo de 1995, Stiefel menciona uma pesquisa realizada por Sandra K. Abell (1994) com professores em formação. Os resultados do trabalho indicam uma visão de Ciência dominada pelo realismo ingênuo: a Ciência como busca da verdade absoluta, ou como um método para descobrir tudo o que existe no mundo. Nesta perspectiva, os professores que se referem à Ciência como processo (saber fazer coisas: observar, comprovar etc), têm um ponto de vista positivista. Aqueles que falam da Ciência como conjunto de descobertas (descobrir e explorar) estão num meio termo entre realismo ingênuo e indutivismo. Os professores que mencionam explicações (como funciona o mundo) podem ser também incluídos nos modelos anteriores. Muito poucos, cerca de 2% da amostra, fazem alusões aos aspectos criativos das descobertas científicas.

Os professores não mencionam as teorias e seu valor preditivo, pressupõem que o conhecimento emerge diretamente da observação. Pode-se concluir, também, que ignoram os aspectos sociais da Ciência, não aparecendo alusões ao papel da comunidade científica, a equívocos de investigadores, suas crenças ou dilemas éticos.

Gil-Pérez (1995), ao abordar as concepções de professores, salienta o fato destas não serem restritas ao indutivismo tantas vezes denunciado. Aponta, além desta, outras distorções (Gil-Pérez, 1993; Hodson, 1993; Meichstry, 1993; Guilbert & Meloche, 1993):

- Extremo indutivismo – observação e experimentação não sujeitas a idéias apriorísticas, com a desconsideração do papel de hipóteses e teorias.

- Visão rígida – algorítmica, exata, infalível, dogmática. O "Método Científico" é apontado como uma seqüência linear de etapas a ser seguida passo a passo.

São salientados o tratamento quantitativo e o controle, esquecendo-se – ou mesmo rejeitando-se – qualquer relação com criatividade, inventividade e tentativas preliminares. O conhecimento científico é apresentado em seu estado "final", sem qualquer referência, seja a situações problemáticas em sua origem ou evolução histórica, seja a limitações desse conhecimento, que aparece como verdade absoluta e imutável.

- Visão cumulativa. O conhecimento científico é identificado como resultado de desenvolvimento linear, ignorando-se crises e reestruturações profundas.

- Visão do "senso comum", que apresenta o conhecimento científico como claro e "óbvio", em detrimento das diferenças estruturais entre as estratégias científicas e o pensamento do senso comum.

- Visão elitista. Os significados são encobertos pelas expressões matemáticas. O aprendizado de Ciência acaba sendo encarado como domínio reservado a minorias melhor dotadas.

- Visão individualista. A Ciência é apresentada como atividade isolada de "grandes cientistas", ignorando-se o papel do trabalho cooperativo e da interação entre diferentes grupos de pesquisa.

- Visão socialmente "neutra". A Ciência é encarada como atividade desenvolvida em "torres de marfim", esquecendo-se as relações complexas entre Ciência-Tecnologia-Sociedade, como, também, a importância da tomada coletiva de decisões em tópicos sociais relacionados à Ciência e à Tecnologia.

Como tais crenças podem ter sua origem na educação formal ou informal (como meios de comunicação), ou seja, como estão subordinadas às diferentes tradições culturais, sociais e políticas dos diversos países, poderiam apresentar mudanças de acordo com o país em questão (Díaz, 1995).

Entretanto, tal fato não é confirmado. No Brasil, por exemplo, pesquisa realizada com estudantes secundários, por Moraes et al. (1990), no Rio de Janeiro, constatou grande concentração de representações identificando Ciência com natureza. Quando questionados a respeito da existência da Ciência anteriormente ao homem, os alunos responderam afirmativamente; como expresso na fala de um aluno:

"A Lua gira em torno da Terra *por causa* da lei da gravitação".

Na análise de desenhos feitos pelos estudantes, verificou-se que a grande maioria tinha a Ciência como cópia do mundo natural, com árvores, bichos etc. Em acordo com esta concepção, os estudantes entendem que o cientista desnuda a Ciência, e não a constrói, como na fala do aluno:

"A Ciência sempre existiu".

Constatou-se, também, que os estudantes têm forte tendência em desvincular Ciência e Tecnologia de quem as produz. Estas seriam constituídas por um conjunto de resultados obtidos a despeito de um processo de decisão conduzido a partir de uma finalidade específica.

Nesse sentido, o discurso científico é ideológico, na medida que oculta a relação da Ciência com o contexto sócio-cultural em que esta é produzida. Sendo a Ciência a própria natureza, a qual precisa somente ser desvelada pelos cientistas, as decisões tomadas em bases científicas seriam inquestionáveis, pois a Ciência não é entendida como *construção* humana. Esta concepção possui sustentação em apenas um aspecto – o caráter preditivo da Ciência, de fato importante para a tomada de decisões. Entretanto, ao considerarmos a Ciência a partir de seus modelos explicativos, tal concepção carece de respaldo, já que os modelos poderiam ser outros por conta das circunstâncias em que foram elaborados, contanto que as previsões pudessem ser verificadas.

Desta forma, alguns estudantes afirmaram, inclusive, que a sociedade atrapalha a Ciência e que, sem a "sociedade", esta se desenvolveria mais rapidamente. A Ciência seria, portanto, uma atividade ahistórica; a experiência, soberana em uma teoria científica. Não haveria uma influência das relações sociais sobre o desenvolvimento científico e tecnológico; ao contrário, estas atividades é que influenciariam a sociedade. Assim, os estudantes se vêem submetidos à Tecnologia. No comentário de um estudante:

"Mas a verdade é que sem Tecnologia, hoje, nós todos não teríamos a mínima condição de existência, e, então, ela mesmo não sendo usada em benefício próprio é indispensável para a nossa vida".

3 Considerações Finais

Conteúdos curriculares são sistematicamente identificados, de modo limitante, com fatos e conceitos. Coll (1992) propõe que se amplie esta concepção, de tal forma a englobar os procedimentos e as atitudes, os valores e as normas. Desta forma, teriam importância fundamental no currículo de Ciência, não apenas o conteúdo específico, tal como é geralmente entendido, mas, também, por exemplo, "determinadas estratégias ou habilidades para resolver problemas, selecionar a solução pertinente numa determinada situação, ou utilizar os conteúdos disponíveis para enfrentar situações novas ou inesperadas. Além disso, também faria parte da educação escolar saber trabalhar em equipe, mostrar-se solidário com os colegas, respeitar e valorizar o trabalho dos demais [...]".

Subjacente à concepção tradicional de conteúdo curricular, existe a "[...] crença implícita de que, ao contrário do que ocorre com os fatos e conceitos, os alunos podem aprender os procedimentos e valores, as atitudes e normas por si próprios sem a necessidade de uma ajuda pedagógica sistemática e planejada. Esta crença carece totalmente de justificativa teórica e de apoio empírico" (Coll, op. cit.).

Propõe-se aqui, justamente, a ampliação do currículo tradicional. Parte-se da idéia de que a História da Ciência proporciona idéias excelentes para atividades problematizadoras (Carvalho et al., 1995), promovendo não apenas o conteúdo conceitual e metodológico da Física, mas, também, habilidades de pensamento crítico e atitudes sociais, além do interesse dos estudantes pelos desdobramentos da Ciência.

As oposições, conforme discutido (item 1.3), não comprometem a aproximação da educação científica com a História e Filosofia da Ciência. Ao contrário: ignorar as dimensões histórica e filosófica da Ciência favorecem, conforme alertado por Gil-Pérez (1985, apud Castro et al., 1995), visão distorcida da atividade científica, baseada em concepções empírico-indutivistas – a Ciência como composta de verdades incontestáveis.

Em contraposição, a proposta deste trabalho é trazer para sala de aula, reflexão sobre o desenvolvimento da Ciência. Para tanto, foram selecionados momentos de controvérsia na História da Ciência, donde questões epistemológicas são apresentadas como situações problemáticas para os estudantes.

Foram elaborados textos sobre tais episódios, conforme recomendação para a leitura feita pelo *National Research Council* (E.U.A.) (1993, apud Kipnis, 1995), em particular, de estudos ou relatos de estudos científicos. É importante salientar que foram tomadas precauções em relação aos eventuais problemas de tal estratégia: a dificuldade dos textos originais e a inexatidão dos demais.

III ALGUNS EPISÓDIOS DA HISTÓRIA DA ÓTICA NO SÉCULO XVII

Pretende-se, neste capítulo, apresentar revisão sobre a história da Ótica no século XVII, embasamento para a elaboração das atividades desenvolvidas neste trabalho. Serão analisados episódios específicos, os quais constituem-se na temática de cada uma dessas atividades.

1 Antecedentes

Quanto à história das idéias acerca da luz, no período anterior ao século XVII foram mais fecundas as descobertas acerca de propriedades da luz e desenvolvimento de aparatos, do que as hipóteses quanto à sua natureza. Embora abundante, a produção precedente é caracterizada pelo tratamento essencialmente linear e geométrico das propriedades da luz, enquanto que os questionamentos sobre sua natureza têm o cunho de especulações metafísicas. Algumas das manifestações anteriores representam conceitos titubeantes e confusos, os quais podem, tão somente, ser considerados como “nebulosos engendrados das teorias modernas” (Schurmann, 1946).

No que diz respeito aos gregos, seus estudos focalizaram maior atenção na questão da visão, em concordância com os objetivos então estabelecidos para o conhecimento: "aprender para entender o homem, suas faculdades e função" (Ronchi, apud Abramof, 1989, p.102). Alguns pensadores, como Pitágoras, Platão e Euclides, defenderam a idéia de "raios visuais", ou seja, a visão seria ocasionada pela emissão de luz pelos olhos. Aristóteles, por sua vez, não aceitava tal hipótese, argumentando que, se a visão se desse desta forma, como, então, não era possível ver no escuro?

Euclides introduz, no século II a.C., o conceito de "raio de luz", marco de nascimento da Ótica Geométrica, a qual possibilita a descrição das propriedades da luz, mesmo ao deixar-se de lado, de certa forma, considerações sobre sua natureza física, fisiológica e psicológica.

Resumidamente, são contribuições dos gregos para os conhecimentos a respeito da luz: sua propagação retilínea, explicações ainda incompletas para a visão, o conceito de "raio de luz", estudos experimentais da reflexão e refração, formas primitivas das leis de reflexão e formação de imagens por espelhos planos e esféricos, além de considerações sobre sua velocidade de propagação.

Já no mundo cristão ocidental, o primeiro período da Idade Média é marcado pela substituição dos ideais gregos de compreensão da natureza, através da qual almejava-se a compreensão do próprio homem. Assim, a compreensão da natureza passa a ter, como

propulsor, o "desejo de uma paz imperturbável, conquistada somente pela mente liberta das dependências da matéria e da carne" (Crombie, 1974, p.28-29). Desta forma, o interesse pela natureza restringe-se à possibilidade de encontrar analogias para as verdades religiosas e morais; por exemplo, a Lua, "imagem da Igreja que reflete a luz divina".

Uma tendência que contribuiu para modificar este simbolismo moralizador foi o interesse por problemas práticos. Tem-se, por exemplo, os cálculos aritméticos e astronômicos desenvolvidos para o estabelecimento do calendário, o emprego medicinal de ervas ou a preparação de pigmentos para a pintura.

Além do número crescente de tratados práticos, outro fator de mudança foi o redescobrimto das obras gregas, favorecido pelo restabelecimento de relações comerciais com o mundo árabe. Os textos gregos, antes conhecidos no mundo ocidental quase que exclusivamente através de algumas grandes compilações realizadas nos primeiros séculos da Idade Média, passam a receber, a partir do século XII, traduções do árabe para o latim.

Segundo Crombie (1974), a Ciência que começou então a infiltrar-se no Ocidente cristão foi predominantemente grega no conteúdo e árabe na forma, tendo sido a grande contribuição destes, a concepção do *propósito* com que se devia estudar o mundo natural. O problema principal não consistia na busca de ilustrações para as intenções divinas, nem nas causas naturais que possibilitassem uma explicação racional para os acontecimentos bíblicos ou para aqueles observados no mundo da experiência cotidiana, mas, sim, no domínio sobre a natureza. Uma ilustração para as novas idéias deste período de transição pode ser dada pela declaração de Adelardo de Bath, clérigo erudito e viajante do século XII:

"No me aparto de Dios. Todo lo que existe es por El y de El viene. Pero [la naturaleza] no es algo confuso y sin sistema, y en cuanto ha progresado el conocimiento humano debe prestársele audiencia. Solamente cuando falla abiertamente debe recurrirse a Dios" (apud Crombie, op. cit., p.38).

Quanto ao estudo da luz, algumas contribuições árabes – notadamente os trabalhos de Alhazen (965-1039 d.C.), Alkindi (d.C. 873), Avicena (980-1037) e Averroës (1126-1198) – foram muito importantes, exercendo, ao lado das obras de Aristóteles, Euclides, Ptolomeu e Diocles (século II a.C.), influência significativa sobre os estudiosos dos últimos séculos da Idade Média.

Os trabalhos realizados por Alhazen são dignos de nota, sendo considerados, por Crombie (1974), a fonte principal da Ótica no Ocidente medieval. Alhazen configurou-se em notável exceção ao afirmar que a propagação da luz requeria tempo finito, ainda que imperceptível. Contrapôs-se, assim, à visão aristotélica de instantaneidade, prevalente até o século XII. Além disso, apresenta-se na obra de Alhazen o tratamento mecânico mais completo da reflexão da luz até sua explicação por Descartes, já no século XVII. Alhazen

faz uma analogia entre corpos incidindo em superfícies duras ou elásticas e a luz incidindo em superfícies lisas ou rugosas. Mostrou, também, que o ângulo de refração não era proporcional ao de incidência, estudou espelhos esféricos e parabólicos, lentes e o fenômeno da visão.

Três séculos depois, notando no modelo proposto por Alhazen para a reflexão, o problema da reflexão parcial, o persa Kamal al-Din al-Farisi (d.C. 1320) rejeita a analogia com esferas em movimento, optando por uma interpretação ondulatória da luz baseada numa analogia com a propagação sonora. Além disso, numa explicação semelhante à de alguns de seus contemporâneos ocidentais, como Dietrich de Freiberg, al-Farisi atribui a refração à redução da velocidade da luz ao atravessar uma interface, sendo esta redução proporcionalmente inversa à "densidade ótica", explicação que, segundo Crombie (1974), sugere a proposta feita pelos defensores do modelo ondulatório da luz, no século XVII.

Os estudiosos ocidentais apropriaram-se do novo conhecimento greco-árabe como uma iluminação maravilhosa, mas não definitiva, e como ponto de partida para estudos subseqüentes. Era o sistema racional explicativo de maior alcance e extensão entre todos aqueles conhecidos anteriormente no ocidente latino. Seus princípios gerais dominaram a ciência européia até o século XVII. As modificações e adições foram, em sua maior parte, resultado da extensão gradual da observação, experimentação e do uso das matemáticas, através dos quais os novos estudiosos tentaram, a partir do século XIII, resolver as contradições dos modelos explicativos com os quais tomavam conhecimento (Crombie, op. cit.).

O uso das matemáticas para explicar o mundo físico foi, em muitos aspectos, o problema central da Ciência até o século XVII. De certo ponto de vista, toda história da Ciência européia, do século XII ao XVII, pode ser considerada como uma penetração gradual das matemáticas (combinada com o método experimental) nos campos antes "reservados" exclusivamente para as chamadas Ciências Naturais.

Segundo Aristóteles, influente defensor da separação entre as disciplinas matemáticas e a Física, a Ótica não estava subordinada à Geometria, cujo alcance seria limitado a aspectos quantitativos das coisas materiais. As matemáticas não poderiam explicar a *causa* do comportamento da luz, podiam, sim, dar uma *descrição* do que ocorria. A causa do comportamento observado deveria ser buscado na *natureza* da luz.

Por um lado, contrariamente à concepção aristotélica, a estruturação da Ótica num sistema explicativo deu-se a partir do momento em que as duas coisas foram unidas – com a *matematização* de um modelo físico. Tal modelo explicativo seria idealizado, no século XVII, por Huygens, segundo concepção ondulatória para a luz.

Todavia, por outro lado, confirmando a importância atribuída por Aristóteles à natureza da luz na determinação de seu comportamento, o modelo explicativo proposto por Huygens fundamentar-se-ia, justamente, na questão da natureza da luz e não, tão somente, num modelo matemático descritivo pautado nos chamados "raios de luz".

A consideração da natureza da luz seria o avanço fundamental em relação ao tratamento dado por Descartes ao problema. Para ele, raios geométricos eram, de fato, raios de luz e, não, sua representação. Segundo Alexandre Koyré, essa concepção de raios de luz como "nada mais" que linhas geométricas é, de fato, geométrica, mas, paradoxalmente, geométrica demais para propiciar qualquer tratamento matemático (Sabra, 1981). Poder-se-ia tomar, como contra-exemplo, o pêndulo ideal (fio perfeitamente inextensível e sem massa, massa puntual, ausência de resistência de qualquer espécie); trata-se, essencialmente, de um objeto matemático, o qual propicia, todavia, modelização matemática do comportamento de um pêndulo.

Qual era, então, o estado dos conhecimentos a respeito da luz no início do século XVII ?

A propagação da luz já era considerada retilínea. Utilizava-se o conceito de "raio luminoso". Alhazen havia mostrado que raios luminosos cruzados permanecem independentes. As propriedades de lentes e espelhos eram conhecidas. As primeiras lunetas já haviam sido construídas no final século anterior; os óculos eram conhecidos desde o século XIII. Della Porta (1538-1615) havia transformado a "câmara escura" em instrumento de investigação, colocando uma lente convexa no orifício da câmara. Havia sido realizados estudos de natureza experimental sobre o arco-íris e a decomposição da luz por prismas, designadamente entre os séculos XIII e XVI (Gibert, 1982).

Não se havia chegado a uma explicação razoável para a natureza da luz. Contava-se, desde os gregos, com conhecimentos empíricos sobre os fenômenos da reflexão e da refração; entretanto, não se tinha explicação satisfatória para estes fenômenos, ou para a propagação retilínea da luz, ou para as cores, tampouco para a visão. Não se obtivera ainda a lei dos senos para a refração. A difração e a polarização não eram fenômenos conhecidos. Não se contava com provas conclusivas quanto à infinidade, ou não, da velocidade da luz. Não se explicara corretamente o arco-íris.

Principalmente pela carência de um modelo para explicar os fenômenos luminosos, mas, também, pelos progressos notáveis que ocorreriam ao longo do século, o estado dos conhecimentos a respeito da luz, no início do século XVII, pode ser qualificado de precário estado dos conhecimentos.

Segundo Sabra (1981), René Descartes (1596-1650) pode ser considerado o grande impulsionador dos progressos vindouros, tendo sua obra exercido grande influência sobre os próximos cientistas-filósofos. Duas justificativas respaldam esta afirmação: ele foi o primeiro a publicar a lei correta da refração, ainda que dissociada de um modelo explicativo aceitável. Além disso, Descartes incorporou esta lei numa teoria físico-matemática cujos defeitos se constituiriam no ponto de partida das investigações de Fermat, Hooke, Huygens e Newton. Ou seja, ele não apenas deu à investigação ótica novo ímpeto, como, também, um novo conjunto de problemas e, portanto, nova direção. Sobre o fenômeno da refração fundamentar-se-iam os próximos progressos substanciais da Ótica.

Nos itens seguintes, os temas tratados são correspondentes às atividades desenvolvidas neste trabalho. Assim, o item 2, A Luneta de Galileu e as Explicações para a Refração da Luz, diz respeito à Atividade 1, Parte A. O item 3, à Atividade 1, Parte B, e assim por diante.

2 A Luneta de Galileu e as Explicações para a Refração da Luz (Atividade 1)

2.1 O aperfeiçoamento da luneta

Após três anos lecionando na Universidade de Pisa, onde havia ingressado como estudante de medicina e filosofia, Galileu Galilei transfere-se para a Universidade de Padua. Era o ano de 1592. Galileu passa a ocupar a cadeira de Matemática, que incluía o ensino de Geometria, Astronomia, Engenharia Militar e Fortificação (Santillana, 1976).

Além de professor, Galileu desenvolvia atividades de consultoria em problemas de engenharia civil e militar. Desta forma, provavelmente prevendo a utilidade da luneta para a frota naval de Veneza, contra os turcos, decidiu tentar sua construção (Drake, 1983).

Galileu não inventou a luneta e, de fato, nunca alegou tê-lo feito. Tampouco foi o primeiro a apontar o instrumento para o céu. Um folheto de 1608, isto é, cerca de um ano antes de Galileu confeccionar sua primeira luneta, já falava de um instrumento que fazia os objetos terrestres parecerem mais próximos e, além disso, possibilitava a visão "até mesmo de estrelas que são normalmente invisíveis a olho nu" (Cohen, 1992).

Para a construção de sua primeira luneta, Galileu teria deduzido que uma das lentes da luneta teria que ser côncava e a outra, convexa. Lentes planas não produziam efeito algum; uma lente convexa ampliaria o objeto, mas sem resolução e nitidez, enquanto que uma lente côncava reduziria seu tamanho aparente, mas talvez pudesse eliminar a falta de

nitidez. Tentando esta combinação, com a lente côncava próxima de seu olho, verificou o efeito de fato produzido: era possível observar objetos com suas dimensões ampliadas em três vezes (Drake, 1983).

Nas palavras do próprio Galileu: "Cerca de dez meses atrás, chegou aos meus ouvidos a notícia que um certo Fleming havia construído um instrumento através do qual objetos visíveis, embora muito distantes dos olhos do observador, eram vistos nitidamente, como se estivessem próximos. Várias experiências sobre esse efeito realmente notável eram relatadas. Algumas pessoas depositavam-nas crédito, enquanto que outras, negavam-na. Alguns dias após receber a notícia, veio sua confirmação numa carta do nobre francês Jacques Badovere, a qual fez com que eu me dedicasse completamente à investigação de meios através dos quais pudesse inventar um instrumento semelhante. Pouco tempo depois, tomando como base a doutrina da refração, pude construí-lo.

Primeiro, preparei um tubo de metal, em cujas extremidades fixei duas lentes de vidro, ambas com uma das faces planas, enquanto que a segunda face de uma delas era convexa e a da outra, côncava. Então, olhando através da lente côncava, observei objetos satisfatoriamente grandes e próximos, pois aparentavam estar três vezes mais perto e nove vezes maiores [em área] do que quando vistos a olho nu" (apud Drake, 1983).

Antes do final daquele mesmo ano, 1610, Galileu havia construído telescópios de qualidade satisfatória e poder de ampliação significativo para observações astronômicas. Entretanto, segundo Stillman Drake, seu interesse pela luneta não estava, então, relacionado às observações celestes. Num diálogo imaginado pelo autor, utilizando os próprios personagens de Galileu, Drake (1983) explicita esta posição:

"Sarpi [...] Eu e Galileu tínhamos, por diversas ocasiões ao longo dos muitos anos de relacionamento, discutido sobre Ciência, de modo que ele não havia jamais demonstrado maior interesse pela Astronomia, nem estava pensando em tal assunto quando ouviu falar da luneta holandesa.

Sagredo Pelo que eu conheço dele, seu interesse deu-se pela possibilidade de obter vantagem para Veneza sobre os turcos, através da posse de uma luneta pela nossa marinha.

Sarpi [De fato], no meio de agosto, [Galileu] retornou a Veneza com uma luneta que ampliava oito vezes ou mais. Com ela, da campânula em São Marco, descreveu navios que se aproximavam, duas horas antes que pudessem ser avistados por observadores treinados.

Sagredo [...]Agora, o que fez com que ele voltasse este instrumento comercial e naval para os propósitos da Astronomia?

Sarpi O folheto [de 1608] dizia, no final, que estrelas invisíveis a olho nu eram observadas através da luneta. Talvez nosso amigo tenha logo verificado tal fato, ou tenha-o descoberto ele próprio [...]

Salviati [...]No fim de novembro, enquanto testava-o [um novo telescópio], ao entardecer, ocorreu de apontá-lo em direção à Lua, então crescente. Através do telescópio a Lua apresentou-se tão diferente do esperado, tanto em relação à sua porção iluminada, quanto à escura, que durante todo um mês ocupou a atenção exclusiva de nosso amigo".

Durante o processo de construção e aperfeiçoamento da luneta as dificuldades enfrentadas por Galileu teriam sido de ordem prática. As lunetas das quais se tinha notícia, dotadas de pouco poder de aproximação, eram fabricadas com lentes de óculos. Os problemas eram, então, polir a lente côncava mais profundamente do que se fazia em óculos para míopes e, também, moldar a lente convexa no raio de uma esfera grande, aguçando seu efeito. Como não desejava que nenhum polidor de lentes soubesse seu plano de construção da luneta, Galileu o fez por si próprio. Além disso, utilizaria, posteriormente, vidro duro e cristalino de espessura que não era usada pelos fabricantes de óculos (Drake, 1983).

A contribuição de Galileu para o telescópio é descrita por Cohen (1992) como a transformação da "luneta débil em poderoso instrumento de pesquisa". Ele foi o primeiro a polir lentes objetivas de longo alcance com qualidade suficientemente boa para permitir observações astronômicas de qualidade satisfatória.

Koestler (1989) afirma, todavia, que apesar do telescópio de Galileu ser o melhor existente na época, tratava-se, ainda, de um instrumento rude, sem montagem fixa, e com campo visual tão pequeno que alguém afirmaria: "de assombrar não é que [Galileu] tenha descoberto as luas de Júpiter e, sim, de ter visto o próprio Júpiter" (p. 255).

2.2 Explicações para a refração da luz

Independente da qualidade das observações astronômicas realizadas no século XVII, é inegável que se possa falar da Astronomia antes e após o telescópio. Todavia, apesar de tê-lo aperfeiçoado, permitindo observações celestes, Galileu não sabia explicar porque e como funcionava o telescópio. Somente no ano seguinte, Johannes Kepler publicaria

Dioptrice, um tratado teórico no qual deduziu seus princípios de funcionamento analisando geometricamente a refração da luz por lentes.

Ainda assim, a formulação correta da lei da refração, associada a um modelo explicativo, não era conhecida. Não se tinha ainda um modelo aceitável para explicar porque, afinal, a luz era refratada pelas lentes. Estes fatos só seriam esclarecidos cerca de 70 anos mais tarde por Christian Huygens.

Quanto à lei da refração, tanto Descartes quanto o holandês Willebrord Snell a haviam formulado de maneira exata, o primeiro em termos de senos – $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, e o segundo, em termos de cossecantes.

Descartes, por considerar o raio luminoso como uma projeção de esferas – que perdem mais velocidade ao colidirem com um corpo elástico que com um corpo duro – chegou à concepção errônea de que, num meio mais denso, a velocidade de propagação da luz aumentaria. Elaborou sua lei correta a partir desta hipótese falsa, chegando, portanto, à razão inversa das velocidades em relação aos ângulos de incidência e refração.

Enquanto Descartes fundamentou-se em considerações matemáticas a partir de um modelo conceitual (ainda que problemático), a demonstração de Snell prescinde de um modelo explicativo, estando baseada essencialmente em observações empíricas (Schurmann, 1946).

Na verdade, quanto à natureza da luz, Descartes não seguiu um conceito preciso e fixo. No estudo dos fenômenos luminosos, utilizou o modelo da luz como esferas sem elasticidade, dotadas de movimento de translação (responsável pela propagação da luz) e de rotação (responsável pelas cores – diferentes velocidades de rotação corresponderiam a diferentes cores). Por outro lado, em completa oposição a essa explicação, concebeu a luz como resultado da transmissão do movimento circular das partículas do corpo luminoso às partículas rígidas e perfeitamente contíguas que constituiriam um fluido sutil, o éter; ou seja, a luz como resultado de "pressões" sucessivas exercidas pelo corpo luminoso sobre fileiras de partículas do éter que propagariam-nas instantaneamente. Diz Descartes, em sua obra *Dióptrica*: "A luz [...] chega até nossos olhos por intermédio do ar e outros corpos transparentes, da mesma forma que chega até a mão de um cego, por intermédio de sua bengala, o movimento ou resistência dos corpos" (apud Schurmann, op. cit., p. 43).

Fermat (1608-1665), com seu "princípio do menor tempo", opôs-se à atribuição de maior velocidade de propagação para meios mais densos, mostrando que, com o critério oposto, obtém-se também a lei da refração. Apoiou-se, somente, no "princípio da mínima ação", não escolhendo o "caminho mais curto" para a luz percorrer, mas, sim, o "caminho mais fácil", ou seja, "o tempo mais curto".

Segundo Schurmann (1946), o Princípio de Fermat pode ser considerado o grande princípio da Ótica Geométrica, constituindo-se em “brilhante fundamentação teórica [...]” (Gibert, 1982, p.86).

É mérito do holandês Christian Huygens a primeira modelização matemática bem sucedida da propagação da luz como onda, apresentada à *Académie Royale des Sciences* de Paris em seu *Traité de la Lumière*, de 1679.

Huygens, em seu *Traité de la Lumière*, menciona especificamente Robert Hooke (1635-1703) e Ignatus Pardies como dois entre aqueles que “começaram a considerar as ondas de luz” (apud Sabra, 1981, p.186). Ambos haviam seguido Descartes em sua tentativa de explicar as propriedades da luz pela ação de uma matéria sutil que preenche todo o espaço e permeia toda a matéria.

Hooke, em particular, desenvolve suas idéias através do exame cuidadoso das suposições de Descartes, mantendo sua concepção de um meio propagador da luz caracterizado como perfeitamente denso, incompressível e homogêneo. Avança em direção à teoria ondulatória ao introduzir o conceito de frente de onda, baseando-se na analogia mecânica com ondas propagando-se na água (Whittaker, apud Sabra, op. cit.).

Quanto à transversalidade das ondas luminosas, Hooke afirma em sua *Micrographia*: “*El movimiento de la luz, cuando es producido en un medio homogéneo, se propaga por impulsiones u olas simples y de forma constante, perpendiculares a la línea de propagación*” (apud Schurmann, op. cit., p.47). Todavia, ao analisar o fenômeno da refração quando da mudança de meio de propagação, Hooke o faz considerando a frente de onda *oblíqua* à direção de propagação após a mudança de meio.

Apesar disso, quanto à refração, a contribuição de Hooke é fundamental: ao analisar o comportamento das frentes de onda durante a mudança de meio, estabelece, para tanto, um quadro mecânico bem definido.

Todavia, além de considerar a frente de onda oblíqua à direção de propagação após a mudança de meio, Hooke *assume* com Descartes a relação entre os ângulos de incidência e refração e as velocidades de propagação da luz nos diferentes meios: $\sin i / \sin r = v_r / v_i = n = 4/3$. Assim, fica implícito em sua construção, equivocadamente, que a velocidade da luz é maior para meios mais densos (Sabra, op. cit.).

Segundo Sabra (1981), no modelo proposto por Huygens para a refração, a frente de onda deve ser perpendicular à direção de propagação após a refração, construção que tem como *conseqüência* a relação oposta (e correta) àquela proposta por Descartes: $\sin i / \sin r = v_i / v_r = n$.

Quanto a Ignatus Pardies, seu tratado sobre Ótica perdeu-se, sendo possível formar alguma idéia de seu conteúdo através da parcela publicada de sua obra e de um livro

publicado em 1682 por Pierre Ango, que havia conhecido o manuscrito de Pardies e adotado algumas de suas idéias.

Sua análise do fenômeno da refração seria análoga à de Hooke; entretanto, ele teria representado a frente de onda perpendicular à direção de propagação *também* após a interface entre os meios. Além disso, teria adotado a velocidade de propagação como sendo maior para meios menos densos e, como lei da refração: $\text{sen } i / \text{sen } r = v_i / v_r = n$. Ou seja, a mesma lei de Huygens (e Fermat). Todavia – e aí está a importância de Huygens – esta não parece ser *conseqüência* de um modelo adotado, pois, como Leibniz observa a Huygens, referindo-se ao livro de Ango, este praticamente pressupõe o que almeja demonstrar (Sabra, op. cit.).

Como seria, então, o modelo idealizado por Huygens ?

Seu modelo descreve a propagação da luz com velocidade finita através de um meio etéreo elástico e denso. Cada partícula desse meio comporta-se como fonte de uma onda circular, chamada de onda secundária, comunicando seu movimento a todas as partículas contíguas. Estas ondas secundárias, infinitamente fracas, combinam-se produzindo frentes de onda de efeito observável. Tais frentes de ondas de efeito observável correspondem a superfícies que tangenciam todas as ondas secundárias.

Ou seja, embora Huygens concorde com Descartes que a propagação da luz não se constitua no transporte de matéria do objeto luminoso ao olho, substitui a concepção cartesiana de raios de luz como apenas linhas geométricas formadas por pontos simultâneos. Introduce outro modelo, já proposto anteriormente por Hooke e Pardies, onde as linhas geométricas seriam interceptadas por superfícies esféricas representando *loci* sucessivos de uma perturbação central.

Segundo Huygens, a luz seria emitida por cada ponto do corpo luminoso e não, como na analogia de Pardies com o som, através da agitação do corpo emissor como um todo, ou de parte considerável deste. A propagação luminosa dar-se-ia no meio etéreo através da combinação de ondas esféricas produzidas por cada ponto das superfícies de onda, conforme sua exposição do princípio:

“Se DCF (Figura 1) representa uma onda que emana do ponto luminoso A, seu centro, a partícula B, uma daquelas compreendidas pela esfera DCF, terá formado sua onda particular ou parcial, KCL, que irá tangenciar a onda DCF em C no mesmo instante em que a onda principal que emana do ponto A chega em DCF; é claro que apenas a região C da onda KCL irá tangenciar a onda DCF, ou seja, a região que está numa linha reta traçada por AB. Analogamente, as outras partículas da esfera DCF –tais como bb, dd etc.– irão formar cada qual sua própria onda. Mas cada uma destas ondas será infinitamente fraca se

comparada com a onda DCF, para a composição da qual todas as outras contribuem através da região de sua superfície que esteja mais distante do centro A” (apud Sabra, 1981, p.212-213).

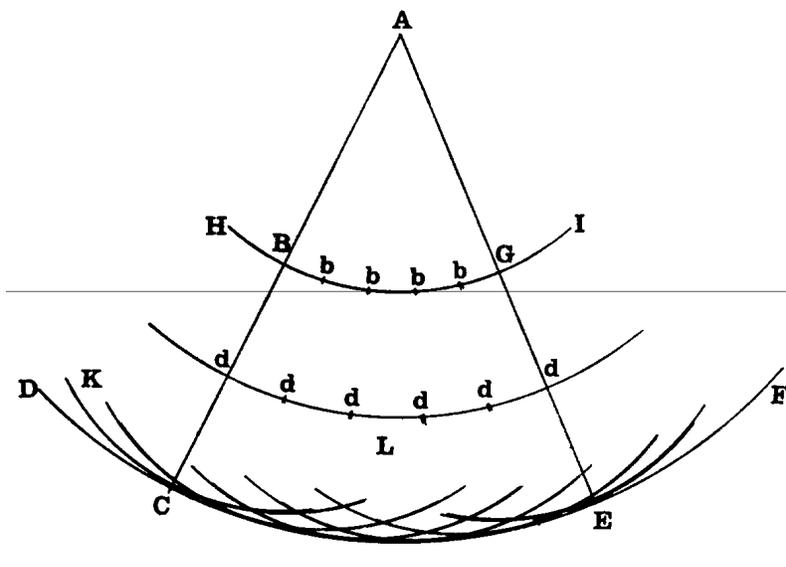


Figura 1

Segundo Sabra (1981), estas afirmações contêm a contribuição fundamental de Huygens para a teoria ondulatória da luz, não sendo encontradas nos trabalhos de Hooke ou, segundo o próprio Huygens, no manuscrito de Pardies.

Este modelo de propagação da luz, por basear-se no princípio das ondas secundárias, não se trata de um quadro geométrico estático como o de Descartes, sendo, por este motivo, passível de tratamento matemático. O mérito de Huygens foi o de ter dado o primeiro passo bem sucedido nesse sentido, o que possibilitou explicações para a propagação retilínea e para a refração da luz.

3 A Controvérsia das Observações Celestes (Atividade 2)

O século XVII se iniciaria sob a autoridade suprema da filosofia natural aristotélica, a qual seria, a partir de então, duramente debatida.

Anteriormente, no século XIII, durante o processo de penetração da teoria aristotélica na cristandade ocidental, a filosofia de Aristóteles havia sido, a princípio, condenada categoricamente. Tal filosofia era, por diversos motivos, inaceitável para a teologia dominante: negava a imortalidade da alma humana individual, negava o livre arbítrio, proporcionava a interpretação do comportamento humano em termos astrológicos

e, além disso, seu sistema era rigidamente determinista, negando que Deus pudesse ter atuado de modo distinto ao que indicava.

Entretanto, já em meados daquele mesmo século, Aristóteles passou a ser aceito como o mais importante dos filósofos. A conciliação entre a fé católica e o sistema aristotélico foi possível a partir da separação, proposta por Alberto Magno e Santo Tomás, entre Teologia e Ciência Natural. Estes seriam dois pontos de vista diferentes sobre a mesma realidade, cada qual com seu método e campo de trabalho próprios. Assim, segundo Alberto, era melhor seguir os apóstolos e padres, ao invés dos filósofos, em questões de fé e costumes. Em assuntos de Física, era melhor seguir Aristóteles, que sabia mais sobre a natureza.

Todavia, para os averroístas latinos, uma das linhas de conduta que começava a perfilar-se, a filosofia aristotélica era dotada de irrefutável verdade racional e, conseqüentemente, a teologia cristã seria irracional ou falsa. Assim, naturalmente, a Igreja condenou a interpretação determinista da teoria aristotélica, isto é, Aristóteles *não* teria dado a última palavra em Metafísica e Ciência Natural.

Desta forma, com o sistema aristotélico, os filósofos da natureza passaram a ter à disposição não somente uma filosofia racional da natureza, mas, também, devido à atitude dos teólogos cristãos, estavam livres para fazer hipóteses sem ter em conta a autoridade de Aristóteles (Crombie, 1974).

Assim, em 1543, Nicolaus Copernicus publica na Alemanha um tratado dedicado ao Papa Paulo III, no qual se posiciona contrariamente às teorias celestes estabelecidas. Eram essas a Filosofia Natural de Aristóteles, e a Astronomia de Ptolomeu, ambas adotadas tanto pelas universidades, quanto pela Igreja (Santillana, 1976).

Previamente às observações astronômicas de Galileu, as quais contrariariam o sistema aristotélico em alguns pontos, a Astronomia oficial, representada por Tycho Brahe, já havia se declarado contrária ao modelo proposto por Copernicus. Apesar do respeito à Copernicus, cônego e estudioso, a posição da Igreja era semelhante. O sistema copernicano foi considerado como conjunto de especulações místicas e metafísicas. Tratava-se de mais uma engenhosidade matemática, certamente destituída de realidade física. Tal posicionamento estava em conformidade com o papel então atribuído à Matemática: coisa para técnicos e *virtuosi*, sem relevância filosófica e realidade física (Santillana, 1976).

Assim, em 1610, quando Galileu publica *Mensagem das Estrelas*, onde anuncia suas descobertas astronômicas, a reação do mundo culto seria, no mínimo, desencorajadora. Na Itália, com raras exceções, os estudiosos foram ou cépticos, ou hostis às observações celestes realizadas com intermédio do telescópio. Alguns deles recusaram-se, até mesmo, a olhar através do telescópio. A maioria afirmava que, embora não houvesse experimentado o

instrumento, sabia de antemão que este não revelaria qualquer coisa de filosoficamente válido.

Galileu escreve a Kepler: "o que você me diz dos sábios daqui, os quais [...] se recusaram, logo de pronto, a olhar através do telescópio? O que devemos pensar? Devemos rir ou chorar?" (apud Santillana, 1976).

Entre as observações celestes descritas em *Mensagem das Estrelas*, tem-se a superfície lunar, a qual Galileu afirma ser montanhosa, como a da Terra. Além disso, relata a observação de estrelas antes nunca vistas e declara ter descoberto quatro corpos celestes orbitando ao redor de um dos planetas já conhecidos, Júpiter.

Assim, por exemplo, quanto às luas de Júpiter, afora os estudiosos que recusaram-se a olhar através da luneta, outros olharam e afirmaram que nada viam; entre eles, o principal matemático de Roma, padre Clavius (Koestler, 1989). Já Magini, professor de Astronomia em Bolonha, prometia "extirpar do céu" os "novos planetas" (no sentido grego original, corpos celestes errantes) (Santillana, 1976).

Todavia, diplomaticamente, Galileu havia denominado os novos corpos celestes homenageando o duque Cosimo II de' Medici, da corte toscana. Uma vez aceita a dedicatória, tornar-se-ia imperativa a existência dos satélites recém observados.

Conseqüentemente, ao se olhar através do telescópio, ver-se-ia um sistema solar em pequena escala. Aí residia uma das causas de hostilidade para com as luas recém descobertas. Sabia-se que Júpiter orbitava em torno do Sol. Assim, constatava-se a possibilidade de um planeta orbitar em torno do Sol e não "perder" seus satélites durante este movimento, o que contrariava o argumento de que a Terra não poderia orbitar em torno do Sol sem que "perdesse" a Lua (Cohen, 1992).

Isto fazia com que a concepção copernicana do sistema solar parecesse mais plausível. Segundo Copérnico, a Terra não estaria parada, mas, como os demais planetas, também orbitaria aproximadamente em torno do Sol. Este modelo contrariava o sistema aristotélico, no qual a Terra, como centro do universo, deveria permanecer imóvel.

Aristóteles havia se proposto a provar que seu sistema era verdadeiro, e mais: que era necessariamente verdadeiro, visto que procedia da essência e perfeição divina. Por argumentos fundamentados em tal postulado, concluiu a imobilidade terrestre. Isto é, ao considerar a atividade divina como eterna, Aristóteles concluiu que o movimento celeste também deveria sê-lo, pois este constituía-se em criação divina. E, finalmente, como "*al cielo se le ha dado un cuerpo circular cuya naturaleza es moverse siempre en círculo, [...] la tierra es necesaria porque el movimiento eterno de un cuerpo necesita el reposo eterno en otro*" (apud Crombie, 1974, p. 62).

A existência dos satélites de Júpiter era, realmente, um bom indício para o sistema heliocêntrico, refutando o argumento aristotélico da impossibilidade da Terra orbitar em torno do Sol sem “perder” a Lua. Talvez por isso mesmo, muitos estudiosos preferiram não rever tal argumento, mas, simplesmente, desconsiderar a possibilidade da existência dos satélites de Júpiter.

Dessa forma, Galileu atribuía, não sem razão, importância vital ao descobrimento dos satélites:

"[...] temos aqui um argumento excelente e excessivamente claro para tranquilizar os escrúpulos dos que podem tolerar a revolução dos planetas em volta do Sol no sistema copernicano, mas ficam tão perturbados com a revolução da Lua em torno da Terra, ao mesmo tempo em que ambas descrevem uma órbita anual em volta do Sol, que consideram impossível esta teoria do universo" (apud Koestler, 1989, p.25).

Além dos satélites de Júpiter, Galileu relata em *Mensagem das Estrelas*, suas observações lunares: "[...] pode-se constatar, com a certeza absoluta dos sentidos, que a Lua não é revestida de uma superfície suave e polida, mas é, de fato, rugosa e irregular, toda coberta (como a superfície da Terra) de proeminências gigantescas, vales profundos e abismos" (apud Drake, 1983, p.18).

Acreditava-se na época, segundo concepção aristotélica, que a superfície da Lua, como a dos demais corpos celestes, seria perfeitamente lisa e esférica. Van Helden (apud Cohen, 1992) observa que, embora observações lunares já houvessem sido realizadas com o auxílio de telescópio, mesmo antes de Galileu, ele teria sido o primeiro a tomar consciência de que estas podiam significar que a Lua era dotada de características terrestres.

Entretanto, em contraposição à afirmação de Galileu, segundo o qual "pode-se constatar, com a certeza absoluta dos sentidos" que a superfície da Lua é dotada de relevo irregular, Cohen (1992) salienta o período de tempo que Galileu teria precisado para chegar a tal conclusão.

Num apêndice intitulado *O que Galileu "Viu" nos Céus*, Cohen aponta os "dados brutos" dos quais Galileu teria disposto: um número maior de manchas que o esperado. Observações posteriores teriam levado com que estabelecesse analogias com fenômenos terrestres. Por exemplo, certas "manchas escuras pequenas" tinham, na direção oposta ao Sol, "contorno brilhante, como cumes iluminados". De forma semelhante, ao nascer do Sol, "observamos [na Terra] os vales ainda não iluminados, embora as montanhas ao redor, do lado oposto ao Sol, já estejam em chamas com brilho glorioso".

Outra observação "surpreendente": uma série de pontos brilhantes que gradualmente aumentavam de tamanho até unirem-se à parte iluminada da Lua, que tinha, também, nesse meio tempo, aumentado de tamanho. Analogamente, "na Terra, antes do nascer do Sol, os cumes das montanhas mais altas não são iluminados pelos raios solares enquanto que as planícies permanecem na sombra?" (Galileu, apud Cohen, 1992, p. 189).

Segundo Cohen (1992), esta transformação intelectual das observações lunares em conclusões que estavam de acordo com o que Galileu denomina "a antiga opinião pitagórica de que a Lua é como outra Terra", teria sido motivada por seu comprometimento para com o sistema copernicano. Para Copérnico, a Terra seria um planeta como qualquer outro, ou como a Lua e, desta forma, não estaria especialmente sujeita a permanecer imóvel no centro do universo. Além disso, ficava profundamente abalada a distinção entre objetos celestes e terrestres, os quais, segundo Aristóteles, seriam de naturezas e substâncias completamente distintas (Santillana, 1976).

Também indício contrário ao sistema celeste aristotélico, foi a observação, através da luneta, de estrelas invisíveis a olho nu: "Trata-se, sem dúvida, de um grande feito aumentar a multidão de estrelas fixas visíveis perante nossos olhos desajudados, expondo-as claramente aos olhos em número dez vezes maior que o das estrelas antigas, familiares" (Galileu, apud Drake, 1983, p.18).

Apesar do otimismo de Galileu, a descoberta de um grande número de novas estrelas invisíveis a olho nu contradizia a concepção vigente, segundo a qual estas teriam sido criadas para o deleite humano. Como? Se só podiam ser vistas através de um instrumento?! Além disso, as novas estrelas traziam à tona mais uma controvérsia: a possível infinidade do universo, rejeitada por Aristóteles.

Assim, as observações celestes, que se constituíam, nas palavras de Galileu, "irrecusáveis evidências dos olhos", foram duramente contestadas ou, simplesmente, desconsideradas por aqueles que apoiavam o sistema proposto por Aristóteles e defendido por Ptolomeu.

Um dos estudiosos da época sustentaria, como argumento contrário à luneta, o fato de ser impossível que os antigos não houvessem idealizado o instrumento, visto que eles haviam se sobressaído em todos os sentidos.

Outro afirmaria, mesmo antes de entrar em contato com a luneta, que esta teria sido inventada por Aristóteles. Ele teria localizado, num trecho da obra de Aristóteles, justificativas pelas quais estrelas poderiam ser vistas, mesmo durante o dia, ao olhar-se o céu do fundo de um poço. Sua argumentação, a partir de tal trecho da obra aristotélica, seria citada pelo próprio Galileu nas palavras de Salviati: "Temos o poço, que representa o tubo; temos os vapores espessos, de onde a invenção das lentes foi tomada e, finalmente, temos o

aguçamento da visão quando os raios atravessam o meio diáfano, mais denso e escuro" (apud Matthews, 1989, p.65).

Ainda assim, diria outro estudioso, isto não queria dizer que Aristóteles fosse favorável a tal instrumento. Em sua obra, as conclusões eram provenientes de observações realizadas a olho nu e, portanto, instrumentos não eram propícios para a observação dos objetos celestes (Santillana, 1976).

É importante salientar que este posicionamento não era sem motivo. Apesar de parcialmente cegados devido aos referentes teóricos e metodológicos que traziam, e que estavam sendo contrariados pelo novo instrumento e pelas novas observações, outros fatores contribuíram para a controvérsia criada em torno do telescópio. Em primeiro lugar, a já mencionada qualidade das observações. Além disso, Galileu não sabia explicar porque e como funcionava o telescópio, o que dava margem a acusações das imagens serem ilusão de ótica provocada pela atmosfera, ou mesmo, criações do instrumento (Koestler, 1989).

Duvidava-se que as imagens vistas através do telescópio fossem dignas de crédito, constituindo-se em distorções devidas à refração da luz pelas lentes. Sizzi, italiano como Galileu, escreve um livro onde apresenta argumentos para desacreditar observações realizadas através do telescópio, como no trecho a seguir:

"Eu também, numa ocasião, participei de observações. Vi os mesmos fenômenos que todos os outros presentes [...] Tendo considerado cuidadosamente a estrutura do *perspicillum* percebi, de repente, que havia algum erro ou deturpação de visão naquele fenômeno; assim, após tais reflexões, comecei a escrever algumas coisas dos mistérios da Ótica e Astronomia".

Em seguida, Sizzi atribui o "erro ou deturpação da visão" ao próprio fenômeno da refração da luz: "[...] A observação se dá através de diferentes meios diáfanos mais densos que o ar, que são cristais e vidros. [...] Sempre que olhamos um objeto qualquer através de um meio mais denso há, necessariamente, a refração na superfície do corpo mais denso" (apud Drake, 1983, p.152).

Também contribuiria para as acusações de Sizzi o conhecimento de outro fenômeno originado pela refração da luz, denominado *parahelia* – a aparente multiplicação do número de sóis no céu. Sizzi compara a aparente ampliação de objetos à multiplicação de imagens: ambos não ocorreriam a olho nu, mas na presença do fenômeno de refração. Desta forma, os satélites de Júpiter, observados através do telescópio, não seriam mais reais que as imagens multiplicadas do Sol.

Entretanto, podia-se argumentar que não havia "erro ou deturpação da visão", por exemplo, quando se observava uma janela através do telescópio. A única modificação impressa à janela, observada a uma dada distância, era sua aproximação.

Restava ainda outro problema: Galileu declarara a possibilidade da observação de estrelas invisíveis a olho nu e, neste caso, o telescópio poderia estar *produzindo* as imagens, ao invés de aproximá-las até que fossem perceptíveis à visão humana. Já essa hipótese poderia ser contestada pela recente observação de olhos e pequenos órgãos de moscas, invisíveis a olho nu. A estrutura de criaturas muito pequenas foi constatada como muito semelhante à dos animais melhor conhecidos, de forma que a produção da imagem dessas estruturas pela refração da luz seria altamente improvável.

Apesar disso, naquela época, tais argumentos lógicos para objetos terrestres não eram necessariamente válidos para objetos celestes, visto que Aristóteles havia declarado que objetos celestes e terrestres eram de naturezas e substâncias completamente distintas.

Johannes Kepler foi um dos primeiros a erguer-se publicamente em defesa de Galileu. O astrônomo, mesmo *antes* de qualquer contato com o telescópio, confiou nas observações astronômicas relatadas por Galileu e ofereceu-se publicamente para servir-lhe de "squire" ou "escudeiro" contra os adversários do telescópio. Seu apoio era importante, visto que Kepler era considerado na época o primeiro astrônomo da Europa, ocupando o cargo de *Mathematicus Imperial*, em sucessão a Tycho Brahe (Koestler, 1989).

Na verdade, algumas das novas observações astronômicas, como os satélites de Júpiter, fortaleciam o sistema copernicano no qual Kepler e Galileu acreditavam. Assim, apoiando publicamente as descobertas astronômicas, sem nunca tê-las visto, Kepler escreve a Galileu:

"Exige a lei seja cada um merecedor de confiança, a não ser que se prove o contrário, e este é muito mais o caso, visto garantirem as circunstâncias a confiança. Com efeito, não estamos lidando com um problema filosófico e sim com um problema legal: Galileu terá deliberadamente iludido o mundo com um embuste?..."

Não desejo ocultar-vos que a Praga chegaram cartas de alguns italianos que negam terem visto tais planetas através de vosso telescópio.

Pergunto a mim próprio como é possível que tantos neguem [a existência deles], inclusive os que possuem telescópio...Peço-vos, portanto, meu Galileu, que me citeis testemunhas o mais breve possível. De várias cartas por vós escritas a outros soube que não careceis dessas testemunhas. Quanto a mim, não posso citar testemunho nenhum, a não ser o vosso..." (apud Koestler, 1989, p.259).

Há mais de dez anos, Kepler e Galileu se correspondiam. Embora não viesse a fazê-lo publicamente e explicitamente até 1613, nessas cartas, Galileu posicionara-se favorável ao sistema copernicano (Koestler, 1989). Em 1597, treze anos antes do advento do telescópio, Galileu escreveu a Kepler: "Como você, eu adotei a posição copernicana há vários anos [...] Escrevi muitos argumentos e refutações sobre o assunto mas, até hoje, não ousei revelá-los, tendo sido precavido pela sorte do próprio Copérnico [...], ridicularizado e desonrado. Eu publicaria minhas reflexões se houvessem muitos outros como você; mas, como não há, deverei abster-me" (apud Santillana, 1976, p. 11).

Em sua resposta, Kepler reclamaria a Galileu que se posicionasse publicamente. "Com seus argumentos você [...] ajudaria seus pares, sujeitos a tantos julgamentos injustos, pois eles obteriam o conforto de sua anuência, ou proteção por sua posição influente" (apud Santillana, op. cit., p. 15).

Todavia, Galileu não o faria tão cedo. Segundo Santillana (op. cit.), ele tinha consciência de que não dispunha de evidências que comprovassem suas idéias. Estas seriam, mais tarde, proporcionadas pela luneta. Na verdade, as observações celestes tampouco representaram provas definitivas do sistema heliocêntrico. Eram, antes, indícios favoráveis a esse modelo celeste, pois refutavam certos argumentos utilizados pelos adversários do sistema copernicano.

Segundo Koestler (op. cit.), que analisa as palavras do próprio Galileu em carta enviada a Kepler em 1597, Galileu não se posicionaria publicamente por medo de ser "ridicularizado e desonrado". No que diz respeito aos estudiosos da época, como foi visto, ele tinha razão.

Quanto ao clero, o fundamentalismo religioso não seria a principal fonte de oposição enfrentada por Galileu. Parte considerável da Igreja posicionaria-se a seu lado, enquanto que a oposição viria, notadamente, das idéias seculares. O Padre Clavius, por exemplo, autoridade astronômica entre os jesuítas, de início não aceitara a idéia de que pudessem haver montanhas na Lua. Assim, tentou explicar as observações atribuindo-as a diferenças de densidade do corpo celeste, cuja superfície continuaria plana. Entretanto, em 1611, quando Galileu dirigiu-se a Roma no intuito de obter aprovação dos especialistas do Vaticano em tais assuntos, o mesmo clérigo ficaria abalado em sua concepção ptolomaica. No começo, teria rido, afirmando que o telescópio primeiro colocaria os novos planetas e estrelas no céu para que depois fosse possível vê-los. Todavia, após olhar através do melhor telescópio de Galileu, teria aceito as imagens como reais (Santillana, op. cit.).

Segundo Koestler (op. cit.), até o ano de 1616, isto é, seis anos após o início das observações celestes realizadas por intermédio do telescópio, a discussão do sistema copernicano não teria sido somente permitida mas, inclusive, encorajada pelos cardeais.

Com um senão: a Ciência deveria limitar-se à Ciência; não deveria interferir nas questões teológicas, conforme a separação anteriormente proposta por Alberto Magno e Santo Tomás entre Teologia e Ciência Natural. Assim, segundo carta do cardeal Divini a Galileu, datada de 1615: "Podemos escrever livremente enquanto nos mantivermos fora da sacristia" (p. 247).

Tal recomendação seria repetidamente desrespeitada, levando ao início do conflito entre Galileu e a Igreja.

IV ALGUNS TÓPICOS DE FILOSOFIA DA CIÊNCIA

Neste capítulo serão abordados alguns tópicos de Filosofia da Ciência, os quais constituem-se, respectivamente, na finalidade de cada uma das atividades desenvolvidas neste trabalho.

1 Introdução

Tanto a literatura em educação científica, quanto as organizações oficiais têm demonstrado ser a "natureza da Ciência" um dos principais objetivos, senão o principal objetivo atribuído, atualmente, à educação científica (Alters, 1995).

Dois documentos publicados pelo *National Research Council* (E.U.A.) em 1993 e 1994, apontam a História da Ciência como forma de desenvolver "compreensão da natureza da Ciência e do conhecimento científico" (apud Kipnis, 1995). De fato, a introdução de episódios históricos em sala de aula tem sido recomendada insistentemente por diversos autores (Castro & Carvalho, 1995; Laranjeiras, 1994; Matthews; 1994a,b).

Contudo, Kipnis (op. cit., p.613) critica a forma como vêm sendo estabelecidos tais objetivos. Argumenta que, por se tratarem de temas contraditórios entre os próprios filósofos, provavelmente os objetivos pudessem ser melhor colocados nos seguintes termos: promover "algum *insight* sobre o modo como os cientistas trabalham ou como o novo conhecimento científico é obtido".

Trata-se de uma crítica procedente, contanto que os assuntos controversos não sejam considerados inadequados à educação científica, sejam eles contraditórios entre os filósofos da Ciência ou entre a comunidade científica. Tal posição é sustentada por dois argumentos: 1) A impossibilidade de uma versão final e correta para todas as disputas entre diferentes idéias. 2) A importância pedagógica dos debates e contraste de idéias.

Por outro lado, a crítica mencionada levanta uma questão importante para este trabalho: Que visão de Ciência, cientistas e de conhecimento científico deve ser apresentada aos estudantes, visto que não há *uma* natureza da Ciência preferencial entre os filósofos da Ciência (Lederman, 1992, apud Alters, 1995)?

Essa falta de consenso entre os filósofos pode ser ilustrada pelo resultado obtido em pesquisa realizada por Alters (1995) com 176 membros da *Philosophy of Science Association* (E.U.A.) a partir de definições de apriorismo, convencionalismo, positivismo e realismo. Além das quatro categorias contarem com adeptos, entre 3 e 9 outras posições filosóficas emergiram das respostas.

Como implicação da pesquisa para a educação científica, o autor recomenda o ensino filosoficamente pluralístico, isto é, sugere que os estudantes tenham noção de que existem múltiplas naturezas da Ciência.

É interessante ilustrar esta problemática com uma questão filosófica e histórica que apareceu numa aula¹ em que se utilizou uma das atividades de ensino elaboradas nesta dissertação. A atividade em questão (capítulo V, Atividade 1) trata do aperfeiçoamento da luneta por Galileu Galilei, no século XVII.

Alexandre Koyré e Stillman Drake são dois estudiosos da obra de Galileu. Mac Lachlan (1990, apud Matthews, 1994a), comentarista dos trabalhos comparados desses dois autores, atribui a diferença em suas conclusões, sobretudo, a diferenças em seus estilos de estudo e investigação, ou seja, a suas posições filosóficas. Assim, o Galileu de Koyré parece habitar um mundo filosófico copernicano, platônico, de racionalismo e experimentos mentais. Já para Drake, Galileu adquire caráter menos contemplativo e mais ativo – um agudo observador, experimentador e inventor.

Na elaboração da atividade de ensino (que será explicitada no capítulo V) foi selecionado um diálogo, escrito por Stillman Drake (1983), travado entre contemporâneos imaginários de Galileu sobre o episódio do aperfeiçoamento da luneta. Um trecho do texto apresentado aos estudantes sugere que as primeiras observações astronômicas realizadas por Galileu teriam se dado por acaso:

“Sagredo [...] O que fez com que ele voltasse este instrumento comercial e naval para os propósitos da Astronomia?

Sarpi O folheto dizia, no final, que estrelas invisíveis a olho nu eram observadas através da luneta. Talvez nosso amigo tenha logo verificado tal fato, ou tenha-o descoberto ele próprio. [...]

Salviati [...] enquanto testava [o telescópio] ao entardecer, ocorreu de apontá-lo em direção à Lua, então crescente. Através do telescópio a Lua apresentou-se tão diferente do esperado, tanto em relação à sua porção iluminada, quanto à escura, que durante todo um mês ocupou a atenção exclusiva de nosso amigo”.

¹Visando uma primeira avaliação das atividades elaboradas como parte da presente dissertação, estas foram testadas, entre outras escolas, no curso secundário de uma escola pública de Tatuí (SP). Os dados serão discutidos no Capítulo VI, item 2.1.

Em sala de aula, a intencionalidade das observações astronômicas tornou-se uma questão polêmica levantada pelos alunos: Seria mesmo *por acaso* que Galileu apontou o telescópio em direção à Lua? O que viu era *coincidentemente* contrário às expectativas da teoria celeste aristotélica?

Trata-se, justamente, de um debate entre distintas concepções filosóficas que pode, e deve, aparecer em sala de aula, pois reflete, justamente, o que ocorre na Ciência. Segundo Matthews (1994b), “A educação científica deve encorajar os estudantes a exercitarem a razão e, também, a serem razoáveis. Os professores deveriam tentar interessá-los pelas questões filosóficas e históricas que podem ser levantadas em relação a um tópico específico, ao invés de fornecer-lhes respostas definitivas, ou impor-lhes seus próprios pontos de vista”.

Assim, neste capítulo, discutir-se-á os tópicos de Filosofia da Ciência relacionados às atividades elaboradas, sem a intenção de que esta seja uma discussão completa e sem que seja, também, a única perspectiva possível.

Os tópicos abordados são: Ciência e Tecnologia, cuja discussão é a finalidade específica da Atividade 1 e, o papel dos referentes teóricos, finalidade da Atividade 2.

2 Ciência e Tecnologia (Atividade 1)

Na formulação do *National Curriculum (UK)*, Ciência e Tecnologia foram consideradas, inicialmente, como intrinsecamente ligadas. Entretanto, embora a Comissão para Ciência, em relatórios posteriores, enfatizasse, ainda, a relação estreita entre as duas áreas, estas começaram a ser consideradas como independentes (Medway, 1992, apud Sorsby, 1995), visto que a própria Comissão afirmara que Tecnologia "... é mais que Ciência aplicada – extrai o conhecimento necessário para a resolução de problemas de muitas áreas", e, não, necessária e exclusivamente, da Ciência.

Já a Comissão para Tecnologia nem buscou definir, como, também, não explicitou seus pontos de vista sobre a natureza da Tecnologia. Num relatório subsequente, o *National Curriculum Council*, buscando esclarecer tal questão, retrocedeu à idéia original, afirmando que: "Tecnologia constitui-se na aplicação, a um problema, de conhecimentos científicos e relacionados, resultando numa solução que pode envolver a criação de um produto" (NCC, 1992, apud Sorsby, op. cit.).

Esta situação resultou numa conclusão dramática. Segundo estudo realizado, em 1992, pelo *Engineering Council*: "Tecnologia no *National Curriculum* é uma bagunça" (Smithers & Robinson, apud Sorsby, op. cit.).

Segundo Sorsby (op. cit.), essa imprecisão e falta de discussão sobre a natureza da Tecnologia podem ser consideradas fatores preponderantes da situação insatisfatória como tal disciplina vem sendo ensinada nas escolas da Inglaterra e País de Gales.

Então, afinal, de que modo interagem Ciência e Tecnologia?

Esta questão, discutida a seguir, ainda que controversa, é de fundamental importância para o presente trabalho e, conforme atestado pelo breve relato acima, para a educação científica e tecnológica de modo geral.

Na verdade, não há consenso sobre no que consistem, exatamente, Ciência e Tecnologia, como, também, não há consenso sobre seus limites – onde uma termina e a outra começa. Alguns modelos, "ou melhor, metáforas", estabelecem uma relação hierárquica entre Ciência e Tecnologia, na qual uma das atividades dá origem ao novo e relevante, enquanto que a outra apenas recebe, reage e leva a cabo. O primeiro papel é, geralmente, mas nem sempre, atribuído à Ciência. Afirma-se, também, embora mais raramente, que o avanço científico constitui apenas uma consequência da prática tecnológica.

Outros modelos mais conciliatórios admitem alguma superposição entre as duas áreas de conhecimento. Ciência e Tecnologia podem aparecer ao longo de um espectro, com Ciência "pura" numa das extremidades e ofícios tradicionais na outra, enquanto que "Ciência aplicada" e engenharia estariam localizadas num meio termo entre as duas. Outro modelo apresenta Ciência e Tecnologia como dois pólos de um ímã, implicando que se tratam de duas partes inseparáveis de um corpo único (*The science-technology relationship*, apud Barnes & Edge, 1982).

A partir desses modelos, entre outros, cada qual terá suas preferências. Para avaliá-los mais objetivamente, Mayr (op. cit.) sugere a seguinte indagação: Qual a distinção característica entre Ciência e Tecnologia? E praticamente inviabiliza uma resposta, ao afirmar que "Ciência" e "Tecnologia" referem-se a fenômenos em muitos níveis diferentes: corpos de conhecimento, atividades diárias, figuras históricas, organizações sociais, ou propósitos, motivações. Além disso, chama atenção para a relatividade histórica dos termos e aspectos ideológicos a eles associados.

Assim, pode ser mais frutífero avaliar Ciência e Tecnologia em termos relativos, isto é, não em termos de definições, mas das relações entre as duas atividades.

2.1 A concepção instrumentalista

Mesmo numa discussão centrada na interação entre Ciência e Tecnologia, ao invés de sua caracterização, tem-se, de fato, uma questão complexa. No entanto, Azanha (1992) identifica, no cientificismo, uma resposta simplista: a entusiástica valorização da Ciência como produtora da Tecnologia.

O autor localiza a origem da idéia instrumental de Ciência no século XVII, na obra de Francis Bacon. Apesar de possíveis predecessores, foi ele o primeiro a proclamá-la de maneira sistemática e reiterada, ao longo de toda sua obra:

"[...]A verdadeira e legítima meta das ciências é a de dotar a vida humana de novos inventos e recursos" (1973, aforismo LXXXI, livro I). "Porque o conhecimento não deve ser como uma cortesã apenas para prazer e vaidade, nem como uma escrava apenas para proveito de seu amo, mas como uma esposa dedicada para procriação e ajuda" (1988, apud Azanha, op. cit.).

Esta concepção de Ciência é ilustrada na obra de Jonathan Swift, um dos escritores ingleses mais importantes do fim do século XVII e início do século XVIII, autor de *Viagens de Gulliver*. Ele inspirou-se em trabalhos dos membros da *Royal Society* de Londres para escrever um dos episódios do livro, "Viagem a Laputa", onde a ilha imaginária de Laputa é célebre por sua "Grande Academia". Ao descrever a academia, Swift lança um violento ataque satírico contra os cientistas, em geral, e a *Royal Society*, em particular. Ele descreve algumas das experiências dos acadêmicos: projetos para extrair raios solares de pepinos, converter gelo em pólvora, construir casas de cima para baixo, ou impedir o crescimento da lã nos carneiros. No trecho abaixo, Gulliver exprime as idéias de Swift, ao descrever a Grande Academia:

"[...] não há cidade alguma de certa importância no reino que não tenha sua academia. Nestas associações, os professores concebem novas regras e métodos de agricultura e construção, novos instrumentos e utensílios para o comércio e manufatura, de tal forma que um homem venha a fazer o trabalho de dez, que um palácio seja construído numa semana com materiais tão resistentes que possa durar para sempre, sem precisar de reparações. Todos os frutos da terra poderão amadurecer na estação que quiserem, dando cem vezes mais do que agora. Outros inumeráveis sucessos felizes sucederão ainda. O pior é que nenhum destes projetos foi ainda aperfeiçoado e o país continua miseravelmente

abandonado, as casas em ruínas e o povo mal alimentado e mal vestido" (apud Smith, 1973, p. 173).

Na verdade, esta é uma concepção de Ciência, ainda hoje, muito popular. Conforme afirma Azanha (1992, p. 25), "Poucos têm escapado à sedução dessas idéias, e não seria exagero afirmar que elas exprimem, ainda hoje, a compreensão do objetivo da ciência do público leigo e de grande parte dos próprios cientistas [...]".

2.2 Contra-argumentos à concepção instrumentalista

Apesar da popularidade da concepção instrumental de Ciência é possível mostrar, em suas bases, duas falhas incontornáveis, uma epistemológica e outra histórica, sendo que as duas se entrelaçam (Azanha, op. cit.).

Em primeiro lugar, para identificar a inconsistência epistemológica da hipótese instrumentalista é preciso analisar *porque* é atribuída ao conhecimento científico a capacidade de dar ao homem o domínio da natureza.

Nas palavras de Bacon, "Ciência e poder do homem coincidem, uma vez que, sendo a causa ignorada, frustra-se o efeito. Pois a natureza não se vence, senão quando se lhe obedece. E o que à contemplação apresenta-se como causa é a regra na prática" (1973, aforismo III, livro I).

Esta atribuição de poder à Ciência poderia ser justificada pelo fato de que o conhecimento científico permite previsão. E a previsão permitiria interferência. Contudo, esta não é uma afirmação válida incondicionalmente. Segundo Azanha (op. cit.), trata-se de arbitrariedade epistemológica eleger previsibilidade e interferência como critérios para aferir cientificidade de determinada área do saber. Isto acarretaria devastadora mutilação daquilo que, ao longo da história, tem sido classificado como conhecimento científico.

Por dois motivos: nem toda teoria científica, por maior que seja sua força explicativa, implica previsões. Cita como exemplo, a teoria da evolução, dotada de grande força explicativa e, ao mesmo tempo, quase completa ausência de predição.

O segundo motivo: explicações científicas incorretas podem proporcionar previsões corretas. Cita um exemplo: explicações astronômicas – apesar de fantasiosas e falsas, conviveram, por séculos, com previsões corretas de marés, eclipses etc.

Assim, por um lado, o êxito na obtenção de explicações não implica em poder de previsão e, conseqüentemente, de interferência. Mais ainda: o êxito de predições não depende, necessariamente, da posse de explicações corretas.

Além disso, analisando a questão sob a perspectiva da Tecnologia, resultados tecnológicos bem sucedidos não dependem, necessariamente, de argumentos teóricos verdadeiros. Otto Mayr (op. cit.) cita o caso do motor de combustão interna, inventado, nos anos 70 do século passado, por N. A. Otto. O motor, desenvolvido pelo outrora caixeiro-viajante, com auxílio de um grupo de engenheiros muito competentes, alguns dos quais com excelente treinamento acadêmico, baseava-se em premissas teóricas que, mais tarde, mostraram-se falsas.

Eventualmente, teorias científicas podem ser até modificadas – reconstruídas, substituídas ou complementadas – quando suas "implicações" são utilizadas num projeto tecnológico. Tais "implicações" podem ser invalidadas pela prática, de forma tal, que a teoria tenha que ser reconsiderada, sendo "deduzidas" novas e diferentes "implicações". Barnes & Edge (1982) citam o caso dos semicondutores: devido aos "resultados anômalos", conforme relatados por Gibbons e Johnson, não foram apenas estabelecidas as implicações tecnológicas da teoria física, mas foram também possíveis contribuições para o avanço da teoria física.

Além disso, num projeto tecnológico, o conhecimento científico previamente existente é sempre suscetível de revelar-se insuficiente: aspectos inesperados via de regra aparecem, significando novas dificuldades ou, ao contrário, vantagens para a conclusão bem sucedida do projeto. Assim, projetos que se iniciam numa direção podem tomar outros rumos e terminar num ponto absolutamente inesperado.

Ou seja, tanto a modificação de teorias científicas como consequência de projetos tecnológicos, quanto a autonomia do andamento de tais projetos indicam a limitação da utilidade de conhecimentos científicos no desenvolvimento tecnológico. Estes argumentos representam impedimentos epistemológicos à concepção instrumental de Ciência. Além disso, conforme identificada por Azanha (op. cit.), outra falha dessa concepção diz respeito a aspectos *históricos*. Ciência-causa e Tecnologia-efeito não tem sido, historicamente, o relacionamento invariante entre saber científico e eficiência técnica.

Pelo contrário, pois "[...] até cerca de 1500 e talvez até muito mais tarde, seria mais exato dizer que a tecnologia é que foi a mãe da Ciência" (Singler, 1962, apud Azanha, op. cit.). Já desde a Ciência grega, os naturalistas e filósofos pré-socráticos teriam se inspirado nos processos das várias técnicas para explicar os fenômenos da natureza, sendo os objetos de interesse (e, por isso, de conhecimento) aqueles que tinham relação com atividades técnicas ou, seriam, mais diretamente, os próprios procedimentos e resultados técnicos (Mondolfo, 1964, apud Azanha, op. cit.).

De fato, Francis Bacon tece críticas à Ciência que vinha sendo feita. Seria falta de conhecimento histórico se afirmasse que a Ciência se constituía, como desejava, em fonte

de domínio da natureza. Na verdade, a tese baconiana é *prescritiva*; não pretende analisar a Ciência da Antigüidade até seu tempo, mas, sim, dizer o que esta deveria ser a partir de então:

"Ainda há outra causa grande e poderosa do pequeno progresso das Ciências. E ei-la aqui: não é possível cumprir-se bem uma corrida quando não foi estabelecida e prefixada a meta a ser atingida. A verdadeira e legítima meta das Ciências é a de dotar a vida humana de novos inventos e recursos" (1973, aforismo LXXXI, livro I).

De fato, tal meta, conforme apontada por Bacon, não coincidia com aquelas de épocas anteriores. Quanto à Ciência grega, seu objetivo havia sido *compreender* (Crombie, 1974), segundo Ronchi, no intuito de "entender o homem, suas faculdades e função" (apud Abramof, 1989, p.102). A seguir, a cristandade ocidental substituiria quase que completamente a curiosidade pela natureza pelo desejo de uma paz imperturbável, a qual poderia ser obtida somente por uma mente liberta das dependências materiais. O interesse pelas Ciências Naturais seria predominantemente teológico e moral, à medida em que estas proporcionassem ilustrações para as verdades morais e religiosas. Assim, por exemplo, o número 11, que "transgredia" o 10 – representante dos dez mandamentos – era a imagem do pecado (Crombie, 1974).

2.3 Interação Ciência-Tecnologia a partir do Século XVII

O que tem sido a interação Ciência-Tecnologia desde o século XVII?

Constata-se, não a partir do século XVII, mas, desde sempre, a inverdade da presumida invariância histórica do relacionamento entre Ciência e Tecnologia. Quaisquer concepções ou modelos desta relação apresentarão limitações, oferecendo tentação permanente no sentido de inferências falsas, de generalizações inconsistentes (Barnes & Edge, 1982).

Tem-se, por exemplo, a favor do sentido preferencial Ciência → Tecnologia, os episódios da penicilina ou dos transistores que, entretanto, segundo Price (1975), constituem-se em grandes exceções, e não em regra.

Outro resultado científico, às vezes apontado para ilustrar o papel da Ciência como matriz para a promoção do bem estar humano, constitui-se nos raios-X, descobertos por Roentgen, em 1895.² De fato, algumas semanas depois de anunciada a descoberta, já se

²Episódio descrito por Pais (1986).

cogitavam implicações para o diagnóstico médico. No ano seguinte, diversos hospitais já tinham instalações de raios-X.

Todavia, analisando a questão mais cuidadosamente, nota-se que, nesse momento, nem os efeitos fisiológicos, nem a natureza dos raios-X eram conhecidos. Assim, por um lado, sua popularização aumentou na mesma taxa que os acidentes causados pela exposição indiscriminada aos raios. Experimentos de laboratório visando estabelecer os efeitos indesejáveis dos raios-X começaram somente por volta de 1902-3.

Por outro lado, começou, na época, um debate sobre a natureza dos raios-X que se estendeu até 1912. Roentgen verificara certas propriedades dos raios-X que representavam obstáculos à sua identificação com ondas eletromagnéticas – não era observada, por exemplo, sua refração. A hipótese que então fez acerca da natureza dos raios-X era de que constituíam-se em vibrações *longitudinais* do éter, finalmente detectadas. Tal suposição foi questionando com a alegação de que a não refração podia ser explicada considerando-se os novos raios como vibrações transversais do éter que possuíam, contudo, comprimento de onda consideravelmente menor que o da luz visível.

Todavia, a hipótese de Roentgen ainda não podia ser descartada. Lorentz, apesar de ser um dos cientistas a questionar a idéia das vibrações longitudinais, afirmou: "O fenômeno não proíbe, de forma alguma, que os raios de Roentgen sejam encarados como um tipo de propagação ondulatória em especial" (apud Pais, 1986, p. 41). Poincaré, por exemplo, defendeu os raios-X como extensão do espectro mas, posteriormente, abandonou tal hipótese em virtude da não refração. A questão só seria resolvida em 1912 – isto é, cerca de 16 anos depois de iniciada sua utilização em questões práticas –, quando Max von Laue teve a idéia de utilizar cristais como redes de refração e esta foi, de fato, observada.

Ademais, aos exemplos da Ciência proporcionando novas tecnologias é possível contrapor-se eventos nos quais ocorreu justamente a relação inversa, ou seja, avanços tecnológicos determinando o desenvolvimento da Ciência. Um desses episódios: no século XVII de Bacon, Galileu aperfeiçoa a luneta, permitindo a realização de observações astronômicas. Entretanto, a Ciência da época não explicava porque e como funcionava aquele aparato. Somente no ano seguinte, Johannes Kepler escreve um livro no qual deduz os princípios de funcionamento do telescópio, analisando geometricamente a refração da luz por lentes. Mas a formulação correta da lei da refração não estava ainda estabelecida, como também não se tinha ainda um modelo aceitável para explicar porque, afinal, a luz era refratada pelas lentes. Estes fatos só seriam esclarecidos cerca de 70 anos mais tarde por Christian Huygens.

Outro aparato desenvolvido no século XVII foi o microscópio. Sobre sua influência na Ciência daquele século, numa conferência pronunciada na Sorbonne no dia 7 de Abril de

1864, Pasteur afirma ter sido graças à tal descoberta que a teoria da geração espontânea, então em declínio, havia retomado novo incremento (Gibert, 1982).

Percebe-se que os exemplos citados não proporcionam dados que se encaixem num padrão simples. Mayr (op. cit.) coloca o problema nos seguintes termos: tratam-se de dados empíricos que, num gráfico, não resultam em pontos através dos quais seja possível traçar uma curva suave. Em outras palavras, os dados frustram eventuais tentativas de generalização por indução. Desta forma, apresenta-se seriamente comprometido o papel vital atribuído a estudos de casos, ao longo da história, no esclarecimento dos papéis relativos entre Ciência e Tecnologia (por exemplo, Sorsby, 1995, p. 1107).

Além disso, em "[...] situações de impacto direto de descobertas científicas sobre a tecnologia, muitas vezes, a grandiosidade desse impacto e a publicidade que se faz em torno obscurecem uma ligação que antes sugere uma *interação* do que propriamente uma determinação unívoca. [...] Parece muito mais plausível admitir-se que há *influências recíprocas* entre Ciência e Tecnologia" (Azanha, op. cit., p.32,33).

Por exemplo, "[...] um dos últimos e mais notáveis débitos da Ciência à Tecnologia está no campo da Matemática e da Física. O progresso em ambos os campos é hoje dependente dos computadores automáticos de alta velocidade. Por sua vez, o computador deve o seu desenvolvimento à teoria da informação e às investigações do matemático" (Walker, 1962, apud Azanha, op. cit.).

2.4 Interação entre Ciência e Tecnologia: influências recíprocas

É conveniente, para não substituir "um equívoco por uma ambigüidade", especificar melhor o termo *interação* (Azanha, op. cit.). Em primeiro lugar, quanto à intensidade da interação entre Ciência e Tecnologia, serão exemplificados, a seguir, estudos empíricos que indicam tratar-se de um relacionamento antes fraco do que forte. Uma evidência desta tese estaria no atraso com que os conhecimentos de ponta repercutem reciprocamente nas pesquisas científica e tecnológica, contrastando com a rapidez com que os velhos conhecimentos científicos podem gerar novos conhecimentos científicos e, também, velha tecnologia gera a nova.

Ao abordar a questão, Price (*The parallel structures of science and technology*, apud Barnes & Edge, 1982) parte de uma definição para Ciência e Tecnologia. Propõe, como definição formal de Ciência "aquilo que é publicado em artigos científicos", os quais, por sua vez, poderiam estar compreendidos, por exemplo, nas publicações listadas na *World List of Scientific Periodicals*. Parece, num primeiro momento, tratar-se de uma definição irrelevante ou óbvia. Entretanto, a adequação desse "indicador para Ciência" pode ser

justificada por dois argumentos: primeiro, em decorrência da alta motivação para publicação de trabalhos científicos, conforme análises sociológicas de propriedade científica privada, descobertas simultâneas e disputas de autoria (Merton, 1962, apud Price, 1982). Em segundo lugar, a definição é útil à medida que permite relacionar a maioria dos dados estatísticos relativos à Ciência. Quanto à Tecnologia, esta é definida como "pesquisa na qual o principal produto não seja um artigo, mas um aparato, uma droga, um produto, ou um processo".

A partir destas delimitações, o autor caracteriza a atual interação entre Ciência e Tecnologia como fraca, não sistemática e de difícil previsão. Afirma, com base em dados quantitativos, que as interações significativas se dão entre antigos e novos conhecimentos científicos e, entre antigas e novas tecnologias.

Analisando, entre outros dados, as citações em artigos científicos, verifica que aproximadamente metade delas não têm um padrão definido. Assim, em artigos recentes, de temática correlata, tanto as datas quanto a seleção dos artigos citados são, em geral, bastante diferentes para metade das referências. A outra metade das citações é referente a um número relativamente pequeno de artigos recentes altamente relacionados.

Quanto à segunda metade das citações, Price (op. cit.) apresenta a imagem de uma malha, na qual cada ponto encontra-se fortemente ligado à fileira anterior e aos pontos adjacentes. Conclui, desta forma, que a Ciência cresce de forma muito regular e estruturada "a partir de sua epiderme, e não de seu corpo". E, apesar da impossibilidade de se fazer a mesma análise – através de artigos – para a Tecnologia, faz a hipótese de que sua estrutura seja formalmente idêntica à da Ciência.

Já a interação entre Ciência e Tecnologia estaria mais relacionada a circunstâncias até certo ponto aleatórias (pessoais, sociais, políticas e econômicas) do que a características permanentes dessas áreas do saber. Mas, apesar de caracterizar a interação entre as duas áreas como fraca, não sistemática, Price (op. cit.) lhe atribui importância determinante para o desenvolvimento de ambas. Utiliza *simbiose*, ou seja, dependência mútua e vital, como metáfora para a interação, embora deixe claro tratar-se de um ponto de vista próprio que não pode ser adequadamente justificado.

Apesar disso, argumenta que parece haver um corpo de casos patológicos na história da Ciência indicando que, quando a sociedade forçou a interrupção da chamada simbiose entre Ciência e Tecnologia, os resultados foram desastrosos – a longo prazo, para ambas. É interessante remeter-se à análise feita por Azanha (op. cit.) quanto a efeitos desastrosos da imposição de critérios extracientíficos à pesquisa científica. Cita o episódio Lysenko, no qual a necessidade prática da URSS de aumentar a produção de batatas levou à opção oficial por uma linha de pesquisa que parecia mais promissora com relação a tal objetivo.

Com isso, outra linha de pesquisa foi deixada de lado, com resultados desastrosos para o desenvolvimento da genética no país.

Segundo Azanha (op. cit.), quando a meta da Ciência é desviada pela ânsia de obtenção de resultados práticos, seus objetivos teóricos são inevitavelmente sacrificados e, em consequência, a longo prazo, também seus eventuais frutos práticos.

É interessante notar que os episódios mencionados para ilustrar o sentido preferencial Ciência → Tecnologia – a descoberta da penicilina e dos raios-X – tratam-se de momentos nos quais seus protagonistas não estudavam fenômenos com a finalidade prática com a qual suas descobertas seriam posteriormente associadas. Sir Alexandre Fleming não procurava um antibiótico; estava simplesmente tentando identificar a bactéria responsável por um surto de infecções no hospital St. Mary, em Londres. Roentgen estava, simplesmente, repetindo o experimento de Hertz e Lenard que se constituía na passagem de raios catódicos à pequena distância de um tubo de vácuo.

Assim, a partir das considerações anteriores, Price (op. cit.) propõe, como imagem para a interação entre Ciência e Tecnologia, um par de bailarinos dançando a mesma música (Toynbee, 1962), sendo imperceptível qual dos dois conduz a dança. A partir daí, coloca a seguinte questão: O que faz com que Ciência e Tecnologia caminhem passo a passo?

Segundo o autor, a resposta marxista seria supor a música como os anseios e necessidades da sociedade, os quais determinariam o aparecimento, num momento adequado qualquer, de certo tipo de Ciência e de Tecnologia. Esta explicação é inconsistente com os dados anteriores, segundo os quais conhecimentos anteriores, e não anseios da sociedade, determinam, de forma predominante, os novos conhecimentos. Cita a busca da cura do câncer como um exemplo de inconsistência da explicação marxista – apesar das aspirações sociais, não é possível estabelecer tal cura a não ser que a conjuntura tecnológica e, talvez, científica, possa sustentá-la.

Assim, apresenta como explicação mais razoável o fato da própria ação mútua manter Ciência e Tecnologia caminhando passo a passo.

2.5 Os mecanismos de interação entre conhecimento científico e tecnológico

Quanto aos mecanismos através dos quais se daria tal interação mútua entre conhecimentos científicos e tecnológicos, Price (op. cit.) defende a inadequação de atribuí-la à palavra escrita. Afirma que o caráter da Tecnologia tem sido, tradicionalmente, "papirofóbico". A Ciência teria, no que diz respeito a publicações, caráter oposto, a ponto

do autor definir "cientistas" como "indivíduos que tenham publicado pelo menos um artigo por ano ao longo dos três últimos anos".

Price (op. cit.) afirma que a pesquisa de ponta, tanto em Ciência, quanto em Tecnologia, está "basicamente contida nos indivíduos" e, portanto, só pode ser viabilizada pela mobilidade pessoal. Nesse sentido, a educação do tecnólogo e do cientista representariam um sistema institucionalizado para a transferência de conhecimentos – na educação do tecnólogo, ele teria, necessariamente, certo treinamento na Ciência de sua época e, no caso da formação do cientista, certo treinamento na tecnologia atual. Além do sistema educacional, e mais importante, seria a interação decorrente da mobilidade de profissionais entre cargos científicos e tecnológicos. De qualquer forma, em ambos os casos, o indivíduo representaria a unidade básica de transferência de conhecimento e competência.

A dimensão dessa mobilidade de profissionais pode ser ilustrada por dados obtidos em pesquisa realizada pela Universidade de Stanford (E.U.A.) na região onde está situada, o Vale do Silício. Procurou-se determinar, das empresas localizadas nessa região, quais haviam sido fundadas por pessoas oriundas de Stanford. Constatou-se que um terço das 3000 pequenas empresas da região haviam sido fundadas por indivíduos em algum momento associados à Universidade de Stanford (relato de Robert L. Byer – do artigo *Roundtable: Wither Now Our Research Universities?* publicado na revista *Physics Today*, março de 1995, p. 42-51).

Apesar dessa dimensão de indivíduos transferidos da área científica para a tecnológica, é importante insistir que a hipótese de influência mútua e vital entre Ciência e Tecnologia não implica a predominância de uma área sobre a outra. Longe de aplicar e, portanto, depender da cultura da Ciência, tecnólogos possuem suas próprias fontes culturais, as quais fornecem as bases principais de sua atividade inovadora. Novos tipos de instrumentos são predominantemente desenvolvidos a partir dos anteriores, analogamente a procedimentos, processos e *designs*.

Desta forma, como *Tecnologia aplica Tecnologia*, a conjuntura científica não apresenta, necessariamente, limitações para o desenvolvimento tecnológico, e nem, por outro lado, avanços científicos implicam, automaticamente, avanços correspondentes em Tecnologia. Assim, inovações tecnológicas devem ser entendidas como resposta a exigências externas ou, possivelmente, como resposta às necessidades geradas pela interdependência entre diferentes domínios da Tecnologia (Hughes, 1976, apud Barnes & Edge, 1982).

Para sistematizar estas considerações, seria ilustrativo apresentar a Tabela 1, proposta por Barnes & Edge (op. cit.), onde são apresentadas as duas concepções mais

freqüentes das atividades científica e tecnológica, bem como de suas interações mútuas. Observa-se que, segundo a concepção moderna, Ciência e Tecnologia são caracterizadas como duas subculturas distintas, cada qual com sua competência e corpo de conhecimentos. Sua relação é simétrica, permitindo interações recíprocas sem um sentido preferencial.

É importante salientar que este modelo interativo predomina sobre ampla gama de caracterizações de Ciência e Tecnologia, pois, ainda que se discorde quanto à natureza de Ciência e Tecnologia, a relação entre elas é passível de acordo (Barnes & Edge, op. cit.).

Tabela 1. Duas concepções alternativas de Ciência (C), Tecnologia (T) e de sua interação.

MODELO BÁSICO	Hierárquico Tecnologia como aplicação da Ciência $C \rightarrow T$	Simétrico $C \leftrightarrow T$
MODO DE COGNIÇÃO	C: criatividade/construção T: rotina/dedução	C: criatividade/construção T: criatividade/construção
BASE PRIMÁRIA DE COGNIÇÃO	C: natureza (<i>determinante</i> da cognição) T: Ciência (<i>determinante</i> da cognição)	C: Ciência existente (<i>fonte</i> para cognição) T: Tecnologia existente (<i>fonte</i> para cognição)
RESULTADOS	C: descobertas T: invenções e aplicações	C: invenções T: invenções
PRINCIPAIS LIMITANTES PARA RESULTADOS	C: conjuntura da natureza T: conjuntura da Ciência	C e T: não há limitante único e principal
AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	C: avaliação das descobertas independente do contexto. T: avaliação conforme ha- bilidade de inferir implicações da Ciência. Sucesso tecnológico supõe utilização adequada da C; fracasso tecnológico supõe incom- petência na utilização da C.	C e T, sendo ambas atividades criativas, envolvem avaliação em termos de resultados contingentes. Não há motivo <i>a</i> <i>priori</i> para que atividade em T deva ser avaliada com respeito a resultados relevantes para C, ou vice-versa.
MODO COGNITIVO DE INTERAÇÃO	T deduz implicações da C e lhes dá representação física. Não há <i>feedback</i> de T para C.	T faz, ocasionalmente, uso criativo da C. C faz, oca- sionalmente, uso criativo da T.
RESULTADOS DA INTERAÇÃO	Previsíveis	Imprevisíveis
PRINCIPAL INTERMÉDIO PARA INTERAÇÃO	Palavras	Pessoas

3 O Papel dos Referentes Teóricos (Atividade 2)

De modo geral, o papel dos referentes teóricos dos cientistas – ou seja, dos "sistemas de referência" metodológico e conceitual a partir dos quais desenvolvem suas atividades – é desconsiderado na educação científica. A concepção do senso comum separa sujeito e objeto de conhecimento e, como consequência, as teorias científicas passam a ser encaradas como conjunto de verdades intemporais e absolutas. Além disso, por encarar a investigação científica desvinculada do contexto de realização e das finalidades, o senso comum lhe atribui, ilusoriamente, neutralidade. Desta forma, a Ciência passa a exercer, na sociedade, papel semelhante ao das religiões.

Por este motivo, conforme sugerido pelo *National Curriculum Council (UK)*, é importante que sejam "[...] proporcionadas oportunidades para que os estudantes possam [...] considerar maneiras através das quais idéias científicas são submetidas aos contextos histórico e social nas quais se desenvolvem e maneiras através das quais tais contextos podem afetar sua aceitação ou rejeição" (1995a, apud Sorsby, 1995).

De fato, o pensamento recente sobre Ciência tem-se deslocado, da ênfase centrada no método ou nas metodologias científicas, em direção à sociologia do conhecimento. O que alguns autores chamaram de "revolta historicista na Filosofia da Ciência" supõe a consideração da componente social, conforme proposta por Kuhn, na aceitação ou não de novos paradigmas. Tal consideração tem, como uma de suas implicações, o relativismo do método (Stiefel, 1995).

A influência de aspectos sociais na construção do conhecimento científico pode ser identificada, por exemplo, no papel poderoso que desempenham, em sua atividade, os referentes teóricos dos cientistas, sendo estes referentes muito comumente condicionados às idéias socialmente aceitas.

A importância dos referentes teóricos caracteriza a Ciência enquanto *construção* humana e não como conjunto de produtos resultantes do "desvendar a natureza". Assim, entende-se que o conhecimento científico seja, em diversos momentos, *conformado* pelo indivíduo.

Para ilustrar o papel mediador do cientista toma-se, novamente, um dos aforismos de Francis Bacon. Ao mesmo tempo em que critica as especulações teóricas sem vínculos com fatos empíricos, Bacon afirma ser o trabalho do "filósofo" análogo ao de uma abelha que retira sua matéria-prima das flores e com seus próprios recursos a *transforma e digere*:

"Os que se dedicaram às Ciências foram ou empíricos ou dogmáticos. Os empíricos, à maneira das formigas, acumulam e usam as provisões; os racionalistas, à maneira das

aranhas, de si mesmos extraem o que lhes serve para a teia. A abelha representa a posição intermediária: recolhe a matéria-prima das flores do jardim e do campo e com seus próprios recursos a transforma e digere. Não é diferente o labor da verdadeira filosofia, que se não serve unicamente das forças da mente, nem tampouco se limita ao material fornecido pela história natural ou pelas artes mecânicas, conservado intato na memória. Mas ele deve ser modificado e elaborado pelo intelecto. Por isso muito se deve esperar da aliança estreita e sólida (ainda não levada a cabo) entre essas duas faculdades, a experimental e a racional" (1973, aforismo XCV, livro I, p. 69).

Surge, então, a seguinte questão: Em que momento se daria esta "aliança estreita" entre as "faculdades experimental e racional"? Seria numa seqüência de acontecimentos, como, por exemplo, na obtenção de dados experimentais "puros" *seguida* de sua elaboração racional?

Segundo Bachelard (1938), a elaboração mental é anterior à obtenção de dados, já que "Todo conhecimento é a resposta a uma questão". Assim, os dados empíricos não são, salvo em casos excepcionais, obtidos ao acaso. A experimentação é realizada *a partir* de determinadas hipóteses a serem testadas.

Além disso, pode-se argumentar que as "faculdades racionais" estejam também presentes *no momento* da obtenção de dados experimentais. Em outras palavras: não é possível separar observação e interpretação.

3.1 Observação e interpretação

Hanson (*Observação e Interpretação*, apud Morgenbesser, 1975) sustenta que observação e interpretação tratam-se de duas coisas inseparáveis, sendo inconcebível a manifestação de qualquer uma das partes sem a outra. Seria como, num quadro, tela e pintura. Ou, conforme afirmava Aristóteles, a matéria e a forma de uma estátua.

É verdade que podem surgir argumentos que separem, ainda que conceitualmente, observação e interpretação. Entretanto, separar a pintura da tela destrói o quadro, do mesmo modo como separar matéria e forma numa estátua tornam-na ininteligível. "Assim, também, separar os sinais-de-apreensão-de-situações da apreciação-do-significado desses sinais destruiria o que entendemos por *observação científica*" (Hanson, op. cit.).

Esta concepção leva à hipótese aparentemente absurda de que dois observadores dignos de confiança podem defrontar-se com o mesmo fenômeno físico e, não obstante, registrar observações diferentes. Na visão positivista, dois observadores científicos "ideais" registrariam os mesmos "dados sensoriais"; como eles procederiam depois seria outro

assunto, já muito discutido pelos filósofos e que poderia manifestar as diferenças entre os observadores.

Entretanto, segundo Hanson (op. cit.), "observar X é vê-lo como isto ou aquilo", dependendo, portanto, dos sujeitos em questão. Assim, dois observadores igualmente equipados podem defrontar-se com o mesmo fenômeno e, não obstante, fazer observações muito diversas.

O autor afirma que observar é fazer uma experiência, enquanto que uma reação visual, olfativa ou tátil é apenas um estado físico – uma excitação fotoquímica, por exemplo. São as pessoas que vêem e não seus olhos. No ver existe algo mais do que aquilo que nos chega aos olhos. Câmeras fotográficas e globos oculares são cegos. Há mais na observação científica do que simplesmente estar com os órgãos do sentido "em estado de prontidão".

Hanson (op. cit.) toma as figuras de perspectiva cambiável da Psicologia da Gestalt, como o cubo de Necker, para justificar seu ponto de vista. No caso, ao observar-se a figura do cubo, alguns o vêem como um cubo de gelo visto de baixo, outros o verão como se fosse visto de cima, outros, como uma jóia lapidada ou, ainda, apenas linhas que se cruzam num plano.

Com outra figura, a copo-e-faces de Koehler, pode-se ver tanto uma taça veneziana centrada em fundo negro, quanto dois perfis separados por fundo branco. Hanson (op. cit.) descreve dois observadores: um deles desenha o copo para representar o que havia observado; o outro diz "é exatamente o que eu vi: dois homens que se encaram". O que deve ser feito para que os observadores vejam a mesma coisa? Quando a atenção se desloca da taça para as faces, altera-se o quadro visual? Nada no objeto é alterado e, contudo, observam-se coisas diferentes. Logo, a observação está condicionada pelo sujeito que observa. Sua atenção detém-se, naturalmente, em objetos e acontecimentos que, em razão de interesses seletivos, dominam o campo visual.

Assim, não se pode concluir que as diferentes observações das figuras de perspectiva cambiável sejam, na verdade, decorrentes de *diferentes interpretações* feitas acerca de *observações idênticas*. Identificando o observador, por exemplo, com um músico que ouve um oboé desafinado, não se dá que este ouça as notas brutas do oboé e, *em seguida*, as interprete como estando fora do tom – apenas se dá que ele ouve um oboé desafinado. E, do mesmo modo, apenas se dá que vemos as horas – não notamos visualmente a posição dos ponteiros para, em seguida, levantar, sobre tal sensação visual, teorias relativas à medição do tempo.

Da mesma forma, em Ciência, dois observadores científicos podem defrontar-se com os mesmos dados (utilizar os mesmos enunciados descritivos) e, apesar disso, tirar

conclusões diametralmente opostas quanto ao que tiveram diante de si. Segundo Hanson (op. cit.), o episódio pode ser encarado de duas formas: a fórmula fenomenalista simples sugere que os observadores consideraram dados idênticos e, a partir deles, elaboraram interpretações e teorias distintas. Todavia, pode-se também argumentar que, se eles têm distintas versões globais do observado, então, em algum sentido, não partiram dos mesmos dados observacionais. Os elementos do campo visual, por exemplo, embora idênticos, estão *organizados* de modo diferente pelos observadores, tanto um a um quanto em seu conjunto.

Reciprocamente, se dois observadores vêem em X coisas iguais, implica que partilham conhecimentos, teorias e conjecturas a respeito de X.

Soma-se a estas considerações a possibilidade de se estabelecer gradações, distinguindo-se "os casos em que a extrapolação de base teórica supera a base empírica, separando-os de outros casos, onde os dados parecem predominar. Mas não se pode, por questão de princípio lógico, passar ao limite de considerar a observação científica despida de "critérios de significância", como se não fosse conformada por esses critérios; como também não se pode, de outra parte, considerar as teorias como algo inteiramente alheio àquilo que, na verdade, ocorre" (Hanson, op. cit.).

3.2 Referentes metodológicos e conceituais

Na pesquisa científica atual é empregada uma infinidade de instrumentos complexos e sofisticados. Considera-se que a progressiva eliminação da percepção sensorial se constitua num passo do desenvolvimento da objetividade científica.

Duschl & Feather (1995) exemplificam este processo: antes do advento da fotografia, as informações eram transmitidas por meio de esboços, desenhos, ou relatos verbais. Estes foram substituídos por imagens fotográficas muito antes do processo fotográfico ser aperfeiçoado. Assim, no final do século XVIII, muito antes que se conseguisse eliminar todas as distorções das imagens fotográficas, estas foram consideradas como visão mais objetiva da natureza do que desenhos ou relatos verbais. A distorção pela luz foi considerada menos significativa que a distorção devida às percepções do artista.

É fato que a utilização de instrumentos pode ajudar na superação de limitações da percepção sensorial humana. Todavia, conforme discutido anteriormente, não pode garantir a pretensa objetividade da observação científica, isto é, a pretensa neutralidade do observador. "Câmeras fotográficas e globos oculares são cegos" – a Ciência está, como as demais atividades humanas, condicionada pelo sujeito.

Até mesmo a idéia de Tecnologia enquanto elemento auxiliar à percepção humana é questionável. Uma concepção comum e equivocada das relações Ciência-Tecnologia

enuncia que o desenvolvimento tecnológico propicia maiores possibilidades de investigação científica. Na realidade, esta relação é verdadeira somente até certo ponto, pois desconsidera, novamente, um fator intrínseco ao desenvolvimento da Ciência: o sujeito.

Nas palavras de Bachelard: "Passando-se da observação à experimentação, o caráter polêmico do conhecimento torna-se ainda mais claro. Pois então é preciso que o fenômeno seja triado, filtrado, depurado, fundido no molde dos instrumentos, produzido no plano dos instrumentos. Ora, os instrumentos não são outra coisa senão teorias materializadas" (1974a, p. 254).

Em outras palavras, os instrumentos não se constituem simplesmente numa via de acesso à realidade externa; antes, constituem-se numa via de acesso *a partir* de um modelo, de uma teoria. Bachelard exemplifica essa idéia: "Lemos a temperatura num termômetro; não a sentimos. Sem teoria nunca saberíamos se aquilo que vemos e aquilo que sentimos correspondem ao mesmo fenômeno" (1974b, p. 165).

Episódios históricos que ilustram o papel decisivo das teorias do observador podem ser tomados no século XVII, com a utilização do microscópio e da luneta para observações científicas. Na época, ao contrário do que, em geral, ocorre nos dias de hoje, a legitimidade de tais observações foi seriamente questionada.

Tratavam-se, por um lado, de instrumentos cujo funcionamento era desconhecido e, por outro lado, o aperfeiçoamento da luneta e do microscópio proporcionavam observações científicas *indiretas*, o que trazia sérios problemas para os referenciais metodológicos dos estudiosos da época. Afinal, o que poderia garantir que dados obtidos com a mediação de instrumentos fossem equivalentes àqueles obtidos unicamente via percepção sensorial?

O desconhecimento sobre o funcionamento dos aparatos, além de constituir-se num dos fatores responsáveis pela grande desconfiança demonstrada a seu respeito, foi também responsável pelas diferentes compreensões das imagens formadas pelas combinações de lentes. Um exemplo desta compreensão pode ser apreciado nas palavras de Bacon, contemporâneo das novas descobertas e que, ao referir-se ao microscópio, afirma terem os homens feito a seu respeito certas observações supersticiosas, "como acontece com todas as coisas novas e estranhas":

"[...] A vista é manifestamente dos sentidos o mais importante para a investigação, daí ser importante procurar proporcionar-lhe ajuda. Esta pode ser de três espécies: a que pode possibilitar-lhe perceber o que é invisível; a que lhe possibilita ver mais longe; a que lhe permite perceber mais exata e distintamente.

Do primeiro gênero são [...] as lentes recentemente inventadas que revelam as minúcias invisíveis e latentes dos corpos, seus ocultos esquematismos e delicados

movimentos, com um considerável aumento das imagens. Com esse concurso, distinguem-se, não sem espanto, a figura do corpo, os seus delineamentos, como também as cores e os movimentos antes invisíveis da pulga, da mosca e dos vermes. Diz-se que uma linha reta, traçada com lápis ou pena, através dessas lentes, parece desigual e torta, pois nem os movimentos da mão, ajudados pela régua, nem a tinta ou a cor são realmente iguais, embora tais diferenças sejam tão minúsculas que não podem ser percebidas sem o auxílio dessas lentes. Os homens, a tal respeito, logo fizeram a observação supersticiosa (como ocorre com todas as coisas novas e estranhas) de que aquelas lentes iluminam as obras da natureza, mas deturpam as da arte [...]" (1973, aforismo XXXIX, livro II, p. 179).

Quanto à luneta, parte dos estudiosos da época nem sequer viam as imagens astronômicas descritas por Galileu Galilei. Ao mencioná-las, Bacon afirma: "trata-se, sem dúvida, de descobertas notáveis, *se se puder dar crédito a tais demonstrações*". Kepler escreve a Galileu:

"[...] Não desejo ocultar-vos que a Praga chegaram cartas de alguns italianos que negam terem visto tais planetas através de vosso telescópio.

Pergunto a mim próprio como é possível que tantos neguem [a existência deles], inclusive os que possuem telescópio...Peço-vos, portanto, meu Galileu, que me citeis testemunhas o mais breve possível [...]" (apud Koestler, 1989, p.259).

Haviam, ainda, outros estudiosos que viam as imagens, mas duvidavam de sua legitimidade. Ambos os casos podem ser explicados em função dos referentes metodológicos e conceituais dos estudiosos no momento de observação e interpretação de dados. Seja devido ao desconhecimento, já mencionado, do funcionamento do instrumento, seja por este proporcionar observações indiretas, foi-lhe atribuído o poder de *produzir* ou *distorcer* as imagens que seriam, portanto, mera " ilusão de ótica".

Quanto aos referentes conceituais, muitos estudiosos da época, por estarem presos à concepção celeste aristotélica, não aceitaram como verdadeiras as observações astronômicas efetuadas por intermédio do telescópio. Este é um posicionamento compreensível tomando-se que "a observação científica sempre é uma observação polêmica: confirma ou infirma uma tese anterior; mostra demonstrando; hierarquiza as aparências, transcende o imediato [...]" (Bachelard, 1974, p. 254).

John Donne, contemporâneo das novas descobertas, compõe seu poema, *Primeiro Aniversário*, um ano após a publicação do *Sidereus Nuncius*, obra na qual Galileu relata

suas observações astronômicas realizadas através da luneta. O poema exprime o desgosto originado pelo alastramento das idéias de Copérnico e Galileu (apud Smith, 1973, p.161):

O novo pensamento a dúvida espalha,
O elemento fogo está meio extinto;
Perdeu-se o Sol; na Terra
Já ninguém tenta descobri-lo.
Que o mundo rola livremente,
Dizem os homens, de olhos levantados
Para o céu, onde em vão buscam,
Ansiosos, os novos planetas...
Dados justos, harmonia, relações,
Tudo isso foi desfeito, sem apego".

Da mesma forma como as reações contrárias aos novos dados manifestavam a concepção celeste aristotélica, da qual muitos estudiosos eram partidários, é curioso observar que Kepler depositou crédito nas observações astronômicas de Galileu mesmo *antes* de ter contato com a luneta – as observações apoiavam hipóteses nas quais *já* acreditava.

De fato, não há, em qualquer área da Ciência, posicionamento descomprometido com certas concepções particulares, sejam elas metodológicas ou conceituais. As palavras de Freud, que argumenta a respeito da análise, feita por ele, de um suposto caso de possessão demoníaca, revelam de maneira talvez ostensiva, mas lúcida, esta consciência: "simplesmente direi saber muito bem que nenhum leitor que já não acredite na justificabilidade do modo de pensamento psicanalítico adquirirá essa crença com o caso do pintor do século XVII Christoph Haizmann. Tampouco é minha intenção usar esse caso como prova da validade da psicanálise. Pelo contrário, *pressuponho* a sua validade e estou empregando-a para lançar luz sobre a moléstia demoníaca do pintor" (1969, apud Azanha, 1992).

V ATIVIDADES DE ENSINO

Neste capítulo serão apresentadas as atividades elaboradas para serem inseridas em cursos de Física do 2º grau.

1 As Atividades

Tema: Telescópio

Finalidades:

Atividade 1 - Relações entre desenvolvimento científico e tecnológico

Atividade 2 - O Papel dos referentes teóricos dos cientistas na observação e interpretação de dados

1.1 Ao professor

Estas atividades buscam proporcionar aos estudantes a oportunidade de discutir alguns aspectos da atividade científica, confrontando suas concepções sobre Ciência e a relação desta com a Tecnologia.

Pesquisas recentes têm investigado as concepções dos estudantes (e mesmo dos professores) sobre Ciência, Tecnologia, suas interações mútuas e com a sociedade. Díaz (1995) e Stiefel (1995) apontam alguns dos principais resultados:

- Ignoram-se os aspectos sociais da Ciência, não havendo alusões ao papel da comunidade científica, nem aos equívocos, crenças e dilemas éticos dos pesquisadores.
- Quanto a suas repercussões sociais, identifica-se Ciência e Tecnologia como uma empresa única ("Tecnociência");
- Muitos consideram a Ciência hierarquicamente superior à Tecnologia, sendo a segunda nada mais que a aplicação da primeira;

Entretanto, a Ciência não é necessariamente matriz da Tecnologia – esta relação de Ciência-causa e Tecnologia-efeito carece de respaldo histórico, como mostra o texto da Atividade 1. Por outro lado, o avanço científico eventualmente propiciado por novos aparatos está subordinado às teorias então disponíveis para sua interpretação – exemplos históricos mostram diversos momentos nos quais a comunidade científica não estaria

"pronta" para compreender novas teorias ou evidências empíricas, conforme discutido na Atividade 2.

ATIVIDADE 1

O texto narra o motivo pelo qual se deu o aperfeiçoamento da luneta: finalidade militar. Apenas posteriormente o instrumento foi utilizado com fins científicos, no caso, astronômicos. Tem-se aí uma das distinções entre Ciência e Tecnologia, seus objetivos. No caso da Ciência, conhecimento; no caso da Tecnologia, um artefato ou seu processo de produção.

O texto mostra, também, que nem sempre o desenvolvimento tecnológico é precedido pelo desenvolvimento de teorias científicas afins, visto que a luneta foi desenvolvida sem que houvesse, até então, qualquer teoria ótica que explicasse seu funcionamento. Na verdade, o vínculo legítimo ocorre entre inovações tecnológicas anteriores e inovações tecnológicas modernas. Por exemplo, no episódio do aperfeiçoamento da luneta, foi a tecnologia de fabricação de lentes côncavas e convexas, e não a Ótica, que permitiu o aperfeiçoamento de um novo produto tecnológico, o telescópio.

A interação entre Ciência e Tecnologia está mais subordinada a fatores até certo ponto circunstanciais (pessoais, sociais, políticas e econômicas) do que a características permanentes dessas áreas do saber. Desta maneira, a expectativa de produtos com utilidade prática, gerados por pesquisas científicas, é improcedente. Embora preocupações humanistas de melhoria das condições de vida sejam de fato pertinentes, trata-se de um equívoco esperá-las necessariamente contempladas pela pesquisa científica.

Há, todavia, indicações de uma relação vital entre Ciência e Tecnologia. Uma metáfora utilizada para caracterizar a interação é *simbiose*, o que significa, por um lado, dependência vital e, por outro lado, dependência mútua, isto é, relação simétrica, permitindo interações recíprocas sem um sentido preferencial.

ATIVIDADE 2

A Atividade 1 evidencia que a concepção de que a Tecnologia é necessariamente gerada pela Ciência é equivocada. Outra concepção comum das relações Ciência-Tecnologia é a idéia de que o desenvolvimento tecnológico propicia maiores possibilidades de investigação científica.

Esta relação é verdadeira somente até certo ponto, pois desconsidera outros fatores intrínsecos ao desenvolvimento da Ciência: os referentes teóricos dos cientistas, isto é, as teorias e metodologias nas quais acreditam e a partir das quais coletam e interpretam dados.

Estes referentes teóricos dos cientistas estão, em geral, submetidos às idéias científicas socialmente aceitas.

No episódio do aperfeiçoamento da luneta por Galileu, um fator político – conflitos bélicos – contribuiu para o desenvolvimento tecnológico; o novo instrumento foi, por sua vez, fundamental para o desenvolvimento da Astronomia. Entretanto, num primeiro momento, a reação de parte dos estudiosos da época não foi favorável às observações astronômicas realizadas por intermédio da luneta.

Em primeiro lugar, tratavam-se de alguns dos primeiros dados obtidos indiretamente, isto é, com a ajuda de um instrumento – o que poderia garantir que dados obtidos com a mediação de instrumentos fossem equivalentes àqueles obtidos unicamente via percepção sensorial? Além disso, ainda não se sabia explicar o funcionamento da luneta, o que deu margem à hipótese de que a luneta, ao invés de aproximar as imagens, as estaria *produzindo*, ou seja, as imagens seriam apenas "ilusão de ótica".

Também devido aos referentes conceituais dos estudiosos, isto é, às teorias nas quais acreditavam, muitos deles não aceitaram como verdadeiras as observações astronômicas efetuadas por intermédio da luneta, já que essas contrariavam, em alguns pontos, a concepção celeste aristotélica, da qual eram partidários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conforme indicado nos textos das atividades, os livros e artigos de revista, a seguir, foram utilizados em sua elaboração. Você pode buscá-los como fonte para informações adicionais ou para a criação de novas atividades.

DÍAZ, J. A. A. Educación tecnológica desde una perspectiva CTS - Una breve revisión del tema. ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.3, jan.1995, p. 75-84.

DRAKE, S. Telescopes, Tides and Tactics – A Galilean Dialogue about the *Starry Messenger* and Systems of the World. Chicago, The University of Chicago Press, 1983.

KOESTLER, A. O Homem e o Universo (*The Sleepwalkers – The History of Man's Changing Vision of the Universe*). Trad. Alberto Denis. São Paulo, Ibrasa, 1989, p.426.

SMITH, ALAN G. R. A Revolução Científica nos Séculos XVI e XVII. Lisboa, Editorial Verbo, 1973, p.215.

STIEFEL, B. M. La naturaleza de la Ciencia en los enfoques CTS. ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.3, jan.1995, p. 19-29.

1.2 Ao estudante

Estas atividades têm como base as novas descobertas astronômicas proporcionadas pela utilização de telescópios, aperfeiçoados no século XVII pelo estudioso e inventor italiano Galileu Galilei. A partir deste episódio será possível discutir alguns aspectos da atividade científica e das relações entre Ciência e Tecnologia.

1.2.1 Atividade 1

Tema: Telescópio

Finalidade: Relações entre desenvolvimento científico e tecnológico

Durante o verão de 1609, um holandês visitou Padua, cidade onde Galileu Galilei residia na época, trazendo consigo um instrumento através do qual avistava-se os objetos em tamanho três vezes maior que a olho nu. O estrangeiro tentou vendê-lo ao governo local, mas como o preço solicitado era muito alto e ouvira-se da existência de instrumentos semelhantes com poder de aumento superior, este foi recusado. Soube-se, então, que o aparato consistia de um longo tubo, contendo uma lente de vidro em cada extremidade.

Galileu, além de professor, desenvolvia atividades de consultoria em problemas de engenharia civil e militar. Desta forma, provavelmente prevendo a utilidade de tal instrumento para a frota naval de Veneza, contra os turcos, decidiu tentar sua construção. E assim o fez, raciocinando que uma das lentes teria que ser côncava e a outra convexa. Lentes planas não produziram efeito algum; uma lente convexa ampliaria o objeto, mas sem resolução e nitidez, enquanto que uma lente côncava reduziria seu tamanho aparente, mas talvez pudesse eliminar a falta de nitidez. Tentando esta combinação, com a lente côncava próxima de seu olho, verificou o efeito de fato produzido: era possível observar objetos com suas dimensões ampliadas em três vezes.

Antes do final daquele mesmo ano, Galileu havia construído telescópios de qualidade satisfatória e poder de ampliação significativo para observações astronômicas.

Veja, abaixo, como é narrado o episódio através de um diálogo imaginado entre pessoas da época por Stillman Drake (1983), grande especialista em Galileu Galilei:

"Sarpi Por volta de novembro de 1608, recebi da Holanda um pequeno folheto descrevendo um instrumento, elaborado por um fabricante de óculos de Middlebourg. Este instrumento ampliaria objetos distantes, fazendo-os aparentarem estar mais perto. Eu imediatamente escrevi para amigos no exterior indagando a veracidade do fato. [...] Jacques Badovere me respondeu dizendo que o efeito de ampliação era de fato real e que imitações da luneta holandesa já estavam sendo vendidas em Paris, onde ele mora, embora estas imitações fossem pouco potentes, praticamente brinquedos.

[...] Eu e Galileu tínhamos, por diversas ocasiões ao longo dos muitos anos de relacionamento, discutido sobre Ciência, de modo que ele não havia jamais demonstrado maior interesse pela Astronomia, nem estava pensando em tal assunto quando ouviu falar da luneta holandesa.

Sagredo Pelo que eu conheço dele, seu interesse deu-se pela possibilidade de obter vantagem para Veneza sobre os turcos, através da posse de uma luneta pela nossa marinha.

Sarpi Você tem razão. Em junho, ele havia requisitado um aumento de salário ao nobre Signor Piero Duono, que visitava Padua, mas as negociações provaram-se infrutíferas. Nosso amigo ouviu falar da luneta pela primeira vez numa breve visita a Veneza, em julho, e então percebeu que talvez pudesse construir uma de valor naval para a República. Tão logo ouviu os relatos, nos quais alguns acreditavam e outros ridicularizavam, ele visitou-me para saber minha opinião. Eu mostrei-lhe a carta de Badovere atestando a existência do instrumento holandês e ele retornou imediatamente a Padua para tentar, em sua oficina, a reinvenção e construção da luneta.

Sagredo Quando eu voltei da Síria ouvi dizer que, justamente nessa época, um estrangeiro visitou Veneza com um desses instrumentos, tentando vendê-lo ao nosso governo por um preço alto, de modo que a oferta foi recusada. Tal coincidência surpreendente de fato ocorreu?

Sarpi De fato. E por coincidência ainda maior o estrangeiro chegou a Padua imediatamente após nosso amigo tê-la deixado para visitar Veneza. Algumas pessoas em Padua viram o instrumento, como nosso amigo descobriu em seu regresso, mas pelo mesmo golpe do destino, o estrangeiro havia acabado de partir para Veneza.

Sagredo Então nosso amigo obteve considerável benefício prático, podendo saber por outras pessoas de Padua como o instrumento era construído.

Sarpi De modo algum, pois o estrangeiro não permitia a ninguém exame mais minucioso que o de olhar através da luneta. O preço que pedia por ela era de mil ducados, tanto, que os senadores hesitaram agir sem aconselhamento e me indicaram para apreciar a questão. É claro que eu desejava estudar sua construção, mas fui proibido pelo estrangeiro de desmontá-la. Tudo que pude descobrir era que constava de duas lentes, uma em cada extremidade de um longo tubo. Portanto, isto é tudo que poderia ter sido relatado ao nosso amigo em Padua. A luneta não era de fato muito potente, ampliando uma linha distante em apenas três vezes. Sabendo pelo folheto que os holandeses já possuíam lunetas mais potentes, aconselhei o Senado contrariamente a este gasto dos fundos públicos e o estrangeiro partiu contrariado.

[...] Justamente nesta época, recebi uma carta de nosso amigo, que dizia ter obtido o efeito de ampliação, embora fraco. Também estava confiante de poder melhorá-lo consideravelmente, num tempo curto [...]

Sagredo Ele contou como havia descoberto o segredo tão rapidamente?

Sarpi Não naquela carta rápida. Mas, posteriormente, disse ter raciocinado que uma das lentes deveria ser convexa e a outra côncava. Uma lente plana não produziria efeito algum; uma lente convexa ampliaria os objetos, mas sem resolução e nitidez, enquanto que uma lente côncava reduziria seu tamanho aparente, mas talvez pudesse eliminar a falta de nitidez. Experimentando duas lentes de óculos, com a côncava próxima de seu olho, ele constatou o efeito desejado. Os problemas eram, então, polir a lente côncava mais profundamente que se faz em óculos para míopes e, também, moldar a lente convexa no raio de uma esfera grande, aguçando seu efeito. Por motivos óbvios, ele o fez por si mesmo, pois não desejava que nenhum polidor de lentes soubesse seu plano. No meio de agosto, ele retornou a Veneza com uma luneta que ampliava oito vezes ou mais. Com ela, da campânula em São Marco, descreveu navios que se aproximavam, duas horas antes que pudessem ser avistados por observadores treinados.

Sagredo Sabemos que ele presenteou a luneta ao Duque e em retorno recebeu um salário dobrado e posição vitalícia na universidade, embora ele tenha logo deixado o magistério e se colocado a serviço de Cosimo II de' Medici, na corte toscana. Agora, o que

fez com que ele voltasse este instrumento comercial e naval para os propósitos da Astronomia?

Sarpi O folheto dizia, no final, que estrelas invisíveis a olho nu eram observadas através da luneta. Talvez nosso amigo tenha logo verificado tal fato, ou tenha-o descoberto ele próprio [...]

Salviati Talvez eu possa esclarecer o que aconteceu a seguir. Tendo presenteado sua primeira luneta ao Duque, nosso amigo desvencilhou-se de suas obrigações ao príncipe e aluno. Apresentou a Cosimo, em Florença, um instrumento semelhante, útil para fins militares. Ocorreu-lhe que outro, ainda mais potente, seria um presente apreciável para o jovem grão-duque. Tencionava aperfeiçoar ainda mais a luneta. Entretanto, para tal finalidade, necessitava de vidro duro e cristalino de espessura que não era utilizada pelos fabricantes de óculos. Receando que outros o antecipassem, caso tomassem conhecimento do material de que necessitava, solicitou o vidro em Florença, na qualidade e tamanho que desejava. Poliu, então, lentes apropriadas para um telescópio duas vezes mais potente que aquele construído anteriormente, que já era quase três vezes mais potente que os brinquedos feitos com lentes de óculos. Ele completou o empreendimento no fim de novembro e, enquanto testava-o ao entardecer, ocorreu de apontá-lo em direção à Lua, então crescente. Através do telescópio a Lua apresentou-se tão diferente do esperado, tanto em relação à sua porção iluminada, quanto à escura, que durante todo um mês ocupou a atenção exclusiva de nosso amigo".

Assim, embora Galileu tenha transformado a luneta num instrumento que possibilitava até a investigação astronômica, não sabia explicar porque e como funcionava aquele objeto. Somente no ano seguinte, um astrônomo da época, Johannes Kepler, escreve um livro no qual deduz os princípios de funcionamento do telescópio, analisando geometricamente a refração da luz por lentes. Mas a formulação correta da lei da refração não era conhecida, como também não se tinha ainda um modelo aceitável para explicar porque, afinal, a luz era refratada pelas lentes. Estes fatos só seriam esclarecidos cerca de 70 anos mais tarde pelo holandês Christian Huygens.

Ou seja, apenas no ano seguinte ao aperfeiçoamento da luneta por Galileu, Kepler explicou como se dava seu funcionamento. Entretanto, porque o instrumento funcionava daquela forma só pôde ser compreendido 70 anos mais tarde.

1. De que nova Tecnologia trata o texto? Que parte da Ciência descreve e explica seu funcionamento?

2. Por que motivo Galileu decidiu aperfeiçoar a luneta? Você saberia fazer um paralelo com os avanços que ocorrem nos dias de hoje, citando algum que tenha se dado pelo mesmo motivo?

3. Em que trechos você nota o descompasso entre desenvolvimento científico e tecnológico no século de Galileu?

4. Quais foram, afinal, as dificuldades enfrentadas por Galileu para a construção da luneta? Você as definiria como problemas científicos ou tecnológicos? Por quê?

5. Qual seria então a relação entre Ciência e Tecnologia no episódio da luneta? Você poderia dar exemplos nos quais a interação entre conhecimentos científicos e tecnológicos seja equivalente à que ocorre nesse episódio? E exemplos nos quais a interação seja diferente?

1.2.2 Atividade 2

Tema: Telescópio

Finalidade: O Papel dos referentes teóricos dos cientistas na observação e interpretação de dados

Mesmo sem explicar o funcionamento de seus telescópios, Galileu Galilei inicia suas observações astronômicas. Em 1610 publica *Mensagem das Estrelas*, onde afirma que a superfície lunar seria montanhosa, como a da Terra, e não perfeitamente lisa, como se acreditava na época. Além disso, relata a observação de estrelas antes nunca vistas e declara ter descoberto quatro corpos celestes orbitando ao redor de um dos planetas já conhecidos, Júpiter.

Estas estão entre as primeiras observações científicas realizadas com a mediação de um instrumento, no caso, a luneta ou telescópio.

Embora os telescópios de Galileu fossem os melhores existentes na época, tratavam-se ainda de instrumentos rudimentares, sem montagem fixa, e com campo visual tão pequeno que, como disse alguém (provavelmente exagerando um pouco): “de se assombrar não é que [Galileu] tenha descoberto as luas de Júpiter, e sim de ter visto o próprio Júpiter” (apud Koestler, 1989, p. 255).

De qualquer forma, as declarações de Galileu foram encaradas pela maioria dos estudiosos como produto de ilusão ótica, senão como simples engodo. Duvidava-se que as imagens vistas através do telescópio fossem dignas de crédito, constituindo-se em distorções devidas à refração da luz pelas lentes. Sizzi, italiano como Galileu, escreve um livro onde apresenta argumentos para desacreditar observações realizadas através do telescópio, como no trecho a seguir:

" Eu também, numa ocasião, participei de observações. Vi os mesmos fenômenos que todos os outros presentes [...] Tendo considerado cuidadosamente a estrutura do telescópio percebi, de repente, que havia algum erro ou deturpação de visão naquele fenômeno; assim, após tais reflexões, comecei a escrever algumas coisas dos mistérios da Ótica e Astronomia".

Em seguida, Sizzi atribui o "erro ou deturpação da visão" ao próprio fenômeno da refração da luz:

"[...] A observação se dá através de diferentes meios diáfanos mais densos que o ar, que são cristais e vidros. [...] Sempre que olhamos um objeto qualquer através de um meio

mais denso há, necessariamente, a refração na superfície do corpo mais denso" (apud Drake, 1983, p.152).

Além disso, tinha-se conhecimento de outro fenômeno originado pela refração da luz, denominado *parahelia* – a aparente multiplicação do número de sóis no céu. Sizzi compara a aparente ampliação de objetos à multiplicação de imagens: ambos não ocorreriam a olho nu, mas na presença do fenômeno de refração. Desta forma, os satélites de Júpiter, observados através do telescópio, não seriam mais reais que as imagens multiplicadas do Sol.

Entretanto, podia-se argumentar que não havia "erro ou deturpação da visão" ao observar-se, por exemplo, uma janela através do telescópio. A única modificação impressa à janela, observada a uma dada distância, era sua aproximação.

Mas Galileu declarara também a possibilidade da observação de objetos invisíveis a olho nu e, nestes casos, o telescópio poderia estar *produzindo* as imagens, ao invés de aproximar os objetos até que fossem perceptíveis à visão humana. Já esta objeção podia ser contestada pela recente observação de olhos e pequenos órgãos de moscas, invisíveis a olho nu. A estrutura de criaturas muito pequenas foi constatada como muito semelhante à dos animais melhor conhecidos, de forma que a produção da imagem dessas estruturas pela refração da luz seria altamente improvável.

Apesar disso, naquela época, tais argumentos lógicos para objetos terrestres não eram necessariamente válidos para objetos celestes, visto que Aristóteles havia declarado que objetos celestes e terrestres eram de naturezas e substâncias completamente distintas.

As novas observações astronômicas também contrariavam outros aspectos fundamentais da teoria celeste aristotélica, aceita então pela maioria dos estudiosos. Dessa forma, o otimismo inicialmente exibido por Galileu em relação ao telescópio não seria facilmente confirmado, visto que as novas observações envolviam concepções filosóficas arraigadas. Este é o caso da descoberta de um grande número de novas estrelas, que trazia à tona a discussão sobre a possível infinidade do universo, rejeitada por Aristóteles. Galileu afirma:

"[...] O segundo caso que observei foi a essência ou substância da Via Láctea. Com o telescópio ninguém a poderá ver como aparece aos sentidos; todas as discussões que atormentaram os filósofos através dos tempos desvanecem-se imediatamente, dada a irrecusável evidência dos nossos olhos nos libertar das disputas sobre o assunto, visto a

galáxia se reduzir a um conjunto de estrelas inumeráveis [...]" (apud Smith, 1973, p.120).

Essa "irrecusável evidência dos olhos" seria duramente atacada por aqueles que não acreditavam num universo infinito, ou que não apoiavam a existência dos corpos celestes orbitando ao redor de Júpiter, chamados por Kepler de satélites. No sistema proposto por Ptolomeu e defendido por Aristóteles, a Terra era considerada o centro do universo. Os satélites de Júpiter mostravam que a Terra não era o único planeta a ter uma lua circulando ao seu redor e, portanto, a Terra não seria diferente dos outros planetas.

Além disso, sabia-se que Júpiter orbitava em torno do Sol. Assim, constatava-se a possibilidade de um planeta orbitar em torno do Sol e não "perder" seus satélites durante esse movimento, o que contrariava o argumento de que a Terra não poderia orbitar em torno do Sol sem que "perdesse" a Lua. Isto fazia com que a concepção copernicana do sistema solar, contrária àquela defendida por Aristóteles, parecesse mais plausível. Segundo Copérnico, a Terra não estaria parada, mas, como os demais planetas, também orbitaria aproximadamente em torno do Sol. Já no sistema aristotélico, a Terra, como centro do universo, deveria permanecer imóvel. Por este motivo, Galileu atribuía ao descobrimento dos satélites importância vital:

"[...] temos aqui um argumento excelente e excessivamente claro para tranquilizar os escrúpulos dos que podem tolerar a revolução dos planetas em volta do Sol no sistema copernicano, mas ficam tão perturbados com a revolução da Lua em torno da Terra, ao mesmo tempo em que ambas descrevem uma órbita anual em volta do Sol, que consideram impossível esta teoria do universo" (apud Koestler, 1989, p.25).

A existência dos satélites de Júpiter era realmente um bom indício para o sistema heliocêntrico, pois refutava um argumento aristotélico importante, a impossibilidade da Terra orbitar em torno do Sol sem "perder" a Lua. Talvez por isso mesmo muitos preferiram não discutir tal argumento, mas simplesmente desconsiderar a possibilidade da existência dos satélites de Júpiter.

Já Johannes Kepler, considerado na época o mais importante astrônomo vivo, mesmo antes de qualquer contato com o telescópio, confiou nas observações astronômicas relatadas por Galileu e ofereceu-se publicamente para servir-lhe de "squire" ou "escudeiro" contra os adversários do telescópio. Algumas das novas observações astronômicas, como os satélites, fortaleciam o sistema copernicano no

qual Kepler e Galileu acreditavam. Assim, apoiando publicamente as descobertas astronômicas, sem nunca tê-las visto, Kepler escreve a Galileu:

"Exige a lei seja cada um merecedor de confiança, a não ser que se prove o contrário, e este é muito mais o caso, visto garantirem as circunstâncias a confiança. Com efeito, não estamos lidando com um problema filosófico e sim com um problema legal: Galileu terá deliberadamente iludido o mundo com um embuste?..."

Não desejo ocultar-vos que a Praga chegaram cartas de alguns italianos que negam terem visto tais planetas através de vosso telescópio.

Pergunto a mim próprio como é possível que tantos neguem [a existência deles], inclusive os que possuem telescópio...Peço-vos, portanto, meu Galileu, que me citeis testemunhas o mais breve possível. De várias cartas por vós escritas a outros soube que não careceis dessas testemunhas. Quanto a mim, não posso citar testemunho algum, a não ser o vosso..." (apud Koestler, 1989, p.259).

1. Que argumentos foram apresentados por estudiosos contemporâneos de Galileu para desacreditar as imagens astronômicas vistas por intermédio do telescópio?

2. Em que pontos as novas observações contrariavam a concepção aristotélica do universo, aceita na época?

3. Em síntese, por quais motivos os estudiosos do início do século XVII foram contrários às observações celestes pelo telescópio? Os argumentos eram, na época, procedentes? Por quê?

4. O Projeto Cérebro Humano é um empreendimento financiado pelo governo norte-americano, que investe US\$ 6 milhões por ano nessa tentativa de se criar um *software* que una os conhecimentos mais modernos da computação às pesquisas de ponta sobre neurociência (estudo do cérebro). O trecho seguinte é parte de uma entrevista que seu coordenador, Michael Huerta, deu à Folha de São Paulo no dia 20/08/95:

Folha - O Sr. também afirmou que, com o software, será possível simular experiências no computador em vez

de realizá-las em laboratório. Há como assegurar que o resultado da simulação corresponda à realidade?

Huerta - Claro. Se resultados de dois experimentos distintos forem colocados num mesmo espaço eletrônico, poderemos simular uma terceira experiência que una as duas anteriores, sem necessidade de repetir todo o processo em laboratório. Os dados estão armazenados. Tudo o que o computador faz é cruzar os resultados para criar uma terceira situação, igual à que aconteceria se a experiência fosse realizada empiricamente.

Fazendo uma comparação com o episódio da luneta, que paralelos poderiam ser estabelecidos com a simulação de experimentos por computador? Assim, você diria que a pergunta do repórter é pertinente? Você acha que a resposta do cientista é suficiente para convencer pessoas que não acreditem na validade das simulações? Por quê?

VI A SALA DE AULA: ALGUNS EPISÓDIOS DE ENSINO

Neste capítulo serão apresentados alguns episódios ocorridos durante aulas nas quais foram propostas as atividades elaboradas neste trabalho. Ainda que sem a sistematização de uma pesquisa em sala de aula, se pretende dar significado aos referenciais teóricos discutidos em capítulos anteriores.

1 Dos Dados

Os dados foram obtidos a partir da transcrição de vídeos das aulas, das quais foram selecionados alguns episódios.

O episódio, às vezes dividido em momentos é, de certa forma, curto, se comparado com a duração da aula. Todavia, constitui-se num recorte que tem, como característica principal, se tratar de um ciclo completo no processo de interação entre indivíduos, mediado pelo objeto de conhecimento (Carvalho et al., 1992).

A seleção e interpretação dos episódios estão naturalmente sujeitas aos pressupostos teóricos do pesquisador. Por isso mesmo, sua abordagem reflete os aspectos que se busca salientar e analisar, neste trabalho, com relação aos objetivos e metodologia para o ensino de Física, discutidos no Capítulo II.

Assim, como serão apresentadas situações de sala de aula cuja interpretação tem base nesses referenciais, serão discutidos, por exemplo, aspectos como: o modo com os alunos discutem questões históricas e filosóficas, o processo de busca da resposta a um problema, o trabalho com conteúdos conceituais e atitudinais, o papel do professor e dos grupos, a argumentação dos alunos.

Ainda que apenas alguns desses pontos sejam salientados em cada um dos diferentes momentos de cada episódio, entende-se que conteúdos, metodologia e objetivos para a educação científica não são questões perpendiculares, apresentando projeções e superposições mútuas. Tal é a perspectiva deste trabalho.

2 Os Episódios e sua Análise

2.1 Episódio 1

Este episódio é relativo à Atividade 1 elaborada neste trabalho, a qual tem por objetivo a discussão das relações entre Ciência e Tecnologia.

A atividade foi ministrada numa turma de 2º ano colegial de uma escola pública no município de Tatuí, São Paulo.

Numa primeira aula, os alunos leram o texto e discutiram as questões colocadas ao final, em grupos de 4-5 pessoas. O episódio descrito abaixo ocorreu na aula seguinte, quando o professor propôs a discussão com todos os grupos simultaneamente.

MOMENTO 1

O professor inicia a discussão.

P *A primeira pergunta era a seguinte: "De que nova tecnologia trata o texto? Que parte da Ciência descreve e explica seu funcionamento?" Então eu gostaria de saber do Grupo 1, o que foi que vocês responderam?*

PA *A tecnologia tratada no texto é a fabricação do telescópio, ou seja, das lentes, usando uma parte da Ciência que chamamos Ótica.*

A resposta da aluna exemplifica uma idéia muito comum, conforme previsto na revisão bibliográfica (Capítulo II, item 2.3.2), segundo a qual a Ciência é utilizada na elaboração de novos aparatos tecnológicos. Trata-se de uma concepção válida apenas para determinados episódios, não sendo o aperfeiçoamento da luneta um desses casos.

Num momento subsequente da aula, na resposta a outra questão proposta na atividade, aparece na fala de outra aluna a idéia contrária:

P *Vamos ver a questão 3: "Em que trechos você nota o descompasso entre desenvolvimento científico e tecnológico no século de Galileu?"*

LU *Ele usou a tecnologia sem conhecer a Ciência. Após 70 anos foi explicada a Ciência, provando que desta vez a Tecnologia precedeu a Ciência.*

Na verdade, o problema não é trivial. Embora LU utilize o termo “provando” para dizer que, no episódio da luneta, [...] *a Tecnologia precedeu a Ciência*, muitos alunos não o vêem dessa forma.

Por isso mesmo e, também, em virtude das conseqüências que tais concepções podem acarretar quanto ao *status* privilegiado da Ciência – nem sempre justificável – as relações entre Ciência e Tecnologia emergem como tema quando se considera a natureza da Ciência como conteúdo escolar.

MOMENTO 2

Ao responderem a questão 4 – "Quais foram, afinal, as dificuldades enfrentadas por Galileu para a construção da luneta? Você as definiria como problemas científicos ou tecnológicos? Por quê?", alguns grupos defenderam as dificuldades como tendo sido tecnológicas e outros, como científicas.

O professor faz sua síntese:

P *Então, o problema que Galileu encontrou foi um problema de ordem tecnológica; técnico. Ele tinha que polir lentes, mesmo sem saber porque as lentes tinham essas propriedades. Galileu não sabia, e nem ninguém na época, explicar porque as lentes funcionavam, certo? E aí a gente pode distinguir muito bem o que é técnica e Ciência. Porque a Ciência é, ela exige que você saiba a explicação das causas, dos porquês. Se Galileu tivesse feito Ciência no caso do episódio do telescópio, ele saberia, ou deveria ter sabido explicar como e porque as lentes funcionavam, coisa que nem ele, nem ninguém na época, sabia dizer. Mesmo sem ter esse conhecimento, ele aperfeiçoou o instrumento, poliu as lentes e obteve resultados cada vez melhores. Então o problema que Galileu teve que enfrentar foi um problema tecnológico e não científico. Tá?*

CA *Mas a falta de conhecimento não é um problema científico? Não tinha como saber fazer, não era um ... não tinha aprofundado um conhecimento científico – como fazer aquilo, não é?*

P *Mas é um problema técnico. Ele teria que ter um instrumento para polir a lente, que era um problema muito mais prático, muito mais técnico do que saber explicar as causas e os porquês. O problema científico, no caso, é saber explicar porque as lentes aumentam os objetos de tamanho. Ele não estava nem interessado em responder essa pergunta.*

MA *Só que, por exemplo, se ele tivesse o conhecimento científico das lentes, aí, na primeira vez que ele fosse fazer as lentes, ele já faria a concavidade ...*

P *Exatamente. Essa é uma questão importante: o que é conhecimento científico? Porque, se ele tivesse o conhecimento científico, ele saberia prever, ele anteciparia o resultado. Coisa que ele não sabia, certo? Então o conhecimento científico, ele envolve, além de uma explicação, uma previsão [...]*

GE *Mas a partir do momento que ele foi tentando e chegou à conclusão que deixando uma lente curva ela teria efeito, já seria o conhecimento científico.*

P *Não seria conhecimento científico porque ele não sabia explicar o porquê que a lente curva ia produzir aquele resultado. Por que que a lente plana não produzia e a lente curva produzia? Ele sabia, da observação, que a lente curva tinha um resultado melhor*

que o da lente plana (que não tinha resultado nenhum). Isso é uma observação, certo? Cadê a explicação? Por quê? Ele não sabia responder.

AN *Então não é só o tecnológico. Eu acho que aí tem os dois relacionados. Tanto tecnológico, quanto científico. Aí não dá pra distinguir se é um dos dois.*

Inicialmente o professor coloca seu ponto de vista, mas os alunos não estão convencidos. CA aponta um aspecto pertinente: Galileu enfrentou, como problema, a falta de conhecimento científico (*Mas a falta de conhecimento não é um problema científico?*). Entretanto, o que ela não parece reconhecer é o fato de que esse desconhecimento não representou um obstáculo para o aperfeiçoamento da luneta (*Não tinha como saber fazer, não era um ... não tinha aprofundado um conhecimento científico – como fazer aquilo, não é?*).

Duas hipóteses podem ser levantadas: em primeiro lugar, uma confusão entre saber e, em suas próprias palavras, "saber fazer". Outra interpretação é que, ao conceber uma relação causal Ciência → Tecnologia, CA realiza raciocínio análogo ao de Bacon: "sendo a causa ignorada, frustra-se o efeito" (1973, aforismo III, livro I).

Insatisfeitos com a explicação do professor, os alunos levantam pontos importantes a respeito do que é a atividade científica, como previsão (MA: *se ele tivesse o conhecimento científico das lentes, aí, na primeira vez que ele fosse fazer as lentes, ele já faria a concavidade...*) e descrição (GE: *Mas a partir do momento que ele foi tentando e chegou à conclusão que deixando uma lente curva ela teria efeito, já seria o conhecimento científico*). A esta segunda característica atribuída à atividade científica – a descrição –, o professor contrapõe sua concepção: *Isso é uma observação, certo? Cadê a explicação? Não seria conhecimento científico porque ele não sabia explicar o porquê [...]*

Isso é o mais importante: que os alunos revejam e ampliem suas representações de Ciência e Tecnologia. A contrastação entre idéias diferentes, além de relativizar e trazer a necessidade de se justificar pontos de vista, pode levar à tomada de consciência e ao esclarecimento de idéias inicialmente indiferenciadas. Parafraçando Siegel (1993) (que refere-se à concepção de Ciência), “deveríamos procurar para os nossos alunos aquilo que procuramos para nós mesmos: uma consciência e apreciação cada vez mais profundas dos problemas e dúvidas de nossa[s] concepção[ções]”.

MOMENTO 3

A discussão continua, os alunos defendendo, no episódio da luneta, a presença simultânea de dois tipos diferentes de problemas: científicos e tecnológicos.

AN *Então esse daí não é um problema científico?*

P *O como e o porquê?*

AN *É.*

P *É científico.*

AN *Então o aperfeiçoamento das lentes daí seria tecnológico. É isso que eu tô querendo dizer.*

P *É. O aperfeiçoamento foi tecnológico.*

AN *Não é só tecnológico a resposta.*

P *É. Porque o Galileu ele não sabia explicar o como.*

AN *Então. Por isso ele teve um problema científico.*

CA *Então o problema científico pra ele é que faltava conhecimento.*

P *Faltava o conhecimento **científico**.*

CA *Isso.*

GE *Exatamente.*

AN *Era um problema.*

(risadas)

CA *Nós vamos convencer ele de que era científico.*

De fato, o aperfeiçoamento da luneta criou um problema científico: Como se dava seu funcionamento? Esta questão foi analisada por Johannes Kepler em sua obra *Dioptrice*, na qual deduziu os princípios de funcionamento da luneta analisando geometricamente a refração da luz por lentes.

Todavia, o professor não estabelece com os alunos a diferença entre a falta de conhecimento científico e a consequência *ou não* dessa falta de conhecimento para objetivos práticos. Na verdade, a argumentação dos alunos é coerente com sua compreensão de uma relação causal entre Ciência e Tecnologia. Assim, é importante que o professor conheça e esteja atento para as idéias que os alunos frequentemente apresentam, adequando, dessa forma, sua argumentação.

Como pode ser visto no trecho a seguir, a discussão acaba por se desviar do tema relações Ciência-Tecnologia para entrar, nas palavras do professor, “no terreno das intenções” que Galileu teria tido ao aperfeiçoar a luneta.

P *Veja, ele não tinha o conhecimento científico.*

GE *É. Faltava esse.*

P *Tudo bem. Nesse sentido, o problema dele era um problema científico. Ele não tava preocupado em explicar o porquê. Ele tava preocupado ...*

DE *Não se sabe?!*

P *Oi?*

DE *Não dá pra saber se ele estava ...*

P *Bom, pelo menos aí, historicamente. Ele tava preocupado em aperfeiçoar a lente e observar esse resultado – se ela tinha a capacidade de aumentar o objeto de tamanho.*

Ao longo da discussão os alunos têm oportunidade de levantar novas questões que não haviam sido propostas. Assim, ao analisarem o “terreno das intenções”, os alunos apontam para eventuais objetivos científicos de Galileu com relação à luneta, desta vez, não no sentido de compreender seu funcionamento, mas de empreender observações celestes:

P *Uma pergunta que eu queria introduzir agora, que surgiu nesse grupo aqui é a seguinte: Por que Galileu apontou o telescópio pra Lua? Será que foi por acaso?*
(Alguns alunos respondem que não.)

P *Será?*

MI *Então, se não foi por acaso, aí por conhecimento científico.*

P *Aqui que tá, agora a gente entra no terreno das intenções. Quer dizer, Galileu era um gênio, possivelmente sim. Além de um consultor militar ele também era um cientista. Nós não podemos dizer que foi, também não podemos garantir que sim ou não, ele apontou o telescópio pra Lua por acaso, sem querer, e olhou e falou "Olha, a Lua é assim". Será que ele não tinha já uma concepção de mundo, uma teoria, um conhecimento dele que levou ele ...*

DE *Eu acho que ele tinha.*

P *... a apontar o telescópio pra Lua? Será que ele não tinha uma intenção prévia?*

(Parte da classe concorda.)

P *Ou foi ao acaso? Então, é complicado saber.*

LI *Talvez tenha sido simplesmente por curiosidade.*

P *Pode ... aí que ... nós não sabemos.*

A dúvida levantada pelos alunos quanto às intenções de Galileu constitui-se num ponto controverso entre os próprios historiadores da Ciência, como Alexandre Koyré e Stillman Drake, dois estudiosos da obra de Galileu (ver capítulo IV, item 1).

Trata-se de um indício contrário à posição de que assuntos controversos sejam inadequados à educação científica. Conforme colocado anteriormente (capítulo IV, item 1), a importância de temas contraditórios pode ser sustentada por dois argumentos: 1) A impossibilidade de uma versão final e correta para todas as disputas entre diferentes idéias; 2) Ao considerar-se a importância pedagógica dos debates e contraste de idéias.

A inclusão de temas contraditórios entre os próprios filósofos e historiadores da Ciência requer, todavia, o redimensionamento de objetivos educacionais; no caso, promover não respostas finais, mas "[...] algum *insight* sobre o modo como os cientistas trabalham ou como o novo conhecimento científico é obtido" (Kipnis, op. cit., p.613).

MOMENTO 4

Retomando o tema das relações Ciência-Tecnologia, nota-se na fala de BE – de difícil compreensão – um aspecto importante de ser contemplado pela educação escolar e viabilizado durante a atividade em questão: a expressão de idéias.

BE *No caso da luneta, a Tecnologia precede a Ciência. No entanto, nossa resposta não está de acordo sobre o desenvolvimento científico e tecnológico. Mas concluímos que uma depende da outra.*

P *Sua resposta não "está de acordo sobre o desenvolvimento científico e tecnológico"?*

AN *Não. Não está de acordo com o que a gente pensava **antes**.*

P *Ah, antes. Por quê? Vocês pensavam o quê, antes?*

AN *Que a Ciência vinha antes da Tecnologia.*

P *Tá.*

AN *Quer dizer, nem sempre.*

P *Nem sempre antes. Às vezes vem antes, às vezes não. No caso, por exemplo, da bomba atômica – a bomba atômica foi um desenvolvimento tecnológico, só que, pra se fabricar a bomba atômica teve que se acumular durante séculos um conhecimento sobre a estrutura do átomo. Então teve que ter conhecimento científico antes, pra depois ter Tecnologia.*

BE *Assim, no caso do átomo, professor, mas antes de descobrir o átomo, teve o microscópio também que não sabiam explicar como funcionava.*

[...]

P *O microscópio é utilizado hoje na Biologia para observar células [...] O átomo não dá pra você ver.*

O professor não percebe a relação bonita que a aluna está estabelecendo quando afirma: [...] *mas antes de descobrir o átomo, teve o microscópio também que não sabiam explicar como funcionava.* Isto é, além da eventual utilidade de conhecimentos científicos para a tecnologia atômica, conforme o professor afirmara, ela levanta outras possibilidades para as relações entre Ciência e Tecnologia: a tecnologia do microscópio sendo utilizada para "descobrir" o átomo e este aparato tecnológico tendo sido desenvolvido a despeito de conhecimentos em Ótica.

Assim, ainda que o átomo não tenha sido “descoberto”, constituindo-se, na verdade, em um modelo idealizado, é importante notar que BE reconhece diferentes maneiras de interação entre Ciência e Tecnologia.

Ainda assim, a visão que a aluna tem do átomo não pode ser desprezada, pois envolve idéias distorcidas quanto à natureza do conhecimento científico. Indica a necessidade de novas atividades para discutir temas como, por exemplo, o papel da idealização e dos modelos na Ciência. Todavia, essas não são questões às quais os estudantes devam ser convidados a darem sua opinião a despeito de seu conhecimento, o que desvalorizaria a aquisição escolar de conhecimento e o pensamento fundamentado. Neste ponto é reiterada a importância de contextualização histórica para que os alunos discutam tópicos em Filosofia da Ciência.

MOMENTO 5

No final da aula, o professor procura sistematizar algumas conclusões. Parte dos alunos discordam de sua posição, o que faz com que o professor introduza algumas idéias acerca do caráter de construção permanente do conhecimento.

P *Tudo bem? E então eu acho que a conclusão mais importante é que no episódio da luneta a Tecnologia tá precedendo a Ciência. Então essa idéia de que Ciência gera Tecnologia, ela é questionável, porque nem sempre isso é verdade. Em alguns episódios pode ser, em outros episódios não. Claro que elas andam sempre lado a lado, em alguns momentos é fácil você separar, em outros não.*

MO *Pra falar a verdade, não me convence.*

P *Tudo bem, é isso. Conhecimento é isso mesmo, conhecimento não é, você não pode, eu não tô medindo verdade pra você. Eu tô tentando te convencer, certo? Daqui a algum tempo você pode tentar aceitar isso ou não, mas isso é o conhecimento, não é ... eu não vendo verdades. Conhecimento não é aquela coisa de verdades, conhecimento científico não é verdade absoluta, acabada. Se fosse verdade absoluta, acabada, seria religião. Nós não estamos fazendo religião aqui dentro. Nós estamos fazendo conhecimento, nós estamos construindo conhecimento. E é isso. Você pode questionar o que eu acho.*

CA *Mas isso é provado que é verdade o que você falou, não? Assim ... todo mundo concorda que nesse caso realmente a Tecnologia ...*

P *Olha ...*

CA *A maioria ...?*

P *Na verdade, quando você lê ou faz Ciência, sempre tem uma ala que fala sim, uma ala que fala não. Nunca existe um consenso coletivo de todos os historiadores, filósofos, que achem que Galileu foi isso. E inclusive Galileu tem muita controvérsia, tem gente que acha que não, tem gente que acha que sim. Então, quando você lê um texto, você tem que citar a fonte [...]*

GE *Foi provado, professor?*

P *O quê?*

GE *Nesse texto, que o problema dele era tecnológico?*

CA *Nós discordamos.*

P *Tudo bem, mas é pra discordar, certo?*

KA *Eu posso pegar tecnológico e científico então?*

As falas das alunas parecem indicar a necessidade de que as idéias sejam apresentadas como verdades (CA: *Mas isso é provado que é verdade o que você falou, não?*; GE: *Foi provado, professor?*), concepção esta para a qual a educação escolar tem contribuído.

Percebe-se então, a oportunidade que os estudantes têm para refletir acerca de conteúdos atitudinais: em primeiro lugar, quanto ao *status* negativo comumente associado ao conflito de idéias e, além disso, quanto à identificação da Ciência (e demais conteúdos escolares, incluindo-se a História) como conjunto de verdades.

Outro aspecto a ser considerado diz respeito ao papel do professor em atividades que envolvem a discussão e contrastação de idéias. Não se trata de tarefa fácil, pois os alunos passam a ter oportunidade de estabelecer relações imprevistas – e estabelecem, conforme se observa a partir da aula descrita. No caso, apesar da importância de se discutir a associação entre conhecimento científico e verdade, um ponto que caberia ao professor

teria sido chamar atenção dos alunos para a distinção entre Ciência enquanto eventual facilitador e desconhecimento científico como obstáculo para o desenvolvimento tecnológico. Isto é, alguns alunos afirmaram que Galileu teria enfrentado problemas tecnológicos e científicos. É possível que a disponibilidade de conhecimentos acerca do funcionamento das lentes fosse um fator de auxílio para Galileu. Entretanto, fato inquestionável, a falta desse conhecimento não se constituiu em obstáculo para o aperfeiçoamento da luneta.

2.2 Episódio 2

Este episódio procura mostrar como os alunos *começam* a discussão da Atividade 1, abordada no episódio 1 num momento posterior da aula.

Trata-se de uma turma de 2º ano colegial noturno de uma escola pública no município de São Paulo.

Os alunos leram o texto e, em seguida, se reuniram em grupos de 4-5 pessoas para sua discussão.

MOMENTO 1

Um dos grupos analisa a questão 3: "Em que trechos você nota o descompasso entre desenvolvimento científico e tecnológico no século de Galileu?"

PE *O que é descompasso?*

GU *Deve ser isso aqui: ele criou o negócio, mas não sabia explicar para que servia.*

PE *Eu quero saber o que é descompasso.*

LI *Claro que ele sabia. Sabia que olhava mais perto.*

(Chamam a professora.)

GU *Professora, essa 3 seria o quê? "Em que trechos você nota descompasso entre desenvolvimento científico e tecnológico no século de Galileu?"*

LI *Então, científico é a Ótica. Aí a nova tecnologia é ...*

GU *Científico o que seria, a Ótica? Ou seria as idéias dele que eram mais avançadas do que o que ele possuía na época?*

P *Peraí, qual que é ... Vamos começar pelo mais simples: qual é a Tecnologia?*

LI *Tecnologia é o aperfeiçoamento da luneta.*

P *Nesse caso é. E qual é o desenvolvimento científico relacionado com a luneta?*

LI *Vixe, aí ...*

PE *A Ótica.*

P *A Ótica. A Ótica explicando a luneta, explicando a refração, se desenvolveu ao mesmo tempo que a luneta, ou teve um desencontro?*

GU *Acho que teve um desencontro, um descompasso aí.*

P *Qual descompasso?*

GU *Acho que a luneta era mais aperfeiçoada do que o que se tinha na época. Permitia melhores visões.*

PE *Peraí, ele não sabia explicar como funcionava.*

GU *Tá escrito aqui. Ele criou o negócio, mas não sabia pra que servia, nem como funcionava.*

LI *Não, pra que servia ele sabia.*

P *Pra que servia ele sabia.*

PE *Mas ele não sabia como funcionava.*

GU *Ah!*

P *Então realmente tinha um descompasso. Porque não é só que **ele** não sabia como funcionava, não **se** sabia como funcionava.*

Nota-se, no início da discussão, uma confusão muito grande. PE não compreende o significado da palavra descompasso (*O que é descompasso?*). GU confunde finalidade com conhecimento científico (*Deve ser isso aqui: ele criou o negócio, mas não sabia explicar **para que** servia.*), pois realmente não tem claro no que consiste "o desenvolvimento científico" em questão (*Científico o que seria, a Ótica? Ou seria as idéias dele que eram mais avançadas do que o que ele possuía na época?*).

Ao longo da discussão as idéias vão se diferenciando, até que GU, por exemplo, compreende a confusão que estava fazendo (*Ah!*). Esta tomada de consciência talvez não ocorresse sem que ele tivesse explicitado suas idéias e as contraposto com as dos colegas.

Assim, apesar da dificuldade que possa representar para os alunos discussões como esta, o trabalho em grupo e a orientação do professor têm como objetivo contribuir para tornar o conteúdo acessível.

MOMENTO 2

Num outro grupo, os alunos discutem os motivos que Galileu teria tido para aperfeiçoar a luneta:

MA *O que você acha disso, CLA?*

CLA *O que?*
MA *Por que ele queria aperfeiçoar?*
CLA *Lê o texto! Por causa das batalhas.*
GI *Pra vender. Que nem ele falou que ...*
MA *Pra ajudar o país dele.*
CLA *Não vender. Ele queria ajudar nas batalhas. Vender ...*
MA *Ele dobrou o salário.*
CLA *Ele dobrar o salário foi uma **conseqüência**.*

Apesar dos alunos referirem-se a informações do texto, cada qual tem sua interpretação dos motivos de Galileu para aperfeiçoar a luneta (GI: *Pra vender*; MA: *Ele dobrou o salário*; CLA: *Ele queria ajudar nas batalhas*). A oportunidade de apresentar suas idéias e a necessidade de argumentar a favor delas pode favorecer nos alunos o desenvolvimento do pensamento lógico-analítico; nesse sentido, por exemplo, o aumento de salário, que MA propõe como causa, CLA entende como conseqüência.

Além disso, em seu diálogo os alunos tratam de questões – como o salário – que os cientistas têm que enfrentar, da mesma forma como em qualquer outra atividade profissional. Essa consciência pode favorecer atitude mais realista para com a atividade científica.

2.3 Episódio 3

Este episódio é também relativo à Atividade 1, que tem por objetivo a discussão das relações entre Ciência e Tecnologia.

A atividade foi proposta, como no episódio anterior, a uma turma de 2º ano colegial noturno de uma escola pública no município de São Paulo.

Nessa primeira aula, que tem alguns momentos descritos abaixo, os alunos leram o texto e, em seguida, o professor propôs a discussão com a classe como um todo, sem que os alunos se reunissem em grupos menores.

MOMENTO 1

A professora coloca para a classe a primeira questão do texto:

P *[...] Qual é a parte da Ciência que descreve as lentes, o telescópio, e explica porque quando a luz incide nas lentes ela se comporta da maneira como se comporta?*

(Alguns alunos respondem que é a Ótica.)

P *A Ótica? Tá, então isso é, realmente, uma das coisas que é estudada na Ótica. Agora, tem uma outra parte da Ciência que o texto menciona.*

AN *A Astronomia?*

P *A Astronomia. Então qual é o papel da Astronomia nesse texto?*

CA *Eles aperfeiçoaram as lentes para estudar Astronomia.*

P *Peraí, não vamos misturar as coisas. O CA falou assim: “Eles aperfeiçoaram as lentes (e o telescópio) para estudar Astronomia. É verdade?*

(Os alunos discutem entre si.)

ED *Professora, posso falar uma coisa?*

P *Fala.*

ED *O interesse pela Astronomia foi com a descoberta do telescópio. Foi quando eles começaram a observar mesmo o céu. Não é isso?*

LU *A Lua.*

ED *Observar mais de perto. Porque eles não sabiam nada a partir ... antes do telescópio. Não tinham como ver as estrelas melhor, né, a olho nu.*

LU *Aprofundou o estudo da Astronomia. Não é isso, professora?*

P *É, eu acho que é mais isso: aprofundou o estudo da Astronomia, porque ... o estudo da Astronomia sempre teve.*

É interessante notar a idéia de ED a respeito da Astronomia antes do advento do telescópio: *O interesse pela Astronomia foi com a descoberta do telescópio. Foi quando eles começaram a observar mesmo o céu. [...] Porque eles não sabiam nada a partir ... antes do telescópio.*

A afirmação parece indicar, em primeiro lugar, a carência de informações acerca do desenvolvimento da Astronomia. Esse desconhecimento contribui para a dificuldade de distanciamento por parte dos alunos – é natural que eles tenham a tendência de apreciar os fatos a partir de seus referenciais. Nesse sentido, hoje em dia é, de fato, difícil imaginar a Astronomia sem os telescópios.

Salienta-se que a carência de informações históricas leva à compreensão equivocada da natureza da Ciência. Assim, por exemplo, o desconhecimento dos modelos celestes propostos antes do advento do telescópio por estudiosos como Ptolomeu ou Copernicus reitera a idéia de que a Ciência se constitua no desvendar da natureza, o que coerentemente implicaria a necessidade, para o caso de objetos distantes como os celestes, de um instrumento como o telescópio. Assim, neste caso, a idéia de que "o instrumento precede a

teoria" reflete uma visão empirista do conhecimento científico (Bachelard, 1984, apud Mortimer, p. 31, 1996).

Além de contribuir para a compreensão mais realista da atividade científica, o acesso a informações históricas pode propiciar a apreciação dos fatos segundo diferentes referenciais, contribuindo para que as impressões dos estudantes não se restrinjam ao presente. Com isso, eles podem perceber que "[...] homens submetidos a circunstâncias diferentes avaliam de forma diferente à que adotamos nos dias de hoje". Esse é um dos objetivos da Atividade 2, discutida no episódio seguinte.

Por outro lado, chama-se atenção para um aspecto metodológico: o trabalho em pequenos grupos de alunos. A discussão com os pares tem um caráter muito importante pois, no caso em que o professor centraliza a discussão, alunos que tenham posições diferentes das explicitadas por outros alunos – e aceitas pelo professor – podem não se manifestar e portanto, deixar de discutir suas idéias.

Esse parece ter sido o caso de CA que, respondendo a pergunta do professor acerca do papel da Astronomia no episódio da luneta, afirma: *Eles aperfeiçoaram as lentes para estudar Astronomia*. Sua resposta é então questionada pelo professor (*O CA falou assim: “Eles aperfeiçoaram as lentes (e o telescópio) para estudar Astronomia. É verdade?”*). A discussão se desvia para a questão da Astronomia precedente ao telescópio. Em seguida, os alunos apresentam outras idéias quanto aos objetivos de Galileu para o aperfeiçoamento da luneta:

P *[...]Agora, o Galileu, ele aperfeiçoou a luneta para usar na Astronomia?*

(Diversos alunos falam ao mesmo tempo.)

P *Um por vez. RO?*

RO *Pra usar na guerra.*

LU *Nos navios.*

P *Então o desenvolvimento ...*

FLA *Como já tava feita, usaram pra um monte de coisa.*

P *Tá, mas objetivo inicial ...*

FLA *Era a guerra.*

Note-se que CA não se manifestou mais.

MOMENTO 2

Nota-se no trecho abaixo que, como os alunos não tiveram oportunidade de discutir o texto em grupos menores, as idéias estão ainda confusas, indiferenciadas. Note-se, ademais, que a discussão com os pares parece representar uma necessidade que os alunos têm e demonstram ("Os alunos discutem entre si. Alguns afirmam que é a luneta"; "Os alunos discutem novamente entre si"), ainda que o professor esteja centralizando a discussão.

P *Peraí, não vamos perder. Tem duas coisas. Uma, é a tecnologia da luneta. Outra, é a Ciência que explica e descreve como essa luneta funciona. A luneta foi desenvolvida com objetivo militar. E a Ótica, será que foi desenvolvida com esse mesmo objetivo?*

(A turma fica dividida.)

DA *Ela foi elaborada para poder enxergar um exército a uma distância três vezes maior.*

P *Peraí, mas isso daí é o que? É a Ótica ou a luneta?*

(Os alunos discutem entre si. Alguns afirmam que é a luneta.)

LU *Peraí, eu acho que é a Ótica sim, professora.*

AR *Só que Ótica tá contida dentro da luneta, não tá?*

(Os alunos discutem novamente entre si.)

P *Um por vez. Como que é?*

TI *A Ótica foi consequência desse negócio da luneta, não foi?*

LU *Lógico que não, meu.*

(Alguns alunos concordam.)

LU *A luneta é consequência da Ótica.*

P *Peraí, é exatamente isso daí que nós vamos discutir.*

Chama-se atenção para os comentários de LU e AR: *A luneta é consequência da Ótica* porque a [...] *Ótica tá contida dentro da luneta*. Novamente, é possível fazer um paralelo com o raciocínio de Bacon: "[...] sendo a causa ignorada, frustra-se o efeito. Pois a natureza não se vence, senão quando se lhe obedece. E o que à contemplação apresenta-se como causa é a regra na prática" (1973, aforismo III, livro I). Isto é, a concepção empirista de Ciência como desvendar da natureza ([...] *a Ótica tá contida dentro da luneta* ou "o que à contemplação apresenta-se como causa") subjaz à relação equivocada que LU estabelece entre Ciência e Tecnologia no episódio da luneta (*A luneta é consequência da Ótica [...]*).

Já TI, por outro lado, propõe a relação inversa: *A Ótica foi consequência desse negócio da luneta, não foi?* Quanto a essa afirmação, podem ser levantadas duas hipóteses: em primeiro lugar, uma confusão entre seqüência temporal e relação causal, isto é, uma tendência constatada por Jungwirth (1987, apud Matthews, 1994b) em se assumir que eventos que procedem outros são consequências dos primeiros. Outra possibilidade é que TI esteja reconhecendo que o aperfeiçoamento da luneta criou um problema científico: Como se dava seu funcionamento?

No entanto, ainda que a colocação de TI seja interpretada a partir da segunda hipótese, essa discussão não foi levada adiante – ao contrário do que foi descrito no episódio 1. Percebe-se que as idéias não se mostram ricas como no episódio 1, onde o professor conversava com a classe como um todo *após* os alunos terem analisado as questões propostas em pequenos grupos. Conseqüentemente, os alunos não estabelecem novas relações ou questionamentos melhor fundamentados.

Neste caso, apresentam-se idéias soltas e a discussão também não leva, como no momento 1 do episódio 2 (que mostra um grupo de alunos trabalhando) a seu progressivo esclarecimento. Ao contrário, o professor acaba afirmando: *Peraí, é exatamente isso daí que nós vamos discutir.*

MOMENTO 3

Os alunos reúnem-se em pequenos grupos. Nota-se como, apesar da discussão conduzida pelo professor com a classe como um todo, as idéias ainda não estão claras para muitos alunos. O diálogo descrito a seguir exemplifica essa situação.

DA *Olha, ele não descobriu o funcionamento.*

AR *Descobriu.*

DA *Ele descobriu a **utilidade** do telescópio.*

AR *Uai, o funcionamento.*

DA *Não, o funcionamento ele não descobriu. Só 70 anos mais tarde ...*

AR *(apontando o texto) Como se dava seu funcionamento ele sabe. Agora, porque ...*

DA *Ele não sabe.*

LU *Viu, não foi ele ...*

AR *... porque o instrumento funcionava daquela forma ele foi só saber 70 anos mais tarde.*

DA *Pra saber como funciona ele tem que saber ...*

LU *... Kepler – ô burro, cê leu aqui – explicou como.*

Parece que AR confunde "como funciona" com finalidade (DA: *Ele descobriu a utilidade do telescópio*; AR: *Uai, o funcionamento.*), talvez um problema relacionado ao uso cotidiano da palavra "funcionamento" para denotar utilidade. De qualquer forma, esse problema aparece em diversos momentos e nas várias turmas. Note-se que no episódio 2 (momento 1) GU faz essa mesma confusão: *Deve ser isso aqui: ele criou o negócio, mas não sabia explicar para que servia.*

No entanto, é interessante considerar que tal confusão aparece tanto no grupo do qual AR faz parte, como no de GU, ainda que, no primeiro caso, essa questão já tivesse sido abordada pelo professor na discussão com a classe. Entretanto, possivelmente, naquele momento, este não se constituía num problema para os alunos. Assim, quando em grupos menores, os alunos têm oportunidade de refletir, expressar e contrastar suas idéias com as dos colegas, identificando e discutindo suas próprias idéias e dúvidas em maior detalhe.

Um aspecto a ser notado no trabalho dos alunos em grupo é o modo com eles se interrompem (representado por "... " ao final das frases), além da atitude para com as idéias dos demais: *[...] ô burro, cê leu aqui [...]*. Esse é mais um motivo para que a escola propicie espaço para se discutir idéias, pois, de fato, como aponta Coll (1992), não há justificativa teórica ou apoio empírico para a crença de que os alunos podem aprender procedimentos, atitudes, valores e normas sem ajuda pedagógica sistemática e planejada.

MOMENTO 4

Ainda reunidos em grupo, os alunos discutem a questão 5: "Qual seria a relação entre Ciência e Tecnologia no episódio da luneta?"

FLA *[...] não é que Galileu fez a luneta sem saber explicar como aquilo acontecia?*

AR *E que foi um instrumento de alta tecnologia para a época, não é isso?*

(Chega a professora.)

AR (para a professora) *Galileu construiu a luneta, e era um instrumento com bastante tecnologia pra época, não é isso?*

P *Tudo bem, isso é verdade, mas não responde a pergunta.*

(AR relê a questão.)

FLA *Deixa eu falar uma coisa. É que ele fez a luneta sem saber como aquilo acontecia, como ela funcionava?*

AR *Só com as ...*

P *Isso é verdade. Isso responde parte da pergunta.*

LU *Ele precisava da Ciência pra ...*

P *Uma das Ciências em questão é a Ótica. Então, por essa sua resposta, qual é a relação entre a Ótica e a tecnologia da luneta nesse episódio?*

FLA *Ele fez a luneta, né, sem saber como ela funcionava.*

P *É.*

AR *E que era um instrumento muito tecnológico, com tecnologia muito avançada pra época.*

P *Isso é verdade.*

AR *Mas não responde a pergunta, professora?*

FLA *Isso que ele falou e que eu falei é a mesma coisa.*

P *Vocês acham que é a mesma coisa?*

FLA *Ele falou que aquilo era uma coisa muito, uma coisa muito avançada pra época. Se aquilo era uma coisa muito avançada pra época é porque não tinha explicação, entendeu?*

P *Ah tá, nesse sentido é a mesma coisa.*

Quando os alunos trabalham em grupos, o professor tem maior possibilidade de dar atenção a cada aluno, propondo questões intermediárias, sugestões e esclarecendo dúvidas. Além disso, tal procedimento favorece a compreensão, pelo professor, das idéias dos alunos. De fato, nota-se na interação com um dos grupos de alunos, como o professor vem a compreender o que AR quer dizer com "instrumento de alta tecnologia para a época".

2.4 Episódio 4

Este episódio diz respeito à Atividade 2, a qual busca introduzir a discussão do papel dos referentes teóricos dos cientistas na observação e interpretação de dados.

A atividade foi proposta a uma turma de 2º ano magistério de uma escola pública no município de São Paulo.

Após a leitura do texto, os alunos discutiram as questões propostas em grupos de 4-5 pessoas. O episódio descrito abaixo ocorreu em seguida, quando o professor propôs a discussão pela turma como um todo.

MOMENTO 1

Após a análise das primeiras questões, o professor propõe a questão 3, que é, na verdade, a síntese das duas primeiras.

P *Então, a terceira questão: “Por que motivos, afinal, os estudiosos do início do século XVII foram contrários às observações celestes pelo telescópio?” Quem responde essa questão?*

LU *Porque eles acreditavam que, se eles dessem razão ao que o telescópio viu, né, Júpiter e seus satélites, eles teriam que dar razão também que, como Júpiter ... O telescópio viu que, como Júpiter girava em torno do Sol, então eles teriam que acreditar também que a Terra poderia fazer esse mesmo contorno. Então teria que mudar tudo, né? A crença que eles tinham que a Terra era o centro do universo. Então teria que mudar e dar razão que era quem era o centro do universo era o Sol e não a Terra. Então teria que mudar tudo. Então acho que eles tavam com preguiça de pensar (risadas) e não queriam mudar tudo.*

MI *Mas no fundo eles acreditavam.*

LU *Eu acredito que eles podiam até acreditar, mas eles preferiram não acreditar, não dar razão, pra não ter que mudar tudo.*

P *Então vocês acham que eles acreditavam no telescópio?*

(Discussão entre os alunos.)

SA *Eles não queriam discutir. Ia complicar, ia ter muita discussão em cima disso.*

P *Eles podiam até mudar algumas crenças.*

SA *Ia ter muita polêmica.*

P *Ia ter muita polêmica. Então é mais fácil, talvez, em algumas situações ...*

PA *Não acreditar.*

P *Então, colocar alguns empecilhos pra não aceitar um avanço tecnológico.*

LU, a primeira aluna a falar, coloca algumas idéias imprecisas (*O telescópio viu que, como Júpiter girava em torno do Sol [...] e, também, [...] quem era o centro do universo era o Sol e não a Terra*), para as quais a professora poderia ter chamado atenção, ainda que num momento posterior. Apesar das imprecisões, LU faz uma primeira síntese do obstáculo representado pelas idéias dos cientistas da época de Galileu para não acreditar na validade do telescópio.

MI reconhece que os empecilhos apresentados por contemporâneos de Galileu diziam respeito a uma inovação mais exatamente *científica*, do que tecnológica – um novo modelo celeste. Referindo-se ao descrédito de estudiosos, que “não davam razão ao que o telescópio viu”, ela afirma: *Mas no fundo eles acreditavam.*

A interpretação de MI não é a única possível. Certos estudiosos da época de Galileu de fato não acreditavam nas imagens proporcionadas pelo telescópio. É possível que nem todos vissem o que Galileu alegava ser visível através do instrumento, seja pela qualidade

das observações, seja por estarem cegados pelas suas crenças. No segundo caso, trata-se da tendência, ilustrada por pesquisas em Psicologia com adultos, à confirmação das hipóteses, ainda que inadequadas (por exemplo, Claparède, 1934; Wason e Johnson-Laird, 1972, apud Karmiloff-Smith e Inhelder, 1975). Além disso, o desconhecimento acerca do funcionamento da luneta contribuiu para a atribuição das imagens ao “erro ou deturpação da visão” provocado pelas lentes.

Assim, ainda que contemporâneos de Galileu de fato não vissem as imagens através da luneta, esse fato pode ser atribuído à força das idéias científicas socialmente aceitas, às quais os referentes teóricos dos cientistas estão, em geral, condicionados. As alunas trazem essa idéia, que a atividade procurava despertar – por exemplo LU, quando afirma: *Eu acredito que eles podiam até acreditar, mas eles preferiram não acreditar, não dar razão, pra não ter que mudar tudo.*

MOMENTO 2

A discussão acerca do obstáculo representado pelas idéias socialmente aceitas, conforme apontado por SA (*Ia ter muita polêmica.*), traz elementos para que os alunos reflitam a respeito de questões polêmicas em seu próprio tempo; eles passam, assim, a fazer relações com seu cotidiano.

P *E isso sempre acontece quando a gente tem uma coisa nova surgindo?*

(Discussão entre os alunos, a classe fica dividida.)

LE *Tudo que surge eu acho que a gente tem que perguntar o porquê.*

CA *Não, mas eu acho que quando contraria, é ..., seria assim: quando tá contrariando uma outra coisa ... o micro-computador, ele não tá contrariando nada, quer dizer, não vai ter o que causar, vai ser um avanço tecnológico, nada mais que isso.*

SA *A gente pode, por exemplo, pegar os discos-voadores, que andaram falando que tem, que tão aqui, né? Tem gente, faz tempo já que tem essa polêmica, mas eles escondiam. Por quê? Pra não dar muita falação, pro pessoal não estar perguntando “por quê, como pode acontecer isso?”*

Com a discussão de sua própria realidade, os alunos podem reconhecer o papel dos referentes teóricos – que geralmente coincidem com idéias socialmente aceitas – num contexto mais amplo que o científico.

É importante que a educação escolar promova oportunidade para que os alunos reflitam criticamente não apenas sobre suas idéias, mas, também, sobre o mundo em que vivem.

Todavia, volta-se a chamar atenção para o fato de que a carência de informações específicas, sobre as quais as discussões possam se basear, pode levar a análises simplistas. Nesse sentido, por exemplo, as informações das quais os alunos – e o professor – dispõem podem não ser suficientes para que analisem o impacto que os computadores tiveram – e ainda têm. Assim, quando CA afirma, *o micro-computador, ele não tá contrariando nada, quer dizer, não vai ter o que causar, vai ser um avanço tecnológico, nada mais que isso*, trata-se de sua opinião.

3 Considerações Finais

Procurou-se, neste capítulo, ilustrar e discutir a relevância da discussão de tópicos de História e Filosofia da Ciência em sala de aula.

Além disso, é importante que as propostas de inclusão de questões históricas e filosóficas no ensino de Ciência levem em consideração os resultados das pesquisas já realizadas em Didática das Ciências. Assim, chama-se atenção para aspectos metodológicos a serem considerados não apenas para o empreendimento de discussões histórico-filosóficas, mas, também, no ensino do conteúdo tradicional.

VII ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Procurou-se, neste trabalho, discutir a inserção de tópicos de História e Filosofia da Ciência como conteúdo da educação científica na escola secundária. Para tanto, considerou-se questões metodológicas derivadas de pesquisas na área de Didática das Ciências.

A partir dessa fundamentação e de estudo histórico e filosófico, foram elaboradas duas atividades de ensino. A análise da introdução dessas atividades em sala de aula retoma algumas das discussões teóricas desenvolvidas em capítulos anteriores.

Procurando-se uma sistematização, localizando este trabalho num contexto mais amplo, uma questão central emerge: Quais são os objetivos atribuídos à educação científica? A introdução de discussões histórico-filosóficas no ensino de Física e, também, o modo como tais discussões são propostas aos alunos estão subordinadas à resposta a essa pergunta. Assim, é pertinente que questões mais específicas deste trabalho – Quais as contribuições da História e Filosofia da Ciência para a formação escolar? Quais as implicações do modo como estas são implementadas? – sejam abordadas partindo-se da discussão de objetivos para o ensino de Ciência.

Para tanto, é útil partir da análise de Tyler (1949, apud Coll, 1996), que ressalta três posturas diferentes adotadas na busca de informações que auxiliem a determinação dos objetivos da educação escolar: a "progressista", a "essencialista" e a dos "sociólogos". A primeira destaca a importância da análise psicológica, com o estudo dos interesses, problemas, propósitos e necessidades do sujeito cognoscente. A essencialista parte da idéia de que os objetivos devem ser extraídos da análise da estrutura interna das áreas de conhecimento e dos conteúdos de ensino delas derivados. Por último, os sociólogos elegem a análise da sociedade, seus problemas, necessidades e características como fatores determinantes dos objetivos para o ensino.

Com relação a tais posturas, a perspectiva adotada neste trabalho é que, sem que se ignore contribuições de outras áreas, tais como Psicologia, ou mesmo História da Ciência, a Didática das Ciências, enquanto área de pesquisa com identidade própria (Gil-Pérez, 1995), deve ser a referência principal. Precisamente a existência desse corpo específico de conhecimento permite a integração de contribuições das distintas áreas (Linn, 1987, apud Gil-Pérez, op. cit.).

Conforme colocado anteriormente, entende-se que conteúdos, metodologia e objetivos para a educação científica são questões complementares, apresentando projeções e superposições mútuas, integradas em pesquisas específicas sobre o ensino-aprendizagem de Ciência.

Dessa forma, considerando-se a relação entre a natureza do conhecimento científico e do processo de aprendizagem, entende-se que a História e Filosofia da Ciência podem ter papel importante no desenvolvimento de um corpo específico de conhecimentos didáticos. Assim, por exemplo, o papel dos referentes teóricos dos cientistas na observação e interpretação de dados é coerente com pressupostos construtivistas que apontam para o papel do sujeito e de seu conhecimento na construção de novos conhecimentos. Essa coerência de resultados de pesquisas em áreas inicialmente desconexas reforça o valor das concepções construtivistas sobre ensino-aprendizagem.

Numa sistematização de propostas construtivistas, Driver (1986) destaca como características:

- Ter em conta os conhecimentos e idéias prévias dos estudantes;
- Proposição de situações problemáticas;
- Aluno responsável por sua aprendizagem;
- Diálogos e discussão em sala de aula.

Com relação à primeira dessas características, entende-se que, de fato, as idéias dos alunos devam ser consideradas tanto no planejamento didático, quanto nas situações de ensino. Todavia, é preciso estar atento para a necessidade de reestruturação dessas idéias, entendida como objetivo educacional.

Torna-se relevante se deter neste ponto: De que ordem seriam tais reestruturações? Adota-se perspectiva contrária às estratégias de mudança conceitual, entendendo-se que "a aprendizagem significativa [...] não é uma questão de tudo ou nada" (Coll, 1996, p. 141).

Assim, por exemplo, quanto à Atividade 1, sabe-se que os estudantes já trazem idéias acerca do que se constitui o conhecimento científico, bem como, sobre suas relações com a Tecnologia (capítulo II, item 2.3.2). Entretanto, quanto à contrastação que as informações contidas no texto e que as discussões com o professor e demais alunos possa trazer, não se espera, necessariamente, uma mudança para as concepções filosóficas defendidas neste trabalho (capítulo IV, itens 2.3-2.5).

Entende-se a tomada de consciência, pelo estudante, de suas concepções, como aspecto importante do processo de ensino-aprendizagem. Essa consciência, propiciada pela revisão de idéias, pode levar à mudança de concepção, como afirma a aluna do episódio 1, momento 4 (Capítulo VI):

P Sua resposta não "está de acordo sobre o desenvolvimento científico e tecnológico"?

AN *Não. Não está de acordo com o que a gente pensava **antes**.*

P *Ah, antes. Por quê? Vocês pensavam o quê, antes?*

AN *Que a Ciência vinha antes da Tecnologia.*

Por outro lado, ainda que isso não aconteça sempre, considera-se aqui, como mais importante, o fato das atividades levarem os alunos a reverem e ampliarem suas representações, adquirindo "consciência e apreciação cada vez mais profundas dos problemas e dúvidas" de suas concepções.

Note-se, também, que tal posicionamento concede *status* diferenciado às situações de conflito cognitivo, pois não supõe o levantamento das idéias dos alunos para que essas, em seguida, sejam contestadas. Isso não implica eliminar conflitos cognitivos, mas, sim, ao considerar-se aspectos afetivos da aprendizagem, evitar o confronto entre as idéias próprias ("incorretas") e os conhecimentos da pesquisa em Didática das Ciências ("corretos") (Gil-Pérez, 1993).

Tal valorização das idéias dos alunos favorece a criatividade e autonomia. Além disso, se tais idéias tiverem que ser justificadas e debatidas, serão contemplados outros objetivos e conteúdos da educação escolar como a objetividade, a capacidade de argumentação, além de aspectos relacionados a interações sociais.

Assim sendo, o redimensionamento que se defende para a reestruturações das idéias dos alunos não considera, tão somente, o conhecimento do sujeito, sua história passada, mas, também, seu futuro, suas perspectivas.

Em síntese, quanto à categorização proposta por Tyler (apud Coll, op. cit.) para a determinação dos objetivos da educação escolar, com as perspectivas "progressista", "essencialista" e dos "sociólogos", defende-se a necessidade de considerar as três posturas em sua complementaridade, sendo que nenhuma delas, sozinha, seria suficiente na seleção dos conteúdos de ensino.

A seleção da natureza da Ciência como conteúdo para atividades de ensino contempla os três pontos de vista. Discutir tal afirmação significa retomar uma das questões específicas deste trabalho: Quais as contribuições da História e Filosofia da Ciência para a educação escolar?

Assim, em relação às três perspectivas propostas por Tyler (op. cit.), defende-se, em primeiro lugar, que discussões histórico-filosóficas podem favorecer o desenvolvimento de habilidades cognitivas e argumentativas. Além disso, características essenciais da atividade científica podem ser identificadas com a análise do desenvolvimento histórico da Ciência. Por último, a desmistificação da Ciência, com uma visão mais realista das potencialidades e

restrições do conhecimento científico, é fundamental numa sociedade em que Ciência e Tecnologia adquirem importância cada vez maior.

Para comentar cada uma dessas contribuições, iniciar-se-á pela segunda – discussões *sobre* Ciência, nas quais a História da Ciência atua como fio condutor das construções empreendidas pelos alunos. Podem ser abordadas características da atividade científica com relação, por exemplo, a finalidades, previsão, explicação, descrição, conforme analisado no episódio 1, momento 2 do capítulo anterior.

Tomando-se a natureza da Ciência enquanto conteúdo pertinente à educação científica, a questão que emerge diz respeito à forma de fazê-lo. Uma resposta possível aponta para que as discussões filosóficas sejam contextualizadas historicamente. Mas por quê? Este é um ponto importante, pois tenta-se, com tal contextualização, proporcionar subsídios para debates fundamentados.

Esse ponto foi apontado no último episódio do capítulo anterior, com relação à discussão dos alunos quanto a sua própria realidade. Assim, apesar de ser positivo que os alunos estabeleçam paralelos com seu cotidiano, não se trata de convidá-los a darem suas opiniões a despeito de seu conhecimento, o que desvalorizaria a aquisição escolar de conhecimento e o pensamento fundamentado. Além de não contribuir para a aprendizagem, a apresentação de pontos de vista pessoais e sem fundamento reforça práticas narcisistas – essa é a forma como questões de Filosofia da Ciência vêm sendo, em geral, tratadas nos novos programas Ciência-Tecnologia-Sociedade.

Em contraposição, entende-se que "aprender Ciências [e aprender *sobre* Ciências] envolve a entrada dos jovens numa forma diferente de pensar e de explicar o mundo natural; tornar-se socializado, em maior ou menor extensão, nas práticas da comunidade científica com seus propósitos particulares e suas maneiras de ver e de explicar peculiares" (Driver et al., 1994, apud Mortimer & Carvalho, 1996). Quando, de fato, envolvidos nesse "processo de aculturação", os estudantes se dissociam de práticas auto-referentes, já que, para que compreendam essa nova forma de ver o mundo, as idéias que trazem não bastam ou não são congruentes.

Além disso, ao debaterem características da Ciência, os alunos podem se aproximar de uma visão mais realista da atividade científica. A desmistificação da atividade científica é importante para a atitude dos estudantes com relação à Ciência – recorrente, ao contrapor-se ao *status* privilegiado do conhecimento científico, tal compreensão torna o estudo do conteúdo específico mais acessível (Solomon et al., 1994).

Assim, quando se fala em atitudes, não se tratam somente de representações de Ciência, identificando-a, também, à disposição dos estudantes com relação à aprendizagem de Ciência. Um objetivo central da educação científica deve ser promover nos estudantes

consciência para questões importantes e cativantes, despertando seu interesse pelos desdobramentos da Ciência.

O interesse pelo conteúdo de Física tradicionalmente ministrado pode ser despertado quando é dado sentido aos conceitos envolvidos. Esse fato pode ser ilustrado pelo relato de uma professora que ministrou a Atividade 2 deste trabalho em suas aulas. Ao analisarem a controvérsia histórica gerada pela luneta, a compreensão do conceito de refração se tornou um problema dos alunos, que solicitaram à professora aulas sobre o tema.

Quanto à terceira contribuição proporcionada pela introdução de discussões histórico-filosóficas no ensino de Ciência – o desenvolvimento de habilidades cognitivas e argumentativas – esta foi colocada em terceiro lugar não por importância menor que as demais, mas por apresentar interface mais direta com a segunda questão proposta no início deste capítulo e que será comentada a seguir: Quais as implicações do modo como a História e Filosofia da Ciência são introduzidas em sala de aula?

Na verdade, qualquer contribuição proporcionada por tais conteúdos está condicionada a questões metodológicas. Assim para que os alunos reflitam acerca da natureza da Ciência propõe-se que trabalhem com situações problemáticas, evitando-se que a História e Filosofia da Ciência sejam apresentadas, conforme adverte Schwab, como "retórica de conclusões".

Além disso, quando os alunos trabalham em grupo, quando discutem suas idéias com os pares e com o professor, está-se favorecendo o desenvolvimento de habilidades de raciocínio, argumentação, expressão de idéias, além da necessidade de refletir e respeitar as idéias dos demais.

Assim, por exemplo, durante as atividades, os estudantes podem analisar limites de validade, como no que diz respeito à relação causal entre Ciência e Tecnologia, contrariando tendência verificada por Jungwirth (1987, apud Matthews, op. cit.) em se assumir que algo verdadeiro em condições específicas seja verdadeiro sempre (episódio 1, momento 4, Capítulo VI):

P *[...] Vocês pensavam o quê, antes?*

AN *Que a Ciência vinha antes da Tecnologia.*

P *Tá.*

AN *Quer dizer, **nem sempre**.*

Ou então, a tendência em se enunciar conclusões com base em proposições insuficientes, como no episódio 4, momento 1 (Capítulo VI), que parece se verificar quando

LU não reconhece que os satélites de Júpiter *fortaleciam* a hipótese do sistema solar, mas não *provavam* tal hipótese.

Tais considerações estão intimamente ligadas a uma questão muito importante quando se pensa no ensino de Física: Que contribuição a educação científica poderia representar na promoção da chamada racionalidade do pensamento?

Poder-se-ia dizer que, quando os estudantes são levados a discutir aspectos da natureza da atividade científica, se está contribuindo negativamente para a promoção do pensamento racional. Isto porque filósofos contemporâneos, como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend, argumentam que o desenvolvimento científico nem sempre está condicionado a fatores racionais – aspectos sociais e políticos, entre outros, deveriam ser levados em consideração.

Nesse sentido, a História da Ciência não favoreceria o desenvolvimento da racionalidade se considerada como fonte de “modelos de comportamento racional” a serem seguidos pelos estudantes (Eger, 1989), a não ser que, como Laudan (1977), se considere a significância de fatores religiosos, filosóficos e morais aos quais a atividade científica está submetida.

Entretanto, verifica-se que discussões histórico-filosóficas trazem oportunidade para se trabalhar com tendências de raciocínio falacioso, conforme exemplificados, com a análise de hipóteses e conclusões, de limites de validade, de evidências necessárias ou suficientes. Além disso, a consciência da contingência do conhecimento, por sua complexidade, requer análise sofisticada e os estudantes têm, dessa forma, oportunidade de confrontarem a visão de Ciência via de regra veiculada: arbitrária e distorcida.

Outro ponto a ser considerado, fundamental em qualquer proposta didática, diz respeito ao papel do professor. Em primeiro lugar, é preciso salientar sua importância. Embora a dinâmica interna de construção do conhecimento não possa ser ignorada, nem substituída pela intervenção pedagógica, tal intervenção é importante e consiste essencialmente na criação de condições adequadas para que a dinâmica interna ocorra e seja orientada em determinada direção, segundo as intenções educativas (Coll, 1996).

Nesse sentido, pesquisas apontam para o fato de que quando o tratamento educativo é pouco estruturado, a correlação entre nível intelectual e resultados de aprendizagem é forte; isto é, em tais circunstâncias, prioritariamente, resultados favoráveis de aprendizagem estão condicionados ao nível intelectual do estudante (Coll, op. cit.). Assim, quando se pergunta: Conteúdos de História e Filosofia da Ciência são acessíveis aos estudantes secundários?, a resposta está necessariamente condicionada a questões didáticas.

Além da importância do professor, salienta-se o papel do trabalho em grupo. Conforme apontado no capítulo anterior, observa-se a elaboração crescente das discussões

entre os estudantes quando de seu trabalho nos grupos e, num segundo momento, quando da discussão geral da turma. Num primeiro momento, discussões entre sujeitos cognitivamente próximos podem, muitas vezes, ser mais efetivas que aquelas dirigidas pelo professor, seja por sua autoridade, seja por sua compreensão das idéias dos alunos.

Nesse sentido, o conhecimento dos caminhos percorridos no desenvolvimento de determinada Ciência pode proporcionar ajuda ao professor no planejamento e organização do programa, na escolha de experimentos e atividades, na identificação de situações potencialmente problemáticas, além da compreensão e respostas às perguntas e dificuldades dos estudantes.

Por exemplo, verifica-se como, no episódio 1 (Capítulo VI), o professor não estabelece com os alunos a diferença entre a falta de conhecimento científico e a conseqüência *ou não* dessa falta de conhecimento para objetivos práticos. A argumentação dos alunos é coerente com sua compreensão da relação causal entre Ciência e Tecnologia. Assim, a intervenção do professor poderia ter sido favorecida pelo conhecimento da concepção causal característica do senso comum.

Por outro lado, em situações de ensino nas quais a construção do conhecimento é coletiva, é importante que o professor atue promovendo a cooperação entre os alunos, fornecendo novas informações, agindo como instigador, coordenador e limitando os graus de liberdade que os alunos têm que manejar (Mortimer & Carvalho, 1996).

Para finalizar, é importante ressaltar que as atividades foram introduzidas em sala de aula num contexto bastante comum de ensino – em escolas públicas e sem que os professores atuassem a partir de uma orientação mais específica. Ainda assim, por tudo que foi exposto, se considera os resultados coerentes com objetivos já discutidos acerca da introdução da História e Filosofia da Ciência na educação científica. Essas considerações procuram afastar a idéia de inviabilidade que propostas de mudança costumam suscitar. Acredita-se que a efetividade de qualquer intervenção didática deva ser avaliada tendo-se em consideração distintas gradações possíveis. Se a aprendizagem não é entendida como uma questão de tudo ou nada, por que o seria o ensino?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOF, P. G. Um Estudo do Opticks de Newton - Aspectos do pensamento newtoniano e de seus métodos de trabalhar em Física. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989, 148 p.

ALLCHIN, D. How *Not* to Teach History in Science. Editores: F. Finley, D. Allchin, D. Rhee, S. Fifield. Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference. Minneapolis, 29 out-01 nov, 1995, p. 13-22.

ALONSO, M.; GIL, D.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J. Los exámenes de física en la enseñanza por transmisión y en la enseñanza por investigación. Enseñanza de las Ciencias, v. 10, n. 2, 1992, p. 127-138.

ALTERS, B. J. Whose Nature of Science? Editores: F. Finley, D. Allchin, D. Rhee, S. Fifield. Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference. Minneapolis, 29 out-01 nov, 1995, p. 33-47.

AZANHA, J. M. P. Uma Idéia de Pesquisa Educacional. São Paulo, EDUSP, 1992, 201p.

BACHELARD, G. La formación de l'esprit scientifique. Paris, Vrin, 1938.

BACHELARD, G. O Novo Espírito Científico. Trad. Remberto F. Kuhnen. São Paulo, Abril Cultural, 1974a.

BACHELARD, G. A Filosofia do Não. Trad. Joaquim J. Moura Ramos. São Paulo, Abril Cultural, 1974b.

BACON, F. Novum Organum ou Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza – livros I e II. Trad. José Aluysio R. de Andrade. São Paulo, Abril Cultural, 1973.

BARNES, B.; EDGE, D. (Eds.) Science in Context – Readings in the Sociology of Science. Inglaterra, The Open University Press, 1982.

CARVALHO, A. M. P. de; GARRIDO, E.; CASTRO, R. S. El papel de las actividades en la construcción del conocimiento en clase. Investigación en la Escuela, n. 25, 1995, p. 61-70.

CARVALHO, A. M. P. de; CASTRO, R. S.; LABURU, C. E.; MORTIMER, E. F. Pressupostos epistemológicos para a pesquisa em ensino de ciências. Cadernos de Pesquisa, n. 82, 1992, p. 85-89.

CASTRO, R. S.; CARVALHO, A. M. P. de The Historic Approach in Teaching: Analysis of an Experience. Science & Education, v. 4, n. 1, 1995, p. 65-85.

COHEN, BERNARD I. The Birth of a New Physics. London, Penguin Books, 1992.

COLL, C. Los contenidos en la educación escolar. In: Los contenidos en la Reforma. Madrid, Santillana, 1992, p. 9-18.

COLL, C. Psicologia e Currículo – Uma aproximação psicopedagógica à elaboração do currículo escolar. São Paulo, Editora Ática, 1996.

COLL, C. et alii Psicología genética y aprendizajes escolares. Madrid, Siglo XXI de España Editores, 1983.

CROMBIE, A. C. Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo. Trad. José Bernia. Madrid, Alianza Editorial, v.1, 1974, 292 p.

DÍAZ, J. A. A. Educación tecnológica desde una perspectiva CTS - Una breve revisión del tema. ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.3, jan.1995, p. 75-84.

DRAKE, S. Telescopes, Tides and Tactics – A Galilean Dialogue about the *Starry Messenger* and Systems of the World. Chicago, The University of Chicago Press, 1983.

DRIVER, R. Psicologia Cognoscitiva y Esquemas Conceptuales de los Alumnos. Enseñanza de las Ciencias, v. 4, n. 1, 1986, p. 3-15.

DUSCHL, R. A. Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. Enseñanza de las Ciencias, v.13, n.1, 1995, p. 3-14.

DUSCHL, R. A.; FEATHER, R. Developing and Nurturing Objectivity in Science Classrooms. Editores: F. Finley, D. Allchin, D. Rhees, S. Fifield. Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference. Minneapolis, 29 out-01 nov., 1995, p. 314-325.

EGER, M. Rationality and Objectivity in a Historical Approach: A Response to Harvey Siegel. Editor: D. E. Herget. First International History and Philosophy of Science in Science Teaching Conference. Tallahassee, nov. 1989, p. 143-153.

GALOTTI, K. M. Approaches to studying formal and everyday reasoning. Psychological Bulletin, v. 105, n. 3, 1989, p. 331-151.

GIBERT, A. Origens Históricas da Física Moderna. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1982, 449 p.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. Enseñanza de las Ciencias, v. 11, n. 2, 1993, p. 197-212.

GIL-PÉREZ, D. New trends in science education. International Journal of Science Education, 1995, (preprint).

GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA-ALIS, J. Bringing Pupils' Learning Closer to a Scientific Construction of Knowledge: A Permanent Feature in Innovations in Science Teaching. Science Education, v. 78, n. 3, 1994, p. 301-315.

GÓMEZ-GRANELL, C.; COLL, C. De qué hablamos cuando hablamos de constructivismo? Cuadernos de Pedagogía, 221, 1994, p. 8-10.

KARMILOFF-SMITH, A.; INHELDER, B. If you want to get ahead, get a theory. Cognition, v. 3, n. 3, 1975, p. 195-212.

KIPNIS, N. Blending Physics with History. Editores: F. Finley, D. Allchin, D. Rhees, S. Fifield. Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference. Minneapolis, 29 out-01 nov, 1995, p. 612-623.

KOESTLER, A. O Homem e o Universo (*The Sleepwalkers – The History of Man's Changing Vision of the Universe*). Trad. Alberto Denis. São Paulo, Ibrasa, 1989, p.426.

KRASILCHIK, M. The ecology of science education: Brazil 1950-90. International Journal of Science Education, v. 17, n. 4, 1995, p. 413-423.

KUHN, D. Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. Science Education, v. 77, n. 3, 1993, p. 319-337.

LARANJEIRAS, C. C. Redimensionando o Ensino de Física numa Perspectiva Histórica. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994, 214 p.

LAUDAN, L. Progress and Its Problems – Towards a Theory of Scientific Growth. Berkeley, University of California Press, 1977.

MATTHEWS, M. R. (Ed.) The Scientific Background to Modern Philosophy - Selected Readings. Indianapolis, Hackett Publishing Company, Inc., 1989, p.162.

MATTHEWS, M. R. Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. Enseñanza de las Ciencias, v. 12, n.2, 1994a, p. 255-277.

MATTHEWS, M. R. Science Teaching - The Role of History and Philosophy of Science. New York, Routledge, 1994b, p.287.

MORAES, A. G. et al. Representações sobre Ciência e suas implicações para o Ensino de Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.7, n.2, 1990, p. 115-122.

MORGENBESSER, S.(org.) Filosofia da Ciência. Trad. Leonidas Hegenberg e Octany Silveira da Mota. São Paulo, Cultrix, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975, 258 p.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? Investigações em Ensino de Ciências, v.1, n.1, 1996, p. 20-39.

MORTIMER, E. F.; CARVALHO, A. M. P. de Referenciais teóricos para análise do processo de ensino de Ciências. Cadernos de Pesquisa, n. 96, fev. 1996, p. 5-14.

PAIS, A. Inward Bound - Of Matter and Forces in the Physical World. New York, Oxford University Press, 1986, 665p.

PIAGET, J. Abstração reflexionante: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais. Trad. Fernando Becker e Petronilha B. G. da Silva. Porto Alegre, Artes Médicas, 1995, 292 p.

PRICE, D. de S. Science Since Babylon. New Haven and London, Yale University Press, 1975.

SABRA, A. I. Theories of Light - from Descartes to Newton. Cambridge, Cambridge University Press, 1981, 365 p.

SANTILLANA, G. DE The Crime of Galileo. Chicago, The University of Chicago Press, 1976.

SCHURMANN, P. F. Luz y Calor - 25 siglos de hipótesis acerca de su naturaleza. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina, 1946, 160 p.

SHYMANSKY, J. A.; KYLE, W. C. JR Establishing a Research Agenda: Critical Issues of Science Curriculum Reform. Journal of Research in Science Teaching, v. 29, n. 8, 1992, p. 749-778.

SIEGEL, H. Two Perspectives on Reason as an Educational Aim: the Rationality of Reasonableness. Philosophy of Education, 1991, p. 225-233.

SIEGEL, H. Naturalized Philosophy of Science and Natural Science Education. Science & Education, v.2, n. 1, 1993, p. 57-68.

SMITH, ALAN G. R. A Revolução Científica nos Séculos XVI e XVII. Lisboa, Editorial Verbo, 1973, p.215.

SOLOMON, J.; DUVEEN, J.; SCOTT, L. Pupils' images of scientific epistemology. International Journal of Science Education, v. 16, n.3, 1994, p. 361-373.

SORSBY, B. Arguments and Confusion about the Nature of Science and the Nature of Technology in the National Curriculum for England and Wales. Editores: F. Finley, D. Allchin, D. Rhees, S. Fifield. Third International History, Philosophy, and Science Teaching Conference. Minneapolis, 29 out-01 nov, 1995, p. 1100-1109.

STIEFEL, B. M. La naturaleza de la Ciencia en los enfoques CTS. ALAMBIQUE Didáctica de las Ciencias Experimentales, n.3, jan.1995, p. 19-29.

TRUMBULL, D. J. The Irrelevance of Cognitive Science to Pedagogy: Absence of a Context. Editores: Hugh, H.; Novak, J. Second International Seminar Misconceptions in Science and Mathematics. Ithaca, junho 20-22, 1987, p. 490-495.

VÁZQUEZ ALONSO, A.; MANASSERO MAS, M. A. Actitudes Relacionadas con la Ciencia: una Revisión Conceptual. Enseñanza de las Ciencias, v. 13, n. 3, 1995, p. 337-346.

WHEATLEY, G. H. Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. Science Education, v. 75, n. 1, 1991, p. 9-21.

□

□

□