

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Faculdade de Educação

**A CIÊNCIA ESCOLAR COMO
INSTRUMENTO PARA A COMPREENSÃO
DA ATIVIDADE CIENTÍFICA**

Helder de Figueiredo e Paula

Belo Horizonte

2004

Helder de Figueiredo e Paula

**A CIÊNCIA ESCOLAR COMO INSTRUMENTO PARA A
COMPREENSÃO DA ATIVIDADE CIENTÍFICA**

**Tese apresentada ao Curso de Doutorado da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial à obtenção do título de Doutor em
Educação.**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Tarciso Borges

Universidade Federal de Minas Gerais

**Belo Horizonte
Faculdade de Educação da UFMG
2004**

Dedicatória:

A toda minha família: minha mãe adorada, meus irmãos, cunhados, sogros, sobrinhos, minha esposa e meu filho. Nada neste mundo faz sentido sem o amor e é no amor de minha família que encontro meu primeiro motor.

Aos meus muitos amigos, alguns dos quais a correria do dia a dia me impede de ver, mas não de lembrar com carinho.

Agradecimentos:

Ao meu orientador por sua ajuda competente, por seu estímulo à minha independência, por seu respeito e compreensão, por sua valorosa amizade.

A meus eternos mestres Francisco Borja Lopes de Prado, Orlando Gomes de Aguiar Júnior e João Antônio Filocre Saraiva.

Aos meus colegas de pesquisa e ação no ensino de ciências: Carmem, Mairy, Maria Emilia, Nilma, Orlando (novamente), Ruth e Selma.

A todos aqueles amigos, alunos e colegas de profissão que compartilharam comigo as experiências que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e meu crescimento enquanto ser humano.

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	002
Lista de diagramas.....	002
Lista de quadros.....	003
Resumo.....	004
Abstract.....	005
Capítulo I- Introdução.....	006
I.1- Onde estou e de que lugar eu falo.....	007
I.2- O problema de pesquisa.....	020
I.3- As questões de pesquisa.....	024
I.4- Justificativa.....	026
I.5- Visão geral dos capítulos da tese.....	031
Capítulo II- Metodologia e características do ambiente de aprendizagem.....	033
II.1- O lugar da pesquisa empírica.....	034
II.2- A relação entre as questões e os instrumentos de pesquisa.....	036
II.3- Metodologia de ensino-aprendizagem.....	040
II.4- Descrição sumária das atividades usadas para ensinar-aprender sobre as ciências....	049
II.5- Estratégias de análise e validação dos dados.....	057
Capítulo III- A natureza das ciências.....	062
III.1- Existe essa tal “natureza das ciências”?.....	064
III.2- Múltiplas estratégias.....	069
III.3- A coordenação entre teorias e evidências.....	080
III.4- Múltiplas linguagens.....	095
III.5- Autoridade, reificação e produção de fatos.....	107
III.6- Imaginação e modelização.....	116
III.7- Argumento e persuasão.....	124
III.8- Provisoriedade e devir.....	137
III.9- Empreendimento coletivo.....	150
Capítulo IV- Análise e resultados: Imagens iniciais de ciência dos estudantes.....	156
IV.1- As metas e propósitos das ciências.....	163
IV.2- Estratégias usadas na investigação científica.....	181
IV.3- O teste e a avaliação de explicações e teorias.....	189
IV.4- Bases ou critérios para aceitar uma afirmação como um fato científico.....	199

Capítulo V - Análise e resultados: O que os estudantes aprenderam sobre as ciências.....	217
V.1- Impactos da pesquisa no ambiente em que ela se realizou.....	222
V.2- O papel da imaginação na produção das ciências.....	235
V.3- A função dos experimentos nas ciências.....	250
V.4- A escolha entre teorias.....	263
V.5- A ciência escolar e a compreensão da atividade científica.....	278
Capítulo VI - Aprender sobre as ciências e aprender a pensar com as ciências.....	294
VI.1- Por uma noção ampliada de conteúdo curricular.....	296
VI.2- O conhecimento epistemológico como conteúdo da educação escolar.....	305
VI.3- Desafios teóricos e práticos para o ensino-aprendizagem sobre as ciências.....	329
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	340
ANEXOS.....	
A.1- Recursos usados na entrevista inicial com os estudantes.....	350
A.2- Pesquisas sobre acesso à divulgação científica.....	354
A.3- Questões para a interação com os estudantes na entrevista final.....	356
A.4- Roteiro da entrevista final com o professor.....	358



Lista de figuras

Figura III.1- A cognição e a dupla função da linguagem como forma de comunicação e estruturação do pensamento.....	101
Figura III.2 – Janus bifronte e as diferenças entre ciência realizada e ciência em ação.....	109

Lista de diagramas

Diagrama I.1- Aspectos da natureza das ciências contemplados nas atividades de ensino-aprendizagem.....	025
Diagrama III.1.A- As oito dimensões da natureza das ciências.....	066
Diagrama III.1.B- Relação entre as dimensões da natureza das ciências e as características da atividade científica contemplados nas atividades de ensino-aprendizagem.....	067
Diagrama III.2- As múltiplas estratégias e as outras dimensões da atividade científica	069
Diagrama III.3- A coordenação entre teorias e evidências e as outras dimensões da atividade científica.....	080
Diagrama III.4- As múltiplas linguagens e as outras dimensões da atividade científica.....	093
Diagrama III.5- Autoridade, reificação e as outras dimensões da atividade científica.....	107
Diagrama III.6- Imaginação, modelização e as outras dimensões da atividade científica....	116
Diagrama III.7- Argumento, persuasão e as outras dimensões da atividade científica.....	125
Diagrama III.8- Provisoriedade, devir e as outras dimensões da atividade científica.....	137
Diagrama III.9- Empreendimento coletivo e as outras dimensões da atividade científica....	150
Diagrama IV.1- Semelhanças e diferenças entre as imagens das ciências dos estudantes....	180
Diagrama IV.2- Modelo utilizado para análise da relação entre fatos, evidências e argumentos.....	204
Diagrama VI.1- Desenvolvimento das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências em articulação com o aprender ciências e o aprender a fazer ciências.....	319



Lista de quadros

Quadro I.1- Resultados alcançados por estudantes do ensino médio no PROEB/MG 2001.....	009
Quadro III.1- Aprender as múltiplas estratégias das ciências.....	079
Quadro III.2- Aprender a coordenar Teorias e Evidências.....	094
Quadro III.3- Aprender as múltiplas linguagens das ciências.....	106
Quadro III.4- Os três conteúdos do currículo e a produção de fatos nas ciências.....	115
Quadro III.5- Os três conteúdos do currículo, a imaginação e a modelização nas ciências.....	124
Quadro III.6- Os três conteúdos do currículo, o argumento e a persuasão nas Ciências...	136
Quadro III.7- Os três conteúdos do currículo, a provisoriade e o devir nas ciências....	149
Quadro III.8- Os três conteúdos do currículo e as ciências como empreendimento coletivo.....	154
Quadro IV.1 – Fases e objetivos da 1ª entrevista conduzida com os estudantes.....	158
Quadro IV.2- Critérios usados pelos estudantes para caracterizar os propósitos da ciência.....	164
Quadro IV.3- Aspectos constitutivos das imagens de ciência apresentadas pelos alunos.	164
Quadro V.1 – Fases e objetivos da entrevista final conduzida com os estudantes.....	219
Quadro V.2- Um exemplo de explicação produzida no interior das ciências: O modelo de partículas de Newton e a origem das cores do arco-íris.....	236
Quadro V.3- Respostas e opiniões dos estudantes na primeira fase da entrevista.....	237
Quadro V.4- Um exemplo de experimento criado em uma investigação científica: A disputa entre Newton e Hooke sobre a origem das cores do arco-íris.....	250
Quadro V.5- Respostas e opiniões dos estudantes na 2ª fase da entrevista final.....	251
Quadro V.6- Um exemplo de disputa entre teorias: Duas explicações diferentes sobre a natureza da luz.....	264
Quadro V.7- Respostas e opiniões dos estudantes na terceira fase da entrevista.....	265
Quadro A.1 – Questões apresentadas em cartões durante a 1ª fase da entrevista.....	350



Resumo

Este trabalho relata uma pesquisa destinada a investigar mudanças a serem instituídas na educação escolar para que ela se torne um instrumento para a compreensão da atividade científica enquanto um empreendimento cultural.

Nele relatamos uma experiência com estudantes de sétima e oitava séries do ensino fundamental. Os dados apresentados no capítulo V desta tese mostram o sucesso da experiência de ensino aprendizagem que investiguei no sentido de contribuir para que os estudantes se tornassem capazes de reconhecer que as ciências propõem explicações baseadas em entidades inobserváveis. Esse é um passo importante para que os estudantes possam “aprender a apreciar as ciências” compreendendo suas relações com a arte, a literatura e outras manifestações culturais, também baseadas no espírito criativo humano.

Os sucessos relativos da experiência de ensino-aprendizagem que constitui a parte empírica dessa investigação, bem como os avanços teóricos estimulados por sua avaliação me permitem delimitar uma epistemologia que pode e deve subsidiar a intervenção dos professores no desenvolvimento de novas práticas na educação básica em ciências.

Minha tese é a de que a modelização, a dialogicidade e a metacognição são as estratégias básicas para promover a evolução do raciocínio epistemológico e das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências. Com elas, acredito ser possível promover a cultura científica em sala de aula, de modo a constituir valores cognitivos ou compromissos epistemológicos que desempenhem o papel de diretrizes para sofisticar o conhecimento dos estudantes sobre os fenômenos naturais e sobre os meios através dos quais nós os investigamos.

Além disso, essas mesmas estratégias podem estimular os estudantes a ouvir e a coordenar pontos de vista diferentes dos seus, bem como a aprender a levantar problemas, a apresentar críticas e a exigir argumentos razoáveis e inteligíveis de seus interlocutores. Essas são contribuições para a formação da autonomia moral e intelectual dos estudantes que eu atribuo à educação básica e que podem ser alcançadas mediante a coordenação entre o aprender ciências, o aprender a “fazer ciências” e o aprender sobre ciências.

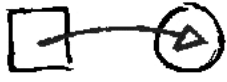


ABSTRACT

This thesis reports a research aiming at investigating how school science should be changed in order to effectively contribute to fostering an understanding of science as a human collaborative enterprise. The learning environment designed and implemented gave rise to relatively successful and wide-ranging teaching and learning experiences, and provided the background from where empirical data were constructed. At the same time it stimulated me to go further in weaving the theoretical basis that allowed me to delineate an epistemology potentially productive for teachers and educators in developing new practices in basic school science education.

My thesis is that modelling, dialogicity and metacognition are at the core of any strategies devised to promote the development of epistemological reasoning of students and their images about the nature of science. With them, I believe to be possible to foster scientific culture in classroom settings in order to constituting cognitive values and epistemic commitments that will serve as guidelines to sophisticate students' knowledge about natural phenomena and about the ways we investigate them.

Besides that, these strategies may stimulate students to considering and co-ordinating perspectives different from those they endorse, as well as to learning to pose problems, to present criticisms and to demand reasoned and intelligible arguments from the others. These are influential contributions for the education of moral and intellectual autonomy of students, a commitment I assign to the basic school level. These may be reached through the co-ordination among the learning sciences, learning to do science and learning about science.



Capítulo I- Introdução



I.1- Onde estou e de que lugar eu falo

Diferentes segmentos da sociedade demonstram clara insatisfação quanto aos resultados da educação escolar e da educação em ciências, em particular. Esta insatisfação advém de certas expectativas criadas sobre a função social da escola, tais como:

- (a) fazer da escola um espaço de formação de cidadãos críticos, socialmente responsáveis e comprometidos com o fortalecimento das instituições democráticas;
- (b) superar o modelo de ensino centrado na transmissão e acúmulo de informações sem desconsiderar a importância dos conhecimentos historicamente acumulados pelas ciências;
- (c) mediar o acesso à “informação” e promover uma formação crítica e reflexiva que prepare o sujeito para interagir com o intenso processo de crescimento do “conhecimento disponível”;
- (d) contribuir para que os estudantes possam desenvolver capacidades necessárias à vida em sociedade, tanto durante, quanto após a conclusão de seus estudos na educação formal.

Ao que parece, estamos muito longe de alcançar essas metas ou de atender a essas aspirações. Para Castro (2001), entretanto, a década de 90 do século XX representou um ponto de inflexão com sinais perceptíveis de recuperação da educação escolar no Brasil. Pela primeira vez em toda a história da educação no país, o significativo aumento da oferta de vagas na educação básica não teria produzido queda da qualidade do ensino. Esse autor sustenta tal afirmação apresentando a evolução de resultados do SAEB¹ ao longo da década de 90, além de dados referentes à progressão dos estudantes dentro do sistema de ensino.

Esse autor esquece de mencionar, todavia, que a diminuição dos índices de repetência deve-se a um fenômeno alarmante. Trata-se da progressão automática que começou a ser implantada

¹ SAEB é a sigla do Sistema de Avaliação da Educação Básica, criado pelo MEC em 1990.



inicialmente no ensino fundamental e depois se estendeu ao ensino médio, dentro de uma lógica de substituição do regime seriado pelo regime em ciclos.

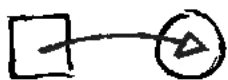
O regime em ciclos tem méritos incontestáveis na implantação de uma nova concepção de organização do tempo escolar, deslocando o foco da cultura escolar para os processos de formação e para o planejamento curricular a médio e longo prazo. Tomado como conceito e como concepção de educação, a organização do sistema escolar em ciclos é muito mais interessante que a lógica da fragmentação instituída no regime seriado.

A educação, no entanto, não se realiza apenas a partir de concepções e discursos. A falta de políticas sérias e continuadas de valorização do trabalho docente, de desenvolvimento profissional e de produção e socialização de recursos pedagógico-educacionais que sustentem currículos estruturados por ciclos, transformou a proposta dos ciclos em simples aprovação automática em escolas públicas de ensino fundamental e médio.

Independentemente das críticas que tenho em relação aos critérios utilizados por Castro (ibidem) para chegar à conclusão de que a década de 90 representa realmente um ponto de inflexão na melhoria do sistema de educação no Brasil, vou utilizar a brecha que a conclusão deste autor abriu para chamar a atenção à crise da educação em ciências.

Em suas últimas edições, o Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) deixou de monitorar o desempenho dos estudantes na área de ciências. Por essa razão, a conclusão altamente polêmica de Castro (ibidem), sobre a qualidade da educação no Brasil, não pode ser estendida à educação em ciências. Não há razões claras para concluir que a crise na educação em ciências seja mais intensa do que aquela que aflige a educação escolar como um todo. Há que se notar, entretanto, que antes do monitoramento do SAEB ser suspenso nas disciplinas da área de ciências naturais, era essa a área do conhecimento na qual os estudantes alcançavam seus piores resultados.

A exemplo do que ocorria com o SAEB, as disciplinas da área de ciências naturais também foram as que apresentaram os piores resultados no último PROEB/M.G., publicado em 2001. Os resultados dos estudantes nesse programa, que teve como foco o ensino médio, são classificados segundo três critérios: (1) crítico – intervalo de proficiência considerada bastante inferior ao



desejável; (2) intermediário; (3) suficiente – intervalo de proficiência considerada satisfatória, tendo em vista o padrão de desenvolvimento desejável.

No quadro I.1, eu reproduzo os resultados alcançados pelas diversas disciplinas contempladas no PROEB/M.G. 2001 para que o leitor possa compará-los. Como se pode ver, mediante uma análise rápida dos dados do quadro, os resultados na área de ciências naturais são escandalosamente inferiores aos alcançados em outras disciplinas.

Minha própria experiência profissional como professor de disciplinas básicas - oferecidas nos primeiros semestres de três diferentes cursos de graduação em faculdades de Belo Horizonte - me colocam em contato direto com o desconhecimento de idéias, fatos e recursos intelectuais característicos de uma cultura científica elementar. Assim, por exemplo, ao discutir a propagação dos sons em diferentes meios materiais, constato que para muitos estudantes o ar não é um meio material.

Quadro I.1- Resultados alcançados por estudantes do ensino médio no PROEB/MG 2001 (Programa de Avaliação da Rede Pública de Educação Básica de Minas Gerais)											
Português			Matemática			História			Geografia		
Crítico	Inter.	Suficiente	Crítico	Inter.	Suficiente	Crítico	Inter.	Suficiente	Crítico	Inter.	Suficiente
16,3%	57,3%	26,3%	47,4%	45,4%	7,1%	20,4%	60,1%	19,5%	8,9%	69,1%	21,9%
Biologia			Física			Química					
Crítico	Inter.	Suficiente	Crítico	Inter.	Suficiente	Crítico	Inter.	Suficiente			
70,4%	13,4%	16,2%	83,4%	8,2%	8,4%	82,1%	8,8%	9,1%			

No último exame do programa internacional de avaliação de estudantes (PISA), publicado em julho de 2003, e conduzido pela Unesco, o Brasil ficou no penúltimo lugar, atrás de 41 países e à frente apenas de um outro país sul-americano: o Peru. Resultado semelhante havia sido alcançado no ano 2000 em um exame do PISA destinado a avaliar a proficiência em leitura. No caso do exame de 2003, avaliou-se a capacidade de estudantes de 15 anos em usar determinados conhecimentos científicos, reconhecer perguntas relacionadas às ciências, identificar as questões



envolvidas em pesquisas científicas, associar dados científicos com afirmações ou conclusões e comunicar esses aspectos das ciências.

Uma das coisas que mais me assusta é que os exames aos quais eu me referi até agora são, em geral, bem elaborados. Exames como o PISA, e até mesmo o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), rompem com a lógica das tradicionais avaliações baseadas na memorização, além de apresentar questões que remetem a situações da vida cotidiana nas quais um conhecimento básico das ciências tem papel importante. Tais resultados calamitosos realmente não me surpreendem. A educação escolar e a educação em ciências no Brasil estão efetivamente em crise, e essa crise tem uma história tão longa quanto a própria escola enquanto instituição!

Que perspectivas nós temos para superar essa situação? Não tenho, obviamente, respostas para esta questão, mas traçarei aqui um breve cenário da educação brasileira na atualidade, para que possamos nos situar diante dela.

Muitos dos professores das ciências naturais da rede pública de ensino, que atuam no ensino médio, não tem habilitação específica para as disciplinas que lecionam. No ensino fundamental, o problema é menor. Todavia, ainda prevalece nas práticas educacionais mais difundidas nesses dois níveis de ensino, o privilégio da memorização, em detrimento da compreensão. As razões que, em geral, levam os professores a esse tipo de prática pedagógica são várias: a falta de uma compreensão mais profunda das ciências naturais; a imersão em uma cultura escolar transmissiva e pautada pela memorização da qual participaram na condição de estudantes da educação básica e do ensino superior; a qualidade dos livros-texto mais conhecidos e divulgados; as más condições de trabalho; etc.

Vivemos no Brasil um período em que se inicia um novo governo. Todavia, o novo governo já sinalizou a continuidade das políticas básicas na área de educação, até porque algumas delas estão estabelecidas na forma de lei. Essas políticas não são ruins de todo e nosso maior problema diz respeito à sua forma de implementação.

As políticas educacionais atualmente em vigor no Brasil têm seu início no começo da década de 90. As discussões sobre a educação brasileira que marcam o início dessa década inauguram um debate sobre a crise da educação que ocorre a nível mundial. Autores como Oliveira (1996) e



Torres (1995) mostram como a interferência de organismos internacionais como a Unesco e o Banco Mundial tiveram um papel marcante na internacionalização desse debate. A conferência Mundial sobre "Educação para todos" ocorrida na Tailândia, em 1990, é um dos marcos iniciais desta internacionalização.

Demandas oriundas dos movimentos da sociedade civil brasileira fizeram surgir, na segunda metade da década de 90, após oito anos de debates e disputas, um conjunto de novas diretrizes para as políticas educacionais no país. No discurso oficial, a necessidade de melhoria da qualidade da educação escolar seria derivada da crença de que um novo perfil de qualificação profissional estaria sendo exigido por novas relações de trabalho e produção. É dentro deste contexto que surge, em 1996, a Lei de Diretrizes e Bases (LDB).

Nos anos seguintes à promulgação da LDB, o Ministério da Educação (MEC) produziu as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) atualmente em vigor. As DCN e os PCN, condizentes com aquilo que Saviani (1997) chamou de “espírito minimalista da LDB”, apresentam uma concepção de política educacional de espírito descentralizador, afirmando a liberdade de organização dos sistemas de ensino nos termos da Lei.

Além das diretrizes e parâmetros, a preocupação em instituir mecanismos para a busca de unidade e de identidade necessárias a uma base nacional comum para o currículo manteve em vigor o sistema de avaliação da educação básica (SAEB) - criado no início da década de 90 - e fez surgir o ENEM (exame nacional do Ensino Médio).

Em acordo com o artigo 12 da LDB, o processo de desconcentração das decisões sobre o currículo passou a permitir que as próprias escolas definissem currículos diversificados, guiados por projetos político-pedagógicos sintonizados com as necessidades locais e regionais. Pretendendo subsidiar a elaboração da proposta pedagógica de cada escola, as DCN sustentam a avaliação de que:

“(...) grande parte do mau desempenho dos alunos, agravado pelos problemas da reprovação e da preparação insatisfatória, prévia e em serviço, dos professores, é devida à insuficiência de diálogos e metodologias de trabalhos diversificados na sala de aula, que permitam a expressão de níveis diferenciados de compreensão, de conhecimentos e de valores éticos, políticos e estéticos” (CEB, 04/98).



Essa responsabilização das escolas e dos professores pelo fracasso escolar é, às vezes, suavizada por afirmações como aquela que encontramos nos PCN para o ensino fundamental:

“A busca da qualidade impõe a necessidade de investimentos em diferentes frentes, como a formação inicial e continuada de professores, uma política de salários dignos, planos de carreira, a qualidade do livro didático, recursos televisivos e de multimídia, a disponibilidade de materiais didáticos” (PCN, Volume 1, Introdução, pp.13/14).

É justamente aí que se encontra uma das maiores contradições das ações que se seguiram a LDB/96: aumenta-se a responsabilidade das escolas e dos professores na definição de currículos, projetos político-pedagógicos e na promoção de uma educação voltada para os interesses e para as realidades vividas por cada comunidade escolar, mas em contrapartida muito pouco se faz no sentido de promover ou garantir a melhoria da formação e das condições de trabalho dos educadores.

Em função do resultado desastroso alcançado pelo Brasil no PISA 2003, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e o MEC lançaram em agosto de 2003 o projeto “Ciência de todos” que conta com o apoio da Unesco. Segundo matéria da Revista Ciência Hoje (Vol. 34, nº 200, dez. 2003), o projeto tem como objetivo central elevar os níveis de desenvolvimento humano, de empregabilidade e de qualidade de vida da população através da popularização do saber científico. Vinte entidades representativas da comunidade acadêmica na área de ciências naturais foram convidadas em setembro de 2003 para debater a primeira versão do projeto. Como convém à lógica imediatista que reina na política brasileira foi dado o prazo exíguo de um mês para que as entidades convocadas apresentassem contribuições ao projeto, que deveria ser iniciado em 400 escolas públicas do ensino médio, ainda no ano de 2003.

Eu não tive acesso ao projeto, mas segundo os representantes de entidades entrevistados na matéria da Revista Ciência Hoje, o texto inicial apresentava graves problemas conceituais ligados a questões da área de educação e de popularização das ciências. Em 17 de novembro de 2003, uma nova versão do projeto foi apresentada. A matéria já citada não traz avaliações sobre o conteúdo das mudanças introduzidas, mas a restrição do projeto ao ensino médio deve continuar sendo lamentada.

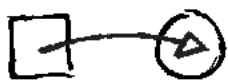


A opinião dos especialistas e representantes de entidades entrevistados na matéria da Revista Ciência Hoje sobre quais são as características de uma educação em ciências “para todos”, não é muito diferente do que é prescrito por documentos oficiais como os PCN, por exemplo. Entre as declarações apresentadas nesta matéria encontramos citações atribuídas ao divulgador das ciências José Reis, que enfatizam a necessidade de se investir na originalidade do aprendiz, em sua capacidade de investigar e na caracterização das ciências como um processo. Fala-se também na importância de se ensinar o estudante a fazer ciências. Essa idéia é reforçada por uma citação atribuída à Professora Lea Fagundes, coordenadora científica do Laboratório de Estudos Cognitivos do Instituto de Psicologia da UFRGS, que nos diz que: *“Não se trata de fazer transmissões. Esse tem sido o grande equívoco na educação e no ensino das ciências. Aprende-se ciência aprendendo a fazer ciência”*.

A respeito da importância de uma educação em ciências para todos Bronowski (1979, p. 12) nos diz que: *“Hoje em dia, o mundo é feito, é potenciado, pela ciência, e qualquer homem que abdique do seu interesse pela ciência caminha de olhos abertos para a escravatura”*. O termo escravatura deve ser tomado aqui como uma metáfora. A escravatura a que se refere o autor significa, então, a incapacidade de crítica, a alienação, a impossibilidade daquele que ignora as ciências se fazer sujeito de seu próprio tempo.

Concordo com a idéia contida nesta citação de que cidadãos críticos que pretendem se inserir como sujeitos da cultura contemporânea não deveriam manter uma atitude ingênua em relação à ciência e suas relações com a tecnologia e a sociedade. Mesmo assim, e apesar da força retórica da fala desse autor como defesa de uma educação científica para todos, sou obrigado a reconhecer nela um grande exagero, pelo menos no que diz respeito às ciências naturais.

Mesmo entre intelectuais, existem inúmeros “analfabetos em ciências naturais” que nada tem de escravos e que são ativos, críticos e atuantes. Por outro lado, muitos cientistas que se dedicam às ciências naturais costumam mostrar-se acrílicos e alienados de outras atividades minimamente distantes de sua própria área de especialidade. Mas, se o que nos diz Bronowski (ibidem) não serve de defesa incontestável de uma educação em ciências para todos, qual seria a razão para defendemos essa bandeira?



Com o sugestivo título de “Ciência para todos”, o trabalho de Millar (1996) nos apresenta algumas direções interessantes para refletirmos sobre essa questão. Em primeiro lugar, esse autor nos diz que qualquer conteúdo só merece um lugar no currículo de ciências se contribuir com habilidades, conceitos e perspectivas específicas, não oferecidas por outras disciplinas e somente acessíveis através de instrução formal. O segundo e mais importante critério é o de que a aprendizagem deste conteúdo tenha valor e importância. Esse critério, por sua vez, nos coloca diante de duas perguntas: (a) valor para quem? (b) importância para que?

O enfrentamento da primeira pergunta pode fazer o currículo de ciências oscilar entre duas alternativas distintas: uma orientação propedêutica preocupada em garantir os primeiros estágios de uma formação mais específica em ciências que atende os interesses de uma minoria, ou uma orientação que tem como perspectiva garantir o acesso a uma cultura científica básica que atenda aos interesses da maioria.

O enfrentamento da segunda pergunta nos coloca diante de, pelo menos, quatro diferentes tipos de pontos de vista a partir dos quais pode-se justificar a importância dos conteúdos da educação em ciências. Esses pontos de vista são o econômico, o utilitário, o democrático e o cultural.

Do ponto de vista econômico, entende-se que ciência, tecnologia e criação de riqueza industrial estão intimamente conectadas. Uma exacerbação deste ponto de vista pode nos levar a restringir a importância da educação em ciências à mera necessidade de se formar especialistas em ciências para manter e desenvolver a infraestrutura científico-tecnológica. Isto, obviamente, não seria coerente com a orientação que tem como perspectiva garantir o acesso a uma cultura científica básica que atenda aos interesses da maioria.

Do ponto de vista utilitário, o conhecimento científico seria necessário para lidar com a massiva presença de dispositivos e aparatos científico-tecnológicos em nossa vida cotidiana. Existem alguns exemplos a favor deste ponto de vista. Assim, por exemplo, há alguns conhecimentos fundamentais sobre eletricidade, por exemplo, que a escola deveria socializar. No início do ano de 2004, por exemplo, os jornais publicaram que em uma festa de estudantes duas pessoas morreram porque resolveram nadar em uma piscina em torno da qual se estendiam fios elétricos usados nos refrigeradores espalhados em volta da piscina.



Atualmente a educação em ciências não parece comprometida com a socialização de conhecimentos que possam ser úteis às pessoas em situações do dia a dia, evitando, por exemplo, que elas permitam o contato de fios elétricos e soluções iônicas condutoras de eletricidade como a água de piscina. Possivelmente isso decorre da perspectiva livresca e abstrata que ainda prepondera na educação em ciências.

Apesar de alguns bons exemplos pontuais, o argumento utilitário sozinho não pode sustentar uma defesa da importância da educação em ciências para todos, pelo menos com a carga horária que hoje é destinada às disciplinas de ciências naturais nas grades curriculares da educação básica. Afinal, nos dias de hoje, em muitos casos, a necessidade de conhecimento científico específico para lidar com os aparatos tecnológicos que inundam nosso dia a dia tende a ser cada vez menor.

Do ponto de vista democrático, a compreensão das ciências é entendida como algo necessário para participar do debate e, eventualmente, de escolhas sociais em relação a questões cuja compreensão seja altamente dependente de conhecimento científico específico. O problema deste ponto de vista é que a complexidade das questões ligadas às ciências tende a ser cada vez maior e o debate sobre as alternativas e escolhas possíveis acontece sempre em círculos específicos e especializados, à revelia da participação do grosso da sociedade.

De qualquer forma, não se pode trivializar os debates nos quais o conhecimento científico é necessário sem perda substancial de seus significados. A cobertura sensacionalista da mídia brasileira sobre o acidente na base de lançamento de foguetes de Alcântara mostrou que mesmo os órgãos mais respeitados da imprensa não contam com jornalistas e nem com assessoria minimamente qualificada para discutir questões mais sofisticadas ligadas às ciências e à tecnologia.

Do ponto de vista cultural, a ciência é entendida como uma das principais aquisições de nossa civilização. Ser sujeito de seu próprio tempo e de sua própria cultura implica, portanto, em compreender e apreciar as ciências. Embora também não possa sustentar sozinho uma proposta de educação em ciências para todos, este ponto de vista tem imenso valor para o debate sobre as eventuais contribuições que minha tese pode trazer para aqueles que, porventura, venham a interagir com ela ou comigo. É objetivo central desta tese contribuir para que possamos repensar



o modo como os conteúdos de ciências são tratados na escola atual, onde não se enfatiza nem a compreensão, nem a apreciação das ciências como empreendimentos culturais.

No Brasil, a utilização do ponto de vista cultural para estabelecer objetivos educacionais encontra-se expresso nas diretrizes e parâmetros curriculares elaborados pelo MEC para o ensino fundamental e médio. Em todos os documentos produzidos pelo MEC para a educação básica é possível encontrar a valorização da compreensão das ciências como empreendimento cultural e social. Assim, por exemplo, os PCN propõem que o ensino fundamental deve permitir aos alunos:

“Compreender a Ciência como um processo de produção de conhecimento e uma atividade humana histórica, associada a aspectos de ordem social, econômica, política e cultural” (MEC/SEF, 1998:33 - PCN de Ciências naturais para a 5^a a 8^a séries, Brasília, D. F.).

Nesta tese, eu proponho reflexões sobre o papel da ciência escolar como instrumento para a compreensão da atividade científica. O ponto de vista cultural caracterizado por Millar (1996) é o que mais se destaca em meu trabalho. Além de aprender conceitos, modelos e teorias produzidos historicamente pelas ciências, defendo aqui a necessidade de que a educação escolar promova um conhecimento sobre as ciências. Conquanto possa ser relativamente fácil encontrar consenso sobre a importância de incorporar este ponto de vista na elaboração de uma educação em ciências para todos, há muito ainda que se discutir e que se compreender sobre como isso pode ser feito (LEACH e RYDER, 2003).

Um documento publicado pelo MEC em 2003 traz evidências de que ainda falta compreensão acerca do modo como o ponto de vista cultural deva ser incorporado ao currículo. O documento em questão, conhecido como “PCN +”, faz parte da estratégia de difusão das orientações e diretrizes dos PCN para o ensino médio, e deveria servir para orientar a reflexão dos professores sobre a “Física como cultura”. Todo o trecho deste documento identificado por este subtítulo encontra-se reproduzido abaixo para a análise dos leitores desta tese. Acredito que tal análise pode coincidir com a que eu fiz, ao perceber estupefato que muito pouca informação, orientação e compreensão sobre a física como cultura é alcançada a partir da leitura desse e de outros segmentos do documento. O pior, em minha opinião, é que o texto orienta o tratamento da física



como cultura como algo a ser feito apenas além dos muros da escola nos museus, exposições, produções literárias ou outras formas de expressão artística. A perspectiva que defendo nessa tese caminha em direção contrária e aponta a necessidade e a possibilidade de tratar a física como cultura por meio da coordenação entre aprender as idéias das ciências, aprender sobre as ciências e aprender a “fazer” ciências.

A Física como cultura

Passar a tratar a Física como parte da cultura contemporânea abre, sem dúvida, uma interface muito expressiva do conhecimento em Física com a vida social, seja através de visita a museus, planetários, exposições, centros de ciência, seja por meio de um olhar mais atento a produções literárias, peças de teatro, letras de música e performances musicais. Cada vez mais elementos do mundo científico, sua linguagem e principalmente a visão de mundo que o traduz estão presentes num amplo conjunto de manifestações sociais. Da mesma forma, as questões relativas ao desenvolvimento tecnológico e ao desenvolvimento econômico, em diferentes níveis, acompanham o dia-a-dia da vida contemporânea e freqüentemente podem ser analisadas na perspectiva do conhecimento científico. Finalmente, e para além da história da Física, cada lugar tem sua história, que inclui contribuições para o desenvolvimento do saber inserido na realidade da cidade ou da região com seus protagonistas próprios. Investigar e resgatar a história do desenvolvimento do saber técnico e científico local pode também ser uma estratégia significativa na direção do estabelecimento de uma visão da ciência enquanto atividade (PCN +, p. 85).

Ao tentar compreender melhor como promover, na educação básica, um **conhecimento sobre a ciência** fui conduzido a várias e amplas contribuições que têm sido produzidas na pesquisa em ensino de ciências nas últimas décadas. Algumas dessas contribuições são provenientes dos pressupostos do construtivismo epistemológico e do construtivismo educacional, bem como das pesquisas e debates diretamente orientados para o avanço das concepções dos alunos sobre a natureza das ciências.



O construtivismo é considerado como a mais proeminente e influente tendência da educação em ciências desenvolvida nas últimas décadas (GIL-PEREZ, 1996; FENSHAM, GUNSTONE e WHITE, 1994). Trata-se de um movimento bastante amplo e, por essa mesma razão, composto por referenciais teóricos diferentes e, em muitos pontos, divergentes. Ainda assim, há pontos de convergência suficientes que nos permitem falar de uma unidade na diversidade. Aguiar Jr e Saraiva (1999, p. 48), citando Ogborn (1994), nos apresentam quatro pontos convergentes que caracterizam o construtivismo educacional:

1. Importância do envolvimento ativo do aprendiz;
2. Respeito pelo aprendiz e por suas próprias idéias;
3. Entendimento da ciência enquanto criação humana;
4. Orientação para o ensino no sentido de capitalizar o que os estudantes sabem e dirigir-se às suas dificuldades em compreender os conceitos científicos em função de sua visão de mundo.

Em grande medida, o construtivismo educacional tem sua origem na epistemologia. Essa origem é inquestionável para o caso das tendências construtivistas na educação que foram inspiradas no construtivismo epistemológico de Jean Piaget (PAULA, 1996). Também pode ser facilmente verificada no caso dos modelos de ensino que compreendem o ensino-aprendizagem em ciências como um processo de mudança conceitual análogo a processos que, supostamente, caracterizariam a evolução do conhecimento científico (NUSSBAUM, 1989). Tais modelos de ensino aprendizagem via mudança conceitual constituíram a tendência mais importante na pesquisa em ensino de ciências da década de 80. Suas teses fundamentais se confundem com as teses que definem o próprio construtivismo educacional.

O construtivismo epistemológico, por sua vez, representa uma ampla revisão das respostas dadas às questões clássicas da epistemologia. Segundo Hessen (1980) essas questões tratam: 1º- da possibilidade do conhecimento (com posições que, historicamente, variam do dogmatismo ao ceticismo); 2º- da origem e da essência do conhecimento (com a ênfase oscilando no sujeito ou



no objeto); 3º- do processo de evolução do conhecimento (desenvolvimento cumulativo x incomensurabilidade, processos racionais e irracionais na mudança).

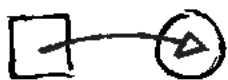
Apesar das grandes diferenças internas nos posicionamentos de diferentes correntes do construtivismo epistemológico, representadas por pensadores como Piaget, Popper, Lakatos, T. Kuhn, Feyerabend, Bachelard, Laudan, Hanson, Toulmin e outros, existem pontos em comum entre todas essas tendências epistemológicas. Prevalece entre as epistemologias construtivistas, a idéia de que o conhecimento científico é eminentemente teórico. Esse conhecimento nos permite conceber um mundo apenas similar ao mundo natural. Assim, jamais conheceremos o mundo “tal como ele realmente é”, mas apenas do modo como nós o concebemos a partir das limitações impostas por nossos sentidos, por nossas tecnologias e pelas suposições imaginativas que compõem nossas teorias.

A idéia nuclear das epistemologias construtivistas é a idéia de que toda observação é “carregada de teoria” (BOHM e PEAT, 1989; CHALMERS, 1994 e 1995; HANSON, 1958, KUHN 1970 e 1977). O que une todas essas tendências epistemológicas é, portanto, a crítica aos pontos de vista da epistemologia positivista ou “neo-empirista”, que encontrou sua versão mais refinada no trabalho do “Círculo de Viena”, na primeira metade do século XX (NASCIMENTO JÚNIOR, 1998).

Embora hoje já combalidos e ultrapassados, os pontos de vista da epistemologia positivista moldam, ainda, grande parte das imagens da ciência e da natureza que caracterizam as concepções ingênuas de alunos e professores (LEDERMAN, 1992; AKERSON, ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000; LEACH et al., 2000).

Silveira (1996, p. 225) descreve algumas das idéias básicas da epistemologia positivista e de sua versão ingênuas que é encontrada entre os currículos de ciências e seus atores:

1. *A Observação é a fonte e a função do conhecimento. Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível.*
2. *O conhecimento científico é obtido através da observação, mediante a aplicação do método científico, que é entendido como um procedimento algorítmico a ser aplicado às observações, de modo a produzir as generalizações, as teorias e as leis científicas.*



3. *A especulação, a imaginação, a intuição, a criatividade não devem interferir no processo de produção de conhecimento. O verdadeiro conhecimento é livre de pré-conceitos e de pressupostos.*
4. *As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas, mas descobertas em conjuntos de dados empíricos. A teoria tem como função a organização parcimoniosa dos dados, de forma a permitir a previsão de novas observações. Qualquer tentativa de ultrapassar o observado é destituída de sentido.*

A visão ingênua de ciência sintetizada nas quatro idéias básicas apresentadas acima e, principalmente, a crença na existência de um método científico, marcou as tentativas desenvolvidas nas décadas de 60 e 70 para aproximar a ciência escolar da atividade científica. Principalmente em função das contribuições do construtivismo epistemológico e educacional, podemos hoje compreender como é limitada a visão de ciências que alicerçava essas tentativas frustradas de promover o conhecimento sobre as ciências no currículo escolar.

Apesar de reconhecer o fracasso desses projetos e o caráter ultrapassado e precário da base epistemológica na qual eles se basearam, Gil-Perez (1996) entende que não se pode negar à ênfase nos “processos da ciência”, o mérito de ter colocado em questão a necessidade de uma aproximação entre as atividades de ensino-aprendizagem e a atividade de investigação científica. Segundo Gil-Perez (ibidem), foi o processo de revisão e de crítica a essas primeiras tentativas que deu origem a modelos de ensino mais consistentes, que buscaram reconstruir a relação entre a ciência escolar e a atividade científica, ao considerar os avanços mais recentes na psicologia da aprendizagem e na epistemologia.

I.2- O problema de pesquisa

Leach e Lewis (2002) citam diversos estudos que indicam algumas características comuns ao conhecimento epistemológico ingênuo dos estudantes que podem interferir decisivamente em sua capacidade de compreender as idéias das ciências:



- 1º- muitos estudantes tendem a atribuir um peso excessivo aos dados empíricos quando analisam o modo como as disputas entre teorias científicas são resolvidas ou o modo como os pontos de vista das ciências são justificados;
- 2º- os estudantes parecem assumir uma simples correspondência entre entidades que pertencem a uma explicação científica e objetos ou eventos no mundo material (eles são realistas ingênuos) e isso os impede de reconhecer que, em muitos casos, as explicações e proposições elaboradas nas ciências são povoadas por entidades teóricas.

Mas, como superar esse quadro? **Que mudanças devem ser instituídas na ciência escolar para que ela venha a se tornar um instrumento para a compreensão da atividade científica?** Esse é o problema que gerou a pesquisa relatada neste trabalho.

O primeiro passo para compreender melhor a complexidade e as implicações deste problema consiste em reconhecer que a ciência escolar constitui um corpo de conhecimento que busca representar a atividade científica, em alguma medida, mas não se confunde com ela (ASTOLFI e DEVELAY, 1989; CHEVELLARD, 1991). O segundo passo implica em compreender que a atividade científica constitui um empreendimento cultural e social altamente complexo e pode ser caracterizado, tanto por seus múltiplos produtos materiais e intelectuais, quanto pela diversidade de seus processos.

Por essa razão, o problema que a compreensão da atividade científica na educação básica nos coloca, diz respeito às escolhas didáticas, ideológicas e epistemológicas mediante as quais as ciências são representadas. Tais escolhas podem, ou não, contribuir para que a ciência escolar se torne um instrumento para promover a compreensão da atividade científica.

O ensino de ciências naturais no Brasil tem estado centrado no compromisso de promover o acesso dos estudantes a um determinado conjunto de conceitos, modelos e teorias geradas no interior das ciências. Esse foco pode ser caracterizado como um **foco no ensino de produtos do conhecimento científico**. Sem desmerecer a importância dessa dimensão do ensino, acreditamos



que o foco exclusivo sobre ela impõe uma grave restrição às contribuições da educação em ciências².

O trabalho já citado de Millar (1996) nos ajuda a vislumbrar outras dimensões do ensino para além dos produtos do conhecimento científico. Ele destaca e caracteriza três aspectos de uma compreensão de ciências que devem ser simultaneamente priorizadas pelos currículos:

1º- A compreensão do conteúdo científico (ou conhecimento científico substantivo);

2º- A compreensão dos métodos de investigação usados em ciência;

3º- A compreensão da ciência como um empreendimento social.

Outra maneira de nos referirmos aos aspectos mencionados por Millar é mediante a tríade **aprender ciências**, **aprender a fazer** ciências e **aprender sobre** ciências (HODSON, 1988). A correspondência entre essas três dimensões do ensino-aprendizagem e os três aspectos destacados por Millar não é exata. Aprender sobre ciências envolve a compreensão tanto dos métodos de investigação, quanto das dinâmicas sociais que caracterizam as ciências como um empreendimento cultural e social. Por outro lado, aprender a fazer ciências transcende o nível da compreensão, pois envolve aspectos de natureza tácita.

Promover o **aprender ciências** implica em viabilizar o acesso dos estudantes a conceitos, modelos e teorias fundamentais, historicamente desenvolvidos pelas ciências naturais. Este desafio está intrinsecamente ligado à realização dos dois outros tipos de aprendizagem mencionados, na medida em que não há como sofisticar a compreensão dos estudantes **sobre as ciências** sem contribuir para que eles compreendam o conteúdo das idéias das ciências. Do mesmo modo, não há como **aprender a fazer** ciências sem utilizar idéias e conceitos das ciências.

Aprender ciências e aprender sobre ciências são dois conteúdos indissociáveis e complementares, embora sejam irredutíveis um ao outro. Assim, quando dizemos que a educação básica

² Para simplificar a linguagem iremos nos referir às ciências naturais nesse trabalho simplesmente pelo termo ciências. Obviamente, não entendemos que as ciências se resumem às ciências naturais.



tradicionalmente focaliza seus esforços apenas no ensino de produtos do conhecimento científico, não estamos querendo dizer que ela não promove uma aprendizagem “sobre as ciências” e uma certa compreensão do que seja “fazer ciências”. Contudo, ao focalizar apenas uma dimensão da educação em ciências, a escola desloca as outras dimensões para uma espécie de “currículo oculto”, que não é objeto do planejamento pedagógico. As referências explícitas às características da atividade científica tornam-se escassas ou desarticuladas, e costumam veicular uma visão pobre, distorcida e mistificadora das ciências. Deste modo, o ensino focado apenas nos produtos das ciências inibe diversas contribuições potenciais da educação escolar para a formação de sujeitos críticos e capazes de exercer alguma autonomia intelectual.

Em minha opinião, o grande desafio em articular o ensino dos produtos do conhecimento científico com o **ensinar a fazer** e o **ensinar sobre** as ciências consiste em: 1º- evitar reducionismos e mistificações dos processos da ciência; 2º- promover uma compreensão mais sofisticada da natureza das ciências; 3º- permitir o desenvolvimento de habilidades associadas à produção do conhecimento científico, que são potencialmente importantes para a vida em sociedade; 4º- viabilizar o acesso dos estudantes a conceitos, modelos e teorias fundamentais, historicamente desenvolvidos pelas ciências naturais.

Para enfrentar esse desafio é necessário desenvolver ou delimitar, de forma consistente, um conhecimento sobre a ciência, que possa ser incorporado ao currículo e às práticas pedagógicas da educação básica³.

O objeto de estudo desta pesquisa consiste, assim, na caracterização dos aspectos fundamentais desse conhecimento sobre a ciência e na investigação de alternativas para promovê-lo na educação básica.

³ Nunca é demais lembrar que o conhecimento sobre a ciência de que falamos aqui se distingue do conhecimento científico em si mesmo, que é o conhecimento sobre o mundo natural gerado no interior das ciências. Na verdade, o conhecimento sobre a ciência é um metaconhecimento e, nesse sentido, transcende as ciências naturais em direção à filosofia, à epistemologia, às ciências cognitivas e às ciências sociais.



I.3- As questões de pesquisa

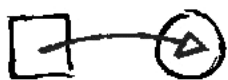
O estudo das mudanças a serem instituídas na ciência escolar para que ela venha a se tornar um instrumento para a compreensão da atividade científica foi desdobrado nesta tese em quatro questões de pesquisa.

1. Que imagens das ciências poderiam integrar um currículo de ciências naturais da educação básica comprometido com o desenvolvimento da autonomia moral e intelectual dos estudantes?
2. Que entendimento inicial os estudantes possuem sobre a natureza das ciências e a natureza do processo de investigação científica?
3. Que estratégias poderiam nos ajudar a promover reflexões sobre a natureza das ciências e a desenvolver o raciocínio epistemológico dos estudantes?
4. Que desafios se interpõem à meta de transformar o conhecimento sobre as ciências em conteúdo da educação escolar?

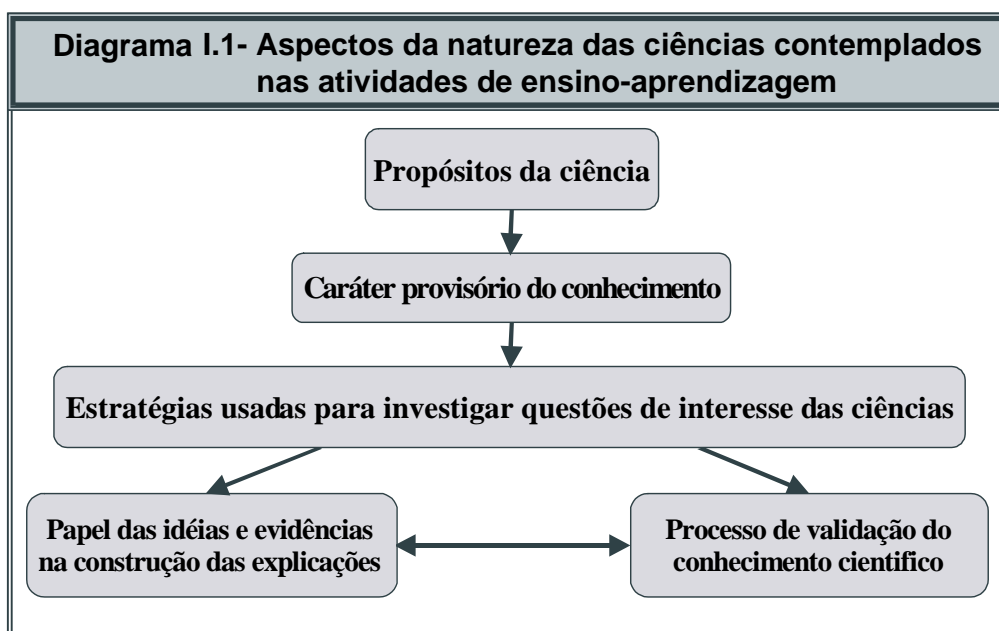
Os trabalhos de Driver et al. (1996) e Smith et al. (2000) - com os quais eu tive contato na primeira fase da revisão da literatura especializada - exerceram maior influência sobre a maneira como eu abordei a segunda questão de pesquisa. De maneira indireta, eles também influenciaram as outras questões. Afinal, todas as questões estão estreitamente ligadas.

Através das revisões bibliográficas que constavam nestes dois trabalhos eu tive a oportunidade de conhecer e examinar as pesquisas conduzidas por outros autores. Minha interação com os trabalhos de outros autores foi fortemente influenciada pelo modo como eles foram caracterizados por Smith et al. (ibidem) e, principalmente, por Driver et al. (ibidem).

Ao contrastar as diversas contribuições apresentadas nestes diferentes trabalhos fui levado a escolher um conjunto de aspectos da natureza das ciências que orientaram a elaboração dos instrumentos da pesquisa empírica. Esses aspectos encontram-se representados no diagrama I.1. A relação entre os propósitos das ciências e o caráter provisório do conhecimento científico será abordada no capítulo III. Pode-se ver, por meio de uma análise do diagrama, que as estratégias usadas pelas ciências para investigar questões de seu interesse são abordadas sob dois pontos de

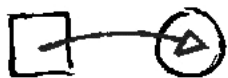


vista. Por um lado, o objetivo de toda e qualquer investigação científica é produzir explicações sobre o comportamento do mundo natural que possam ser sustentadas por meio de evidências e teorias coerentes. Por outro lado, a validade das explicações e das evidências que as sustentam é um objetivo a priori que coordena e dá sentido a todas as estratégias de pesquisa usadas na atividade científica.



A definição de aspectos da natureza das ciências a serem privilegiados na pesquisa foi necessária, mesmo antes que uma revisão bibliográfica mais consistente permitisse avaliar que importância era atribuída a esses aspectos por uma comunidade mais ampla de educadores em ciências e demais agentes ligados à divulgação científica. De qualquer modo, eu não podia protelar o início da pesquisa, até porque escolhi desenvolver um trabalho de campo em um período de tempo relativamente longo.

Um trabalho recente de Osborne et al. (2003) foi concebido, justamente, para identificar que aspectos da natureza das ciências deveriam ser abordados preferencialmente na educação básica, segundo uma ampla comunidade de especialistas entre os quais havia pesquisadores e educadores da área de ciências naturais, bem como intelectuais e cientistas envolvidos com a popularização das ciências. Neste trabalho os autores constataram um amplo consenso em torno de um conjunto



de aspectos que deveriam ser contemplados na educação básica. Este consenso autoriza e ratifica as escolhas apresentadas aqui, embora aponte para aspectos que eu não contemplei ou caracterize de modo um pouco diferente as dimensões da natureza das ciências apresentadas no diagrama I.1.

I.4- Justificativa

Para justificar o problema de pesquisa, tecerei algumas considerações sobre sua importância e possíveis implicações de sua compreensão para o ensino.

Nos últimos anos, tem crescido entre os profissionais da educação em ciências, tanto professores, quanto pesquisadores, a convicção de que promover a compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências e da investigação científica é uma meta importante para um currículo de ciências voltado para a construção da cidadania.

Segundo Akerson, Abd-El-Khalick e Lederman (2000) a meta de ajudar os estudantes a desenvolver concepções adequadas da natureza da ciência tem sido compartilhada entre educadores, cientistas e organizadores de currículo há pelo menos 85 anos. Entretanto, diversas pesquisas têm demonstrado que a realização desse velho objetivo não tem sido alcançada e que a grande maioria dos alunos e até mesmo dos professores apresenta concepções ingênuas, distintas dos pontos de vista das epistemologias contemporâneas.

Hodson (1988) afirma que a filosofia da ciência é componente fundamental do processo de formação de professores e, por isso, ele lamenta que raramente sejam feitos esforços consistentes para desenvolver a compreensão dos professores sobre a natureza das ciências. Para esse autor, a falta de uma base epistemológica mais consistente para a educação em ciências é uma das razões dos insucessos dos grandes projetos de ensino das décadas de 60/70. Referindo-se, explicitamente, aos projetos desenvolvidos nos EUA (PSSC, Harvard Project Physics, BSCS, ESCP, CBA, CHEM Study, etc), Reino Unido (Nuffield) e Austrália (ASEP), esse autor afirma que a falha dos cursos modernos em atingir completamente algumas das metas propostas com relação à compreensão da ciência pelas crianças tem duas causas principais. Uma delas seriam as visões inadequadas dos professores sobre a natureza da ciência. Em segundo lugar, Hodson



(ibidem) aponta para a existência de um certo grau de confusão na postura filosófica implícita em muitos currículos contemporâneos de ciências.

Essa também é a posição de Bell e Pearson (1992) para quem não é possível fazer avançar a prática pedagógica da educação em ciências, sem promover avanços na epistemologia de alunos e professores, ou, em outras palavras, sem promover avanços em sua compreensão acerca de como o conhecimento científico é construído e validado.

Meyer e Woodruff (1997) nos auxiliam a compreender como o foco exclusivo no ensino dos produtos do conhecimento científico pode tornar o ensino de ciências dogmático e distanciado do compromisso com o desenvolvimento da autonomia intelectual dos educandos. Para esses autores, a ausência de contexto histórico ou de justificativas para os pontos de vista atribuídos às ciências (isto é, informações sobre “o porque os cientistas pensam assim”) contribui para o desenvolvimento de uma aprendizagem superficial e acrítica.

O mesmo posicionamento pode ser encontrado em Medeiros e Bezerra Filho (2000:108) que levantam o seguinte argumento:

A ciência não pode ser ensinada como um dogma inquestionável. Um ensino da ciência que não ensine a pensar, a refletir, a criticar, que substitua a busca de explicações convincentes pela fé na palavra do mestre, pode ser tudo menos um verdadeiro ensino de ciência.

Duschl e Gitommer (1991) nos dizem que o conteúdo do conhecimento científico (princípios, leis, teorias, generalizações da ciência) deve ser ensinado lado a lado com o conhecimento estratégico de procedimentos usados na avaliação de teorias, evidências, observações e dados. Além disso, os autores reiteram a importância de se promover uma compreensão do papel das teorias científicas e das dinâmicas através das quais elas são geradas, revisadas, alteradas ou substituídas.

Millar (1996) assinala a importância de que o conhecimento sobre a ciência, desenvolvido na educação básica, dê o devido destaque às relações entre ciência e sociedade. Para ele há duas idéias básicas com as quais o currículo de ciências não deve faltar:



- 1º- O trabalho científico é sustentado socialmente e é produzido como parte de um esforço para compreender, dar sentido e comunicar idéias compartilhadas sobre o mundo natural;
- 2º- O conhecimento científico é limitado, pois implica necessariamente na simplificação da realidade. Situações reais são invariavelmente complexas e desorganizadas e, por isso, há sempre uma incerteza sobre como e mesmo quando os achados da ciência se aplicam à realidade. Há sempre decisões difíceis a serem tomadas como o peso a ser dado a diferentes evidências, e isso faz com que as ciências, necessariamente, se articulem com outras formas de conhecimento, inclusive com valores, quando é aplicada à realidade⁴.

As duas idéias mencionadas acima deixam claro a importância de que o conhecimento sobre as ciências, que é promovido pela ciência escolar, possa desmistificar a máscara de neutralidade e superioridade do conhecimento científico, em relação a outras formas de conhecimento da realidade. Trata-se de retirar a ciência de sua “torre de marfim” (GIL-PEREZ, 1996) e desvelar suas complexas relações com a sociedade. Em minha opinião, não há dúvida de que um dos compromissos mais fundamentais do ensino de ciências é o de libertar o cidadão dos mitos, inclusive daqueles criados em torno das próprias ciências, como conhecimento neutro, objetivo e, portanto, quase “não humano”.

A crença, hoje generalizada, de que a aprendizagem envolve um processo ativo de construção de significados pelo aprendiz, tem uma consequência importante para o tratamento do meu problema de pesquisa. Essa crença aponta para a necessidade de caracterizar o entendimento inicial que os estudantes possuem sobre a natureza da ciência e da investigação científica. Esse princípio fundamental é inspirado no ponto de vista de Driver, Guesne e Tiberghien (1985) segundo o qual a ausência de um professor que compreende e utiliza as idéias dos estudantes diminui a possibilidade de que os estudantes venham a compreender os pontos de vista das ciências.

Larochelle e Désautels (1991) apresentam razões de ordem didática e ideológica que justificam a pesquisa das noções dos estudantes sobre a natureza das ciências. As razões apresentadas por

⁴ O texto de MILLAR pode gerar uma interpretação equivocada da atividade científica quando ele se refere à necessidade de articulação do conhecimento científico com outras formas de conhecimento e “inclusive com valores”. Afinal, a própria ciência não é “isenta de valores”.



esses autores servem como justificativa, não apenas para esse tipo de pesquisa, mas também para a própria necessidade de se promover uma maior compreensão da natureza da ciência na educação básica.

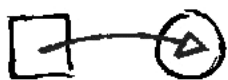
Segundo esses autores, sob o ponto de vista didático, conhecer as noções dos estudantes a esse respeito nos ajuda a compreender as dificuldades que eles apresentam no entendimento das idéias da ciência. Sob o ponto de vista ideológico, os autores consideram embaraçoso admitir que pessoas que passaram anos estudando ciências na escola não possam fazer um julgamento crítico do discurso científico. A esse respeito eles nos dizem:

Não há nada que justifique a falha do currículo de ciências em integrar reflexões epistemológicas acerca da produção do conhecimento científico. Por um lado, esta reflexão é uma parte integral das metas educacionais, desde que o principal interesse da existência do currículo reside em seu poder para promover a construção de conhecimentos pelos estudantes, antes que estimular a mera repetição de idéias vazias. Por outro lado, esta reflexão é também uma dimensão do campo de conhecimento, a partir do qual os objetos do ensino de ciências são elaborados. Finalmente, e isto é o mais importante para nós como educadores, a reflexão epistemológica pode não apenas aumentar a performance de nossos estudantes, como também aumentar sua competência como atores sociais (LAROCHELLE e DÉSAUTELS 1991, p. 387).

Driver et al. (1996) defendem a necessidade de ampliar a caracterização dos conhecimentos prévios dos estudantes para além do que foi realizado pela pesquisa em concepções espontâneas - desenvolvida ao longo das décadas de 70 e 80 - que se concentrou nas concepções dos estudantes sobre o conteúdo do conhecimento científico.

Para esses autores, promover essa ampliação implica em caracterizar as concepções dos estudantes sobre a natureza das ciências, ou, em outras palavras, identificar o que eles pensam sobre: 1º- o que pode e o que não pode ser explicado pelas ciências; 2º- aquilo que constitui uma explicação científica; 3º- a generalidade das explicações construídas no interior das ciências; 4º- como as evidências oriundas das observações podem contribuir para checar e refinar explicações.

Esses autores também acreditam, a exemplo de Larochelle e Désautels (ibidem), que promover o conhecimento sobre as ciências na educação básica pode permitir um posicionamento mais



crítico dos estudantes em relação ao conhecimento científico, bem como pode facilitar a compreensão de conceitos, modelos e teorias, tradicionalmente propostos como conteúdos do ensino de ciências:

Freqüentemente, parece que as respostas dos estudantes para observações e idéias estão constrangidas e limitadas de forma significativa por suas percepções acerca da natureza das ciências e do próprio trabalho científico. O resultado é que novas experiências e informações apresentadas na sala de aula e no laboratório são muitas vezes interpretadas pelos estudantes de forma diferente daquelas pretendidas pelos professores e planejadores de currículos (DRIVER et al., 1996, p. 03).

Esse também é um dos quatro argumentos apresentados por Smith, et al. (2000) para justificar a importância de promover uma maior compreensão da natureza da ciência na educação básica. Os quatro argumentos mencionados pelos autores baseiam-se tanto nas diretrizes curriculares para o ensino de ciências - propostas nos Estados Unidos por instituições como a AAAS⁵ (1990 e 1993) - quanto em uma extensa quantidade de pesquisas.

Tais argumentos giram em torno da idéia de que o desenvolvimento de uma epistemologia mais sofisticada por parte do aluno pode contribuir para: a) melhorar a aprendizagem de conteúdos da ciência; b) elevar sua capacidade de argumentação; c) formar cidadãos mais conscientes da importância da argumentação sólida na avaliação de afirmações em competição; d) promover a compreensão de que a existência de controvérsias e a existência de questões em aberto não fazem com que a ciência se torne um conhecimento de pouco rigor ou consistência.

Para alcançar objetivos similares a esses, Duschl (1995) propõe, então, organizar a prática pedagógica em três campos: 1º- o campo do conhecimento epistemológico e científico; 2º- o campo das habilidades cognitivas e de pensamento; 3º- o campo das habilidades sociais e de comunicação. Nas atividades de ensino propostas pelo autor, os estudantes devem vivenciar o processo de geração de hipóteses, experimentação e avaliação de evidências, com vistas à construção e à avaliação de argumentos e explicações.

⁵ American Association for the Advancement of Science



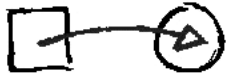
Como se vê, é relativamente fácil encontrar citações e argumentos a favor da necessidade de se transformar a ciência escolar em um instrumento para a compreensão da atividade científica, bem como para promover, na ciência escolar, o desenvolvimento de habilidades e estratégias de pensamento científico. Entretanto, embora seja fácil reconhecer a importância de se promover uma compreensão do que é a ciência e de como o conhecimento científico interfere em nossas relações com o mundo natural, com o mundo construído e com as outras pessoas, é muito mais difícil conceber uma maneira de desenvolver tal compreensão em sala de aula.

I.5- Visão geral dos capítulos da tese

Além do capítulo de introdução, esta tese apresenta mais cinco capítulos. O capítulo II é dedicado à discussão da metodologia da pesquisa e à caracterização do ambiente no qual ela se desenvolveu. O capítulo III traz o resultado de um diálogo com a epistemologia, a história e a sociologia das ciências para a caracterização do empreendimento científico. As características, que eu denomino como “dimensões da natureza das ciências”, representam aspectos irreduzíveis, indissociáveis e complementares da atividade científica. Ainda nesse capítulo, mais exatamente ao final das seções de número dois a nove, eu apresento sugestões de como promover essa caracterização na educação básica, de modo a contemplar a aprendizagem dos conceitos e teorias das ciências e dos aspectos históricos, sociológicos e epistemológicos a eles associados.

O capítulo IV é o primeiro capítulo com apresentação e análise de dados. Ele discute os resultados de uma entrevista de avaliação diagnóstica que foi realizada com os estudantes da turma em que a parte empírica de minha pesquisa foi desenvolvida.

O capítulo V apresenta e discute os resultados da entrevista final realizada com os mesmos estudantes e com o professor da turma. Ao contrastar os dados construídos nas entrevistas inicial e final, que foram realizadas em um intervalo de um ano e meio, eu reúno evidências a favor da evolução do conhecimento e do raciocínio epistemológico dos estudantes, bem como dos impactos que meu projeto de pesquisa trouxe para o ambiente em que ele se desenvolveu.



Por fim, no capítulo VI, eu retomo as questões de pesquisa, bem como apresento as contribuições de meu trabalho para a área de pesquisa na qual ele se insere, ressaltando a necessidade de que novas pesquisas venham contribuir para o desenvolvimento dessa área.



Capítulo II- Metodologia e características do ambiente de aprendizagem



Neste capítulo, apresentarei o desenho da pesquisa e as estratégias que concebi e utilizei para conduzi-la, bem como as características do ambiente de aprendizagem no qual a pesquisa se desenvolveu. Aqui há, portanto, um relato sucinto do que ocorreu neste ambiente. Apesar de sucinto, este relato é importante e complementa os dados apresentados no capítulo V desta tese.

II.1- O lugar da pesquisa empírica

A pesquisa foi realizada em de uma turma de estudantes do Ensino Fundamental, em uma escola privada de Belo Horizonte. Os estudantes pesquisados pertencem à classe média e, em geral, têm acesso a bens culturais que não são acessíveis a todos os estudantes da escola pública. Fora isso, e fora o pequeno número de estudantes que compunham a turma, não havia nada de excepcional ou extraordinário com o ambiente em que desenvolvi a pesquisa ou com os sujeitos que lá encontrei.

A pesquisa, obviamente, não precisava ser realizada em uma escola particular. Minha intenção inicial era a de conduzi-la em uma escola pública. Algumas exigências do desenho metodológico, entretanto, restringiam as escolas com as quais eu poderia trabalhar. Não tendo tido facilidade para encontrar uma escola pública com as características exigidas pelo desenho metodológico que havia concebido e considerando o cronograma que eu tinha a cumprir, decidi iniciar os trabalhos na escola onde obtive boa receptividade e condições adequadas ao trabalho.

O acesso a essa escola foi facilitado pela intervenção de um pai de aluno, que era consultor pedagógico da escola para a área de ciências naturais. A autorização da direção da escola tanto quanto a adesão do professor ao projeto foram resultantes dessa intervenção. Esse mesmo sujeito, na condição de professor de prática de ensino de Física na UFMG, também orientou a escola quanto à escolha do professor de ciências, um ex-aluno seu que acabara de se formar. Esse professor de ciências assumiu as turmas de 7ª e 8ª séries do Ensino Fundamental. Iniciei a pesquisa com uma turma de 7ª série, determinado a concluir a última etapa de minha coleta de dados quando essa turma estivesse prestes a terminar a 8ª série do ensino fundamental.

O fato do professor de ciências com o qual eu iria trabalhar ser licenciado em Física, a mesma área das ciências naturais na qual eu me formei, bem como sua disposição em participar do



projeto, me levou à conclusão de que eu dificilmente reuniria condições de trabalho mais favoráveis ao desenvolvimento do projeto em outra escola. Devido às características da investigação que eu pretendia conduzir, o interesse e a disposição do professor eram os pontos mais críticos do desenho de pesquisa.

É importante registrar duas avaliações sobre o professor com o qual eu tive a oportunidade de trabalhar e desenvolver a pesquisa. O desenho da pesquisa não previa qualquer tipo de treinamento do professor. Além disso, é bom lembrar que o professor em questão estava em início de carreira e aquela seria a primeira experiência de ensino regular que ele teria. Como, então, eu poderia esperar que um professor nessas condições pudesse participar do projeto sem comprometê-lo? Se tudo o que eu viesse a propor a esse professor fosse absolutamente novo para ele e diferente daquilo que já havia vivido antes, que chances eu teria de constituir um ambiente de aprendizagem propício ao tipo de pesquisa que eu queria desenvolver?

Eu tinha informações sobre esse professor que me levaram a acreditar em sua adequação à minha pesquisa. Ele contava com uma experiência de alguns anos em um projeto de educação de jovens e adultos mantido pela UFMG. Neste projeto, esse professor teve a oportunidade de vivenciar uma prática pedagógica dialógica, na qual os conteúdos eram abordados de modo a considerar o conhecimento prévio dos estudantes e suas impressões e opiniões acerca de suas próprias realidades.

Minha própria experiência como alfabetizador e educador de jovens e adultos me ensinou o quanto este tipo de vivência permite aprender a gerenciar ambientes de aprendizagem similares àquele que meu desenho de pesquisa sugeria. Na seção II.4 deste capítulo, caracterizo tal ambiente de aprendizagem. A mesma caracterização constava no projeto de pesquisa que foi entregue ao professor, à escola e ao professor da UFMG que facilitou minha entrada no lugar empírico de minha pesquisa.

Antes que eu começasse efetivamente a participar e a registrar suas aulas, o professor havia trabalhado com conteúdos ligados ao estudo do calor e temperatura. Isso ocorreu durante o primeiro trimestre de 2001, sem nenhum tipo de participação minha. Nesse período eu estava a elaborar as atividades que nutririam as aulas de ciências no segundo trimestre, e cujos temas



eram, originariamente, *Luz e Visão* e *Som e Audição*⁶. Esses temas, por sua vez, não foram escolhidos por mim. O conteúdo programático definido pelo professor e pela coordenação pedagógica previa esses temas para o segundo trimestre letivo. Tal escolha foi pautada no conteúdo do livro didático adotado para a sétima série, assim como pela análise dos conteúdos trabalhados nas séries anteriores e aqueles previstos para a continuidade dos estudos até o fim da oitava série do ensino fundamental.

O trabalho que o professor realizou no primeiro trimestre de 2001 era semelhante àquele que eu estava propondo, pois também se estruturava em torno de atividades experimentais de investigação. Minha intuição e minha sorte parecem ter me conduzido a um ambiente adequado para desenvolver a pesquisa que eu concebi, embora a falta de experiência do professor e o tempo limitado de interação com ele pudessem indicar o contrário.

As atividades que eu concebi e apresentei ao professor possuíam uma novidade em relação àquelas que ele havia utilizado no primeiro trimestre. Elas continham questões, informações e orientações, cuja intenção era auxiliar o professor a promover com os estudantes reflexões sobre aspectos específicos da natureza das ciências. Além das atividades, entreguei ao professor um anexo com comentários e orientações adicionais para a condução das atividades em sala de aula.

II.2- A relação entre as questões e os instrumentos de pesquisa

Na presente seção discutirei as estratégias que me permitiram predicar sobre as quatro questões de pesquisa. A primeira questão começa a ser respondida no capítulo III, no qual eu organizo, proponho e apresento um conjunto estruturado de imagens das ciências. São essas as imagens que resgato no capítulo de conclusão à guisa de responder a todas as minhas quatro questões de pesquisa.

A segunda questão será tratada inicialmente no capítulo IV. Os instrumentos especificamente concebidos para investigar essa serão apresentados neste capítulo. Achei mais conveniente

⁶ Desses dois temas, apenas o primeiro foi desenvolvido. Todo o segundo trimestre de 2001 foi ocupado com o desenvolvimento do tema *Luz e Visão*.



proceder a uma descrição mais minuciosa dos instrumentos de pesquisa utilizados na produção de dados da pesquisa empírica nos mesmos capítulos da tese onde os dados são analisados.

A terceira e a quarta questão serão tratadas apenas no último capítulo. Um alerta para o tratamento da terceira questão nos é dado por Lederman (1992) ao criticar vícios metodológicos de pesquisas que mostraram ganhos nas concepções dos alunos sobre a natureza das ciências, ao aplicarem pós-testes nos quais os alunos apenas reproduziam argumentos e pontos de vista que haviam sido apresentados a eles durante o desenvolvimento de unidades de ensino. Desde o início, decidi evitar esse erro. Mas, isso não é uma tarefa tão simples quanto parece. Afinal, como nos diz o próprio Lederman, em outro trabalho (CRAWFORD, et al., 1999), é necessário abordar explicitamente o conhecimento sobre as ciências no currículo.

O desafio, portanto, é o de avaliar a compreensão dos estudantes sobre a atividade científica, sem confundir compreensão com conhecimento declarativo. Para enfrentar esse desafio realizei duas coletas de dado distanciadas por um período de um ano e meio uma da outra. Com isso acredito ter evitado o mascaramento da compreensão pela capacidade de memorização de discursos sobre as ciências.

No primeiro contato que tive com os estudantes, fui apresentado pelo professor e falei sobre os objetivos e a metodologia da minha pesquisa, bem como sobre o sentido de minha presença em sala de aula. Nessa ocasião, o professor fez questão de frisar que nenhuma característica do trabalho que eles haviam realizado no primeiro trimestre iria mudar com a minha presença. Ao ser questionado por um estudante que queria saber, explicitamente, se as aulas continuariam a ser realizadas através de atividades experimentais, o professor respondeu afirmativamente.

Acompanhei as aulas de ciências naturais da turma de 7ª série durante todo o segundo trimestre do ano de 2001. As atividades utilizadas em sala propunham questões para estimular os estudantes a discutir os aspectos da natureza das ciências apresentados no diagrama I.1. Em geral, esses aspectos foram sendo contemplados em momentos e atividades diferentes. A diretriz metodológica fundamental que adotamos para conduzir os trabalhos integra o aprender as idéias das ciências e o aprender sobre as ciências por meio de atividades de investigação, argumentação e avaliação propostas para o desenvolvimento do conteúdo programático.



Logo depois de assistir às primeiras aulas e me familiarizar com os estudantes realizei entrevistas semi-estruturadas com todos eles. Essa primeira entrevista cumpriu a função de avaliação diagnóstica e foi orientada a identificar e caracterizar as imagens iniciais dos estudantes sobre a natureza das ciências. Os instrumentos utilizados nesta primeira entrevista foram previamente testados em um estudo piloto conduzido com estudantes de uma outra escola que tinha características semelhantes àquela em que desenvolvi meu projeto.

Durante todo o segundo trimestre de 2001, um grupo de estudantes foi monitorado por uma câmara de vídeo enquanto realizava as atividades experimentais. O uso de um microfone preso à mesa do grupo monitorado pela câmara de vídeo permitiu o registro de um sinal de áudio com boa qualidade. Enquanto o grupo era filmado e suas conversas eram gravadas, eu adotei a estratégia de me afastar deste grupo, por acreditar que isso ajudaria os componentes do grupo a esquecerem a presença da câmara. Nesses momentos, eu percorria a sala conversando com os outros grupos e auxiliando o professor a assistir os alunos e a orientá-los⁷. Em algumas das atividades, tanto eu, quanto o professor, carregávamos gravadores para que nossas conversas com os estudantes ficassem registradas. Em um caderno de campo, eu fiz anotações adicionais registrando alguns acontecimentos e idéias que iam me ocorrendo.

A estratégia de deixar gravadores nas mesas de todos os grupos teve que ser abandonada. A sala era pequena e os grupos ficavam relativamente próximos uns aos outros. Além do ruído proveniente das conversas nos grupos adjacentes, as gravações em áudio produzidas pelos aparelhos distribuídos nos diversos grupos continham ruídos decorrentes do movimento de carteiras e materiais escolares. Mesmo o uso de espuma sob os gravadores não diminuiu o problema. As gravações obtidas por esses aparelhos eram inaudíveis e não puderam ser aproveitadas.

Ao final da etapa de trabalho em grupo, a turma se reorganizava para discussões coletivas. Neste momento, eu manuseava a câmara de vídeo para que os interlocutores fossem focalizados e suas falas fossem registradas. Além das fitas de vídeo, eu recolhi o material que os estudantes

⁷ Enquanto pesquisador eu não mantive um papel completamente passivo durante o processo de ensino aprendizagem.



produziram na forma de relatórios das atividades. Este material foi organizado no final da etapa em uma espécie de portfólio.

A produção do portfólio já havia ocorrido no primeiro trimestre do ano letivo e fazia parte das estratégias de avaliação e do sistema de distribuição de pontos pactuado entre o professor e os estudantes. Eu reproduzi todo este material em fotocópias para que ele pudesse servir como fonte secundária de dados para a pesquisa.

Junto com as cópias das respostas e soluções dos estudantes para as diversas atividades realizadas, eu arqueei cópias da prova trimestral aplicada pelo professor, em cuja formulação eu pouco intervi. Trata-se de uma prova bastante extensa que abrangeu quase todo o conteúdo desenvolvido durante as atividades.

Para se prepararem para esta prova, os estudantes foram orientados pelo professor a utilizar os registros do portfólio com as respostas às perguntas e solicitações apresentadas nos textos das atividades. O professor também orientou os estudantes a consultar o livro texto adotado na escola, que dedica três capítulos ao tratamento do tema Luz e Visão. Assim como a maioria dos livros de ciências do ensino fundamental, este livro trata o tema de forma bem sucinta, mas propõe algumas atividades interessantes que, todavia, não foram realizadas. O livro não aborda o tema em acordo com as diretrizes que defini junto ao professor na metodologia de ensino que será discutida na próxima seção deste capítulo. Por essa razão, e por opção do professor, o livro não foi utilizado ao longo do trimestre, mas apenas como material de síntese em seu final.

Ao término do ano de 2002, um ano e meio depois de ter acompanhado e gravado as aulas de ciências da turma que até então cursava a 7ª série, eu entrevistei o professor e os estudantes que, nessa altura, finalizavam a 8ª série. Na entrevista final com os estudantes, analisada no capítulo V, eu pude avaliar se havia ocorrido alguma evolução em suas imagens de ciências e compromissos epistemológicos. Na entrevista com o professor, também analisada no capítulo V, eu obtive informações sobre o andamento dos trabalhos no período em que estive fora, bem como sobre as impressões do professor acerca das orientações didático-metodológicas que haviam sido experimentadas para promover reflexões sobre a natureza das ciências em sala de aula.



O desenho de pesquisa que eu utilizei não chega a ser um estudo longitudinal convencional. Um estudo longitudinal *stritu sensu* também atenderia minhas expectativas, quanto à validade dos dados que eu pretendia construir. Indubitavelmente, esse tipo de desenho também minimizaria as chances de que os alunos retivessem na memória fragmentos de discursos sobre as ciências que poderiam nos dar uma falsa impressão de sofisticação de suas imagens das ciências, raciocínios e compromissos epistemológicos. Entretanto, a opção por esse tipo de desenho metodológico poderia implicar em uma intervenção demasiadamente longa na prática do professor e da turma⁸. Além disso, minha própria disponibilidade era limitada já que durante todo o período em que realizei o curso de doutorado tive a necessidade de dar um número relativamente elevado de aulas para sustentar minha família.

II.3- Metodologia de ensino-aprendizagem

Inspirado no trabalho de Hennessey (1999), eu optei por caracterizar a metodologia de ensino e o ambiente de aprendizagem - que eu supunha ideal para minha pesquisa - definindo papéis e funções a serem desempenhadas pelas atividades de ensino-aprendizagem, pelo processo de avaliação, pelo professor e pelos alunos. A definição desses papéis constituía uma espécie de “contrato didático” que eu pretendia estabelecer com o professor e que eu esperava que ele estabelecesse com seus alunos.

Eu, obviamente, não tinha a expectativa ingênua de que as características idealizadas para o ambiente de aprendizagem e para a metodologia de ensino ocorreriam do modo como eu as concebi. A transformação de um contrato didático e uma prática pedagógica idealizados, em um contrato e uma prática reais, envolve todo um conjunto de negociações, permeadas pelas contradições e conflitos característicos das interações e dinâmicas próprias à sala de aula e à cultura escolar.

⁸ Na revisão bibliográfica que realizei encontrei dois estudos longitudinais muito bem estruturados, que também eram destinados a avaliar práticas pedagógicas comprometidas com o avanço das concepções dos estudantes sobre a natureza das ciências (HENNESSEY, 2000; MEYLING, 1997). Em ambos os casos, entretanto, esses estudos eram feitos pelo próprio professor que, nesse caso, também atuava como pesquisador.



Na função de observador, ainda que de um observador participante, eu sabia que não teria - como de fato não tive - o controle da condução das atividades e da configuração do ambiente de aprendizagem. Esse era um papel reservado ao professor e, assumi-lo, em nada contribuiria para que eu pudesse alcançar meu objetivo de pesquisa. Além disso, quando comecei a acompanhar as aulas, eu nem sequer conhecia com propriedade a cultura escolar da instituição na qual a pesquisa foi desenvolvida ou os ritmos e os ritos dos processos educativos que nela se desenvolviam.

Vejamos, então, quais eram os papéis idealizados para o professor, alunos e atividades de investigação ou avaliação que eu concebi como recurso para a caracterização de um ambiente de aprendizagem adequado à minha pesquisa.

O papel das atividades de ensino aprendizagem

Os ambientes de aprendizagem tradicionais não consideram o conhecimento prévio dos estudantes como ponto de partida no processo de ensino aprendizagem. Também não promovem os estudantes à condição de sujeitos. Não os estimulam a refletir sobre aquilo que estão fazendo, a dialogar com o professor, ou entre si. Desse modo, os estudantes não interferem no modo como os conteúdos são apresentados e desenvolvidos em sala de aula. Minha hipótese de trabalho era a de que esse tipo de ambiente de aprendizagem pouco dialógico e interativo não contribuiria para o desenvolvimento da capacidade crítica dos estudantes e para evolução do modo como eles entendem os processos de produção das ciências.

Eu acreditava que a mudança deste quadro e a elevação dos estudantes à condição de sujeitos do processo de ensino-aprendizagem não poderiam se restringir a eventuais mudanças na postura do professor ou nos valores e objetivos educacionais que ele atribui à escola. Além é claro de perseguir objetivos e valores voltados para a formação da autonomia moral e intelectual dos estudantes, esse tipo radical de mudança pressupõe um novo tipo de atividades de ensino-aprendizagem. Seguindo a orientação de Jiménez Aleixandre (1998) e Duschl (2001), decidi propor o desenvolvimento de atividades que pudessem ser utilizadas para criar processos de investigação, argumentação e avaliação da relação entre evidências *versus* explicações ou da relação entre modelos científicos *versus* realidade. Tais atividades deveriam contribuir para:



1. Suscitar o interesse dos estudantes em interpretar fenômenos do mundo natural-tecnológico e encorajá-los a utilizar suas próprias idéias e crenças nesse processo.
2. Construir e identificar problemas que pudessem dar origem ao planejamento de investigações e experimentos.
3. Gerar material suficiente (relatórios de investigação, redações, sínteses de discussão em grupo, painéis, cartazes, etc.) para nutrir o processo de avaliação de ensino-aprendizagem, que deveria contar com a participação, tanto de alunos, quanto do professor.
4. Caracterizar as ciências como atividade que envolve a criação de modelos do mundo natural e envolver os estudantes no desenvolvimento, avaliação e aplicação de modelos causais a situações concretas.
5. Suscitar discussões sobre: a) os propósitos do trabalho científico; b) as estratégias usadas para investigar questões de interesse das ciências; c) o processo de validação do conhecimento científico; d) o papel das idéias e das evidências na construção de explicações na ciência; e) o caráter provisório e conjectural do conhecimento científico.

As atividades, em seu conjunto, contemplaram os aspectos citados no quinto item desta lista. Em contrapartida, praticamente nenhuma atividade logrou sucesso em construir problemas que mobilizassem os estudantes para planejar e realizar investigações e experimentos de forma autônoma. Assim, o segundo papel que eu atribuí às atividades não chegou a ser plenamente cumprido. Em geral, os estudantes lidaram com as atividades como tarefas escolares.

Quanto ao terceiro papel atribuído às atividades, é preciso dizer que muitos materiais foram gerados, mas seu uso para avaliação da evolução das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências foi bastante restrito. Como eu disse na seção anterior deste capítulo, o professor solicitou que os estudantes reunissem os relatórios das atividades para a produção de portfólios. Não participei da avaliação que o professor fez desse material e, portanto, só posso falar do uso que eu pude fazer dele.

Várias atividades propunham questões cujas respostas poderiam ajudar a identificar as imagens dos estudantes sobre as ciências, bem como seus raciocínios epistemológicos. Mas, as respostas a

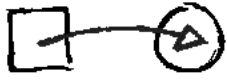


essas questões eram, em geral, curtas demais e os materiais como um todo não pareciam ter sido feitos com muito zelo e capricho pelos estudantes. O fato de que tanto eu quanto o professor protelamos a entrega desse material para o final do trimestre pode ter contribuído para que os estudantes tenham feito produções precárias. Isso não chegou a comprometer a pesquisa apresentada nesta tese para a qual o material escrito que foi produzido pelos estudantes tem papel secundário como fonte de dados.

Na seção seguinte deste capítulo terei condições de sinalizar melhor quais foram as atividades que mais contribuíram para o cumprimento do quarto item da lista de papéis atribuídos às atividades. Posso dizer que houve um sucesso parcial em envolver os estudantes no desenvolvimento, avaliação e aplicação de modelos causais a situações concretas.

Já fiz comentários sobre quatro dos cinco papéis atribuídos às atividades de ensino aprendizagem. Deixei para comentar o primeiro papel no final, pois é ele que mais está associado ao papel do processo de avaliação, que é o próximo elemento do contrato didático cuja redação eu estou utilizando para caracterizar o ambiente de aprendizagem no qual eu pretendia desenvolver a pesquisa. Além disso, considero que a importância de estimular os estudantes a utilizar seus conhecimentos prévios para interpretar os fenômenos investigados nas atividades merece um destaque especial. Afinal, é comum que os estudantes questionem a razão pela qual eles devam utilizar seus conhecimentos prévios com essa finalidade. A esse respeito eles costumam dizer coisas tais como “por que eu vou responder essa questão com as minhas palavras, se eu já sei que meu jeito de pensar está errado?”.

Para convencer os estudantes da importância da utilização de seus conhecimentos prévios é fundamental que eles percebam: 1º- que a aprendizagem é um processo mediante o qual o aprendiz modifica seu modo de entender e questionar a realidade; 2º- que tomar consciência das idéias que utilizamos para raciocinar e compreender a realidade e aprender a extrair implicações dessas idéias nos permite compreender as limitações dessas idéias e controlar o processo de busca de novas ideias e novos modos de raciocinar e compreender; 3º- que um subproduto desse processo de tomada de consciência é o desenvolvimento da capacidade metacognitiva, que está associada a várias funções intelectuais importantes, para cujo desenvolvimento a educação



escolar tem condições privilegiadas de contribuir. A metacognição é o processo mediante o qual o sujeito torna-se capaz de controlar seu comportamento e de avaliar seus conhecimentos prévios, de modo a identificar suas possíveis limitações e a necessidade de complexificar e alterar tais conhecimentos.

O papel do processo de avaliação

Há pelo menos duas razões para que eu tenha incluído, explicitamente, o papel do processo de avaliação na proposta de contrato didático que eu considere ideal para o desenvolvimento da pesquisa. Em primeiro lugar, a avaliação é um elemento fundamental em qualquer processo de ensino-aprendizagem. Certamente, não há como definir um ambiente de aprendizagem sem definir o papel da avaliação. Além disso, dada a natureza de minhas questões de pesquisa, eu acreditava que a avaliação propiciaria ótimas oportunidades para coleta de materiais que poderiam ser utilizados para a construção de dados. Esses objetivos atribuídos ao processo de avaliação me fizeram esperar que tal processo contribuísse para:

1. Trazer à tona os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema estudado, para que tais conhecimentos pudessem ser considerados pelo professor, ajudando-o a conduzir o processo de ensino-aprendizagem.
2. Propiciar aos alunos, ao professor e ao pesquisador, oportunidades para refletir sobre o processo de ensino-aprendizagem, mediante a confrontação entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os conhecimentos sobre o tema em estudo que eles lograram alcançar ao final do trimestre letivo e que podem ser considerados os produtos de seu trabalho intelectual.
3. Tornar público os critérios mediante os quais o trabalho dos estudantes seria avaliado do ponto de vista institucional. Utilizar esses critérios para valorizar as atitudes e comportamentos propostos no item “o papel do aluno” e para produzir evidências da ocorrência de tais atitudes ou comportamentos.
4. Fornecer indicadores da compreensão dos estudantes acerca: a) dos propósitos do trabalho científico; b) das estratégias usadas para investigar questões de interesse das ciências;



c) do processo de validação do conhecimento científico; d) do papel das idéias e das evidências na construção de explicações na ciência; e) do caráter provisório e conjectural do conhecimento científico.

De todas essas funções atribuídas à avaliação em sala de aula, apenas a última delas não foi devidamente contemplada. Ao todo, quatro atividades de sala de aula especificamente voltadas para a avaliação foram concebidas: 1º- um pré-teste para a identificação de conhecimentos prévios; 2º- um pós-teste que foi comparado ao pré-teste para permitir um diagnóstico dos possíveis avanços alcançados pelos estudantes ao longo do trimestre; 3º- uma atividade denominada “Avaliando modelos de Luz e Visão”, que será comentada na próxima seção deste capítulo; 4º- a prova final que o professor elaborou.

Nesta tese, as principais fontes de dados que eu utilizo para avaliar a evolução de imagens de ciências e padrões de raciocínio epistemológico dos estudantes são as entrevistas inicial e final, ambas conduzidas com duplas de estudantes fora da sala de aula. Os dados de sala de aula me serviram como fonte secundária de dados e recursos de triangulação. Isto não decorre de nenhuma discordância minha em relação às idéias defendidas no trabalho de Bell, Lederman e Abd-El-Khalick (2000) para quem a necessidade de incorporar elementos de avaliação da evolução do conhecimento epistemológico em sala de aula é um dos aspectos fundamentais de qualquer projeto pedagógico comprometido com ela. Trata-se, isso sim, de uma consequência do desenho metodológico que eu havia concebido antes de dar início à pesquisa ou de conhecer as contribuições ao tema apresentadas por Bell, Lederman e Abd-El-Khalick (ibidem).

O papel do professor

Na experiência de ensino-aprendizagem que idealizei quando concebi o desenho da pesquisa, o professor tinha um papel central. Eu esperava que ele pudesse organizar e gerenciar o ambiente de aprendizagem de tal forma a:

1. Estabelecer como uma meta da educação em ciências o desenvolvimento de habilidades de comunicação e de argumentação. Dentre as habilidades de comunicação destacam-se as capacidades de ouvir, falar, escrever e produzir representações dos processos investigados.



Dentre as habilidades de argumentação destaca-se a capacidade de fundamentar os próprios pontos de vista apresentando evidências a seu favor e explicitando idéias e conceitos utilizados para produzir e interpretar tais evidências.

2. Auxiliar os alunos a conceber ou compreender processos de modelização e teorização de fenômenos natural-tecnológicos. Ajudá-los a perceber que esse processo envolve a postulação de entidades e relações inobserváveis, bem como a utilização articulada de uma série de idéias-conceitos.
3. Caracterizar o processo de produção de conhecimentos como dependente de crenças e idéias já existentes na mente dos sujeitos.
4. Ajudar os alunos a reconhecer “dados anômalos” ou conflitos entre previsões e expectativas derivadas de seus conhecimentos prévios e os resultados das investigações realizadas em sala de aula.
5. Utilizar estratégias para avaliar quando uma idéia é inteligível, plausível e “poderosa”, do ponto de vista de sua consistência, generalidade e aplicabilidade. Tornar os estudantes conscientes da importância de que eles se apropriem desse tipo de estratégias de avaliação.
6. Conduzir o processo de avaliação aproximando-o das características definidas no item “o papel do processo de avaliação”.

Todos os seis papéis identificados nesta lista foram cumpridos pelo professor. Irei comentar dois deles em separado. O professor demonstrou muita convicção e disposição em conduzir os trabalhos de modo a contemplar o primeiro papel que eu havia idealizado. Como disse anteriormente, acredito que tal convicção e disposição sejam decorrentes de sua experiência com a educação de jovens e adultos, e não o resultado de qualquer influência que eu possa ter exercido sobre ele.

Mas o professor não chegou a explicitar o desenvolvimento de habilidades de comunicação e de argumentação como uma meta do trabalho em sala de aula. Pelo menos não no período em que eu estive a acompanhar os trabalhos em sala de aula. Nesse período e, principalmente, no início dos trabalhos, diversos estudantes demonstraram certa resistência em expor as próprias idéias e



utilizá-las para interpretar os fenômenos⁹. A resistência inicial dos estudantes não persistiu durante muito tempo, mas o comportamento adolescente típico que exhibe pouco compromisso com o ensino-aprendizagem cresceu durante o período de coleta de dados.

O quinto papel atribuído ao professor será o segundo e último a ser minuciosamente comentado. Trata-se da negociação, do compartilhamento e do desenvolvimento de compromissos epistemológicos ou valores cognitivos junto aos estudantes. Antes de relatar como esse processo ocorreu, vou discorrer um pouco mais sobre como eu o concebo atualmente. Desse modo, as críticas que farei ao que ocorreu ficarão mais claras.

O conceito de compromisso epistemológico que eu utilizava na época em que a experiência com a turma de 7ª série foi realizada era inspirado no trabalho de Posner, et al. (1982). De acordo com esses autores, os compromissos epistemológicos definem características ideais das explicações perseguidas pelo sujeito. Essas características podem variar desde as perspectivas mais ingênuas até as mais sofisticadas ou próximas dos ideais explicativos das ciências naturais. Como exemplos de perspectivas ingênuas posso citar a necessidade de atribuir finalidades aos fenômenos naturais (perspectiva teleológica), ou de sempre responsabilizar um agente causador para cada mudança observada na realidade, entendendo este agente causador como único e isolado.

As atividades que apresentaram a teoria de Newton sobre a decomposição da luz branca e a contrastaram com a teoria ondulatória de Huygens serviram de contexto para que os conceitos de inteligibilidade, plausibilidade e “poder explicativo” fossem apresentados aos estudantes e propostos como critérios para avaliar idéias.

Mas, a tentativa de negociar compromissos epistemológicos de modo formal, seguindo a estratégia de definir conceitos para fundamentar esses compromissos, não se mostrou adequada. Na época, propus alguns exercícios ao final da atividade 06 que pediam aos estudantes para utilizar os conceitos de plausibilidade e inteligibilidade na avaliação de algumas explicações. Os

⁹ Por informações que pude colher com o consultor da escola que havia facilitado minha presença naquele ambiente, as aulas de ciências nas séries anteriores não tinham as mesmas características que o novo professor começou a estabelecer no primeiro trimestre de 2001. A experiência escolar dos estudantes anterior à chegada do novo professor pode ter sido responsável por esse tipo de resistência.



estudantes consideraram os exercícios difíceis e, nas atividades seguintes, alguns deles repetiram os nomes desses conceitos com um certo tom de deboche, como que para deixar claro que eles achavam estranho ter que se referir ou avaliar idéias e explicações por meio de conceitos com nomes tão “engraçados”.

Depois que a experiência em sala de aula já havia terminado, uma reflexão sobre o processo de formação de conceitos amparada nos trabalhos de Vygotsky (1991 e 1999), Barbosa de Oliveira (1999) e Kohl de Oliveira (1999) me ofereceu uma perspectiva diferente do processo de desenvolvimento de compromissos epistemológicos. Uma releitura de Kuhn (1977) me levou ao conceito de valores cognitivos utilizado por esse autor para explicar o processo de escolha entre teorias concorrentes, a partir de uma perspectiva que articula aspectos racionais, culturais e sociais.

Pensar nos compromissos epistemológicos como expressões de valores cognitivos me levou a considerar desnecessário o desenvolvimento de estratégias especiais para promover tais compromissos em sala de aula ou a necessidade de formalizar tais compromissos com o uso de termos específicos, tais como aqueles que eu e o professor tentamos utilizar. Julgo agora que um ambiente de aprendizagem configurado de modo próximo àquele que estou caracterizando através dos diversos papéis atribuídos a professores, alunos e atividades de ensino-aprendizagem é mais que suficiente para o desenvolvimento de compromissos epistemológicos que aproximem os estudantes da cultura científica.

O papel do aluno

Irei definir o papel do aluno por meio de uma série de atitudes que eu gostaria que os alunos assumissem ao longo de sua vida escolar. Tais atitudes também podem ser interpretadas como metas do processo educacional e indicadores do crescimento intelectual dos alunos. Entendo que os alunos deveriam aprender a:

1. Formular suas idéias explicitamente apresentando-as ao debate e demonstrando preocupação com sua consistência.
2. Mudar suas idéias iniciais quando perceberem contradições e inconsistências entre elas.



3. Tomar consciência dos tipos de raciocínio que eles próprios utilizam ao desenvolver suas idéias e ao explorar as conseqüências dessas idéias em diversos contextos e situações.
4. Ouvir atentamente os colegas e o professor, tentando identificar os pressupostos das idéias que eles apresentam, bem como suas conseqüências e implicações.
5. Solicitar aos colegas e ao professor que apresentem as razões que os levam a defender certas idéias e pontos de vista.
6. Avaliar se as idéias de seus pares e do professor são inteligíveis, plausíveis e úteis, mesmo que elas difiram de suas próprias idéias.
7. Coordenar diferentes pontos de vista e modos alternativos de resolver um problema, avaliando os méritos e as conseqüências de cada perspectiva.
8. Produzir e consultar registros de sua própria produção intelectual (relatórios de investigação, redações, sínteses de discussão em grupo, painéis, cartazes, etc.) para avaliar a evolução de suas próprias idéias e formas de interpretar os temas estudados.
9. Propor problemas e questões cada vez mais específicos e profundos durante o estudo de um tema de interesse, preocupando-se com a precisão da linguagem e com a clareza e a consistências das idéias.

II.4- Descrição sumária das atividades usadas para ensinar-aprender sobre as ciências

Nesta seção farei uma breve descrição das atividades usadas com a turma de 7^a série. Meu objetivo é assinalar as estratégias por meio das quais essas atividades pretendiam promover a evolução do saber dos estudantes sobre as ciências. De modo geral, as atividades pretendiam criar contextos significativos para a discussão de questões e aspectos relacionados à natureza da atividade científica, bem como para a explicitação dos raciocínios e compromissos epistemológicos dos estudantes.



Do que foi combinado previamente com o professor, apenas o tema “Luz e Visão” chegou a ser desenvolvido. O tema “Ondas e Sons”, também previsto no programa e contemplado no livro texto adotado pela escola, não foi trabalhado. De um total de 22 atividades produzidas e encaminhadas para a análise do professor, apenas 17 chegaram a ser usadas, em função da necessidade de circunscrever o desenvolvimento do tema Luz e Visão ao período de um trimestre letivo. Além desta restrição, algumas das atividades originais sofreram alterações.

A primeira versão das atividades encaminhadas ao professor continha uma série de comentários com sugestões para a realização de discussões que contemplavam os cinco aspectos da natureza das ciências apresentados no diagrama I.1.

Em sua grande maioria, as atividades foram efetivas em suscitar o interesse dos alunos em interpretar os fenômenos luminosos que constavam no plano de ensino do professor e no livro didático adotado na escola. Apesar disso, notei certa apatia e desinteresse entre os estudantes, que parece ter se transformado em indisciplina e agitação crescentes à medida que o trimestre foi avançando. Isso não esmoreceu o professor, que exerceu de forma vigilante e consistente o papel de encorajar os estudantes a utilizar suas próprias idéias e crenças nas análises propostas pelas atividades. O esforço do professor, entretanto, não obteve sucesso no sentido de controlar a indisciplina. Os estudantes, por sua vez, não se dispuseram a apresentar alternativas ou mesmo críticas à condução dos trabalhos, nas diversas vezes em que o professor interrompeu a aula para fazer este tipo de solicitação.

Uma diferença importante entre o que eu havia imaginado quando concebi as atividades e a maneira como elas acabaram sendo utilizadas, diz respeito à orientação proposta por Duschl (2001) de estruturar as atividades para criar fóruns de investigação, argumentação e avaliação da relação entre evidências *versus* explicações e modelos *versus* realidade. O objetivo de avaliar essas relações parece ter sido parcialmente alcançado, mas as atividades não seguiram a dinâmica de investigação em grupos acompanhadas de apresentações dos trabalhos conduzidos em cada grupo e “grandes debates” e discussões dos grupos entre si.



No lugar destes debates, o que se ouviu foi a voz do professor, que conduzia as discussões e sugeria as conclusões. Essa mudança de perspectiva deve ser atribuída não apenas ao estilo do professor e ao tipo de trabalho que ele já realizava com os alunos antes da nossa intervenção, mas também às próprias atividades que, para aquela turma de alunos, não suscitaram problemas suficientemente autênticos capazes de alimentar os “fóruns” de discussão. De acordo com o relato do professor, que usou as mesmas atividades na turma da manhã, o envolvimento limitado da turma da tarde, cujo trabalho eu acompanhei, deveu-se também a características da própria turma. Segundo ele o envolvimento da turma da manhã foi bem maior.

Há ainda uma outra característica importante a mencionar na forma como o professor conduziu as atividades em sala. O material complementar que entreguei a ele foi concebido para dar esclarecimentos quanto às questões epistemológicas de fundo que inspiraram cada atividade. No texto das próprias atividades, apenas os objetivos e questões estritamente ligadas à aprendizagem das idéias das ciências encontravam-se, sistematicamente, explicitadas. Algumas atividades propunham diretamente questões de natureza epistemológica, mas a maioria delas mantinha essas questões implícitas. O professor sempre iniciava as atividades fazendo a leitura do texto onde eram propostos os problemas a serem enfrentados e as investigações a serem realizadas. A compreensão dos estudantes em relação ao que devia ser realizado e o que estava sendo investigado em cada atividade demonstrou-se plenamente satisfatória, mas pode ter se mantido restrita, em alguns casos, ao foco no “aprender as idéias da ciência”, dado que não houve explicitação sistemática dos objetivos associados ao “aprender sobre ciências”.

Todas as atividades produzidas e utilizadas foram inspiradas na *Metodologia de Modelização*. Este é um termo derivado da expressão em inglês *Model Based Teaching Learning* que é discutida nos trabalhos de Clement (1989) e outros autores como Hestenes (1996), Arnold e Millar (1996), Raghavan e Glaser (1995). Além da minha convicção no valor pedagógico desta orientação para a educação em ciências, eu acreditava que ela também poderia facilitar a caracterização da ciência como uma atividade fundamentada na imaginação e na criatividade, elementos essenciais para aqueles que se dedicam à produção de modelos do mundo natural.

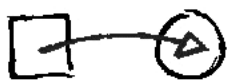


Diversas atividades traziam solicitações tais como *Faça a experiência e tente explicar o que você observou* ou (...) *faça desenhos e esquemas para desenvolver seu raciocínio*. Em algumas ocasiões, os estudantes recebiam como solicitação algo do tipo: *Junto a seu grupo, crie uma teoria para tentar explicar como a luz branca que atinge o papel celofane pode produzir uma sombra azul sobre o chão*¹⁰. Em outras atividades, ainda, os termos “modelo” e “teoria” foram atribuídos a idéias e explicações produzidas ao longo da história da ciência. Este é o caso das atividades que trataram do modelo de partículas concebido por Isaac Newton para explicar a reflexão, a refração e a dispersão da luz. Por fim, as atividades 16 e 17 apresentavam uma síntese dos conceitos de modelo e modelização utilizando-os para caracterizar a ciência como uma atividade criativa, imaginativa e conjectural.

Em geral, as atividades não propuseram diretamente discussões sobre os propósitos do trabalho científico. A única que colocou esta questão diretamente em pauta foi a atividade de abertura. Nela, afirmei que o estudo da luz e visão sempre foi um tema de interesse das ciências e pedi aos alunos para apresentarem sua opinião sobre as possíveis razões desse interesse, sobre os aspectos do problema que mais interessariam aos cientistas e sobre a possibilidade de haver questões acerca da luz e da visão que não seriam de interesse ou que não poderiam ser tratadas de forma científica. As respostas da maioria dos estudantes para esta questão foram vagas e a questão também não foi enfatizada na discussão coletiva da atividade conduzida pelo professor.

Apesar das atividades não terem investido em uma discussão aberta sobre os propósitos das ciências, acredito que o estímulo permanente para que os estudantes produzissem explicações ou modelos, e as oportunidades em que se discutiu o processo de produção de teorias e modelos nas ciências contribuíram para caracterizar a busca por explicar e compreender os fenômenos naturais como o propósito elementar das ciências. Entretanto, isso certamente não representou algo novo para os estudantes, já que eles demonstraram possuir, basicamente, essa imagem dos propósitos da ciência, como ficou demonstrado na entrevista inicial que realizei com eles e cujos resultados serão apresentados no capítulo IV.

¹⁰ Extraído da atividade 04.



Em relação à discussão sobre os propósitos das ciências é importante dizer que não houve investimentos consistentes para associar o objetivo elementar de explicar e compreender os fenômenos naturais a outros propósitos e metas que podem ser atribuídas às ciências quando se aprofunda a reflexão acerca das relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

No que diz respeito à reflexão sobre as relações ciência-tecnologia-sociedade, a atividade 11 suscitou um pequeno movimento, ainda que bastante incipiente. Esta atividade pretendia promover uma discussão sobre os problemas éticos associados à pesquisa científica. Mais especificamente, ela levantava questões sobre os problemas decorrentes do uso de animais como cobaias e sobre a legitimidade da intervenção da sociedade no processo de produção do conhecimento científico.

Os alunos não se envolveram muito com essa atividade durante a discussão coletiva conduzida pelo professor. Além disso, a discussão fugiu ao que estava previsto no roteiro e se limitou a alguns aspectos éticos da pesquisa sobre a clonagem, tema não mencionado na atividade, mas muito discutido pela mídia da época. Nas respostas que os estudantes produziram por escrito sobre as questões originais do roteiro, notei uma grande variação no modo de compreender o tipo de reflexão solicitada pela atividade e uma opinião majoritária, mas não unânime, sobre a necessidade de controle social do processo de produção do conhecimento científico.

Também relacionada à discussão sobre os propósitos das ciências, a atividade 05 foi concebida com o objetivo de caracterizar a ciência como um empreendimento social. Esta discussão foi promovida através de leituras que narraram um pouco da história dos estudos sobre a luz e, particularmente, do estudo das cores e da dispersão da luz branca no arco-íris. A discussão gerada a partir destas leituras foi bastante rica e proveitosa e está registrada em vídeo à espera de uma análise mais cuidadosa de minha parte. Um artigo com a análise desta atividade está em gestação, mas seu conteúdo não foi incluído nesta tese. Os filtros que eu utilizei para definir quais seriam os dados produzidos na pesquisa a serem apresentados nesta tese são o tema da próxima seção deste capítulo, denominada *Estratégias de Análise e Validação dos Dados*.



De todas as 17 atividades utilizadas, apenas as atividades 05 e 11 faziam referência explícita à história da ciência. Mas, o modo como eu concebo as estratégias de tratamento de questões epistemológicas em sala de aula não se limita a referências explícitas à história da ciência. A maneira mais comum de interpretar o eixo epistemológico do currículo defendido por Ogborn (1988), subsumido à questão “Como sabemos o que sabemos?”, está ligada ao uso de relatos da história das ciências, como foi feito nas atividades 05 e 11. Mas, eu também associo o eixo epistemológico do currículo proposto por Ogborn (ibidem) à pergunta “por que acreditamos no que acreditamos?”. É essa segunda pergunta que inspirou todas as atividades que concebi. Tais atividades apresentaram modelos e teorias construídos pelas ciências, solicitaram aos estudantes que participassem da produção de modelos e explicações, e procuraram discutir criticamente a relação entre modelos, teorias e as evidências que os sustentam.

Uma atividade que se diferenciou das outras em termos do tipo de abordagem epistemológica da relação teoria e evidência foi a atividade de número 07. Essa atividade foi estruturada a partir de uma questão inspirada na dissensão entre Robert Hooke e Isaac Newton acerca de qual é a origem das cores que surgem quando a luz branca atravessa o arco-íris. Tal dissensão havia sido mencionada no texto da atividade 05 e foi apresentada como um dos elementos da disputa entre as teorias destes grandes e renomados cientistas. Outro elemento da disputa mencionado no texto dizia respeito às diferentes concepções sobre a natureza da luz. Enquanto Hooke e Huygens afirmavam que a luz era constituída por ondas, a teoria de Newton estruturava-se a partir da idéia de que a luz era constituída por minúsculas partículas.

O texto estudado na atividade 05 havia sido concluído com a afirmação de que não era possível à época escolher entre as interpretações corpuscular e ondulatória da natureza da luz, visto que tanto a teoria de Newton, quanto a teoria de Huygens permitiam explicar satisfatoriamente grande parte dos fenômenos luminosos conhecidos. A atividade 07, denominada *Misturas de Luzes Coloridas*, estabelecia um cenário diferente e propunha a superioridade das idéias de Newton acerca da decomposição da luz branca sobre o ponto de vista apresentado por Hooke. Alguns experimentos foram realizados e discutidos para afirmar tal superioridade. Esses experimentos apresentam resultados inconsistentes com a idéia de Hooke, de que é o prisma que “acrescenta”



as cores à luz branca. Essa idéia, por sinal, fazia parte dos conhecimentos prévios da maioria dos estudantes.

A leitura que se segue aos experimentos desta atividade levanta uma questão também derivada dos resultados dos experimentos, mas que não pode ser respondida através deles. A intenção dessa leitura era a de atribuir um papel ambíguo ao processo de experimentação nas ciências naturais: ao mesmo tempo em que os experimentos podem ser conclusivos, no que diz respeito à questão inicial a partir da qual eles foram formulados, eles também podem suscitar novas questões que ficam sem respostas. Em outras palavras, a idéia era afirmar que os experimentos científicos produzem, muitas vezes, um misto de conhecimento e ignorância. O texto síntese da atividade utilizava esta condição ambígua e contraditória dos experimentos científicos para afirmar que “ciência é devir” sem, todavia, utilizar esta expressão. Nas palavras do texto: *as ciências vivem um interminável ciclo constituído por perguntas ⇒ respostas ⇒ conhecimento ⇒ ignorância ⇒ novas perguntas ⇒ novas respostas ⇒ nova ignorância.*

Na continuidade da leitura, a afirmação contida na citação anterior é utilizada para se distinguir dois tipos de fontes de onde surgem as questões que interessam aos cientistas: (a) uma externa e que tem origem em necessidades sociais e culturais que marcam um determinado tempo histórico; (b) outra interna e que tem origem nas próprias investigações da ciência, quando novos conhecimentos são acompanhados por um novo sentimento de ignorância. O texto, então, é encerrado com a apresentação de informações sobre a questão que havia sido levantada e não respondida pelos experimentos realizados na atividade. Estas informações, por sua vez, apontam para a convergência de várias áreas da ciência. Tal convergência, ainda de acordo com o texto, permitiria o tratamento de questões que extrapolam o escopo de uma única área de investigação científica.

Comentarei agora as atividades concebidas para avaliar a aprendizagem dos estudantes em relação às idéias produzidas pelas ciências para interpretar os fenômenos luminosos. A concepção de atividades de avaliação deste tipo fazia parte do meu entendimento de que na educação em ciências não se pode pretender promover a **aprendizagem sobre as ciências** descolada da **aprendizagem das idéias das ciências**.



Além da prova final concebida pelo professor, duas outras atividades importantes de avaliação ocorreram no final da etapa. A primeira era o pós-teste que retomou as situações e questões propostas na atividade de abertura. A segunda oferecia aos estudantes quatro diferentes modelos de luz e visão para serem avaliados e confrontados, de modo a se identificar o modelo mais adequado às evidências e fatos que haviam sido construídos ao longo do trimestre letivo.

Nesta última atividade, após escolher um determinado modelo, os alunos eram solicitados a argumentar a seu favor e, ao mesmo tempo, argumentar contra os modelos preteridos. Esta avaliação foi realizada antes que o “modelo científico” - unanimemente escolhido pelos alunos como mais adequado - houvesse sido discutido em sala de aula e formalizado pelo professor. Assim, a atividade nos deu garantias suficientes de que os alunos haviam conseguido alcançar o que a ciência escolar geralmente estipula como compreensão do modelo de luz e visão. Nesse modelo, a luz é entendida como uma entidade que se propaga em linha reta em meios homogêneos, desde o lugar em que é produzida, até os objetos nos quais é parcialmente refletida. Ao ser refletida, a luz, então, dirige-se aos olhos de quem fita os objetos e estimula suas retinas, que enviam os impulsos nervosos até o cérebro dos observadores onde, finalmente, produz-se a sensação visual.

A eficácia dessa atividade de avaliação se contrapôs à relativa ineficácia da atividade de pós-teste que pretendia propiciar aos alunos, ao professor e ao pesquisador, a oportunidade de confrontar o entendimento que eles haviam logrado alcançar sobre o tema luz e visão com seus conhecimentos prévios expressos no pré-teste. É possível que as questões propostas no pós-teste tenham sido consideradas um tanto vagas pelos estudantes, de modo que a comparação entre pré-teste e pós-teste não foi muito produtiva.

Na prova realizada no final da etapa, os alunos foram solicitados a fornecer explicações, justificativas, argumentos e a apresentar evidências que sustentassem suas respostas e afirmações. Em alguns casos, as questões orientavam os estudantes a fazer uso de desenhos e diagramas para produzir respostas e justificativas. Essas eram, exatamente, as mesmas orientações encontradas em todas as atividades, mas o desempenho dos estudantes, em geral, não foi satisfatório. Alguns deles demonstraram-se frustrados com isso.



Apenas uma dentre as oito questões desta prova abordou uma situação que não havia sido discutida em sala de aula. Ela solicitava a interpretação dos resultados de uma experiência envolvendo a absorção de luz por plantas verdes dentro e fora de garrafas verdes ou transparentes. A questão produziu uma grande gama de diferentes respostas com idéias e “teorias” diferentes para explicar os mesmos resultados. Essa diversidade poderia ter oferecido um material bem rico para suscitar reflexões de natureza epistemológica. Exemplos de algumas discussões que poderiam ter sido realizadas com os estudantes são: Afinal, como um mesmo fenômeno pode ser explicado por “teorias” diferentes? Como escolher uma dentre estas diversas “teorias”?

Apesar de interessantes, essas questões não foram exploradas. O segundo trimestre havia chegado ao final. Outros conteúdos precisavam ser trabalhados e eu havia chegado ao final de minha estadia. Minha intenção em mencionar discussões que não foram realizadas, mas poderiam ter sido utilizadas para provocar reflexões sobre a natureza do processo de produção do conhecimento é a de mostrar que há realmente um conjunto diversificado de alternativas e ocasiões que podem ser criadas e aproveitadas por um professor adequadamente preparado e especificamente interessado em promover reflexões desta espécie.

II.5- Estratégias de análise e validação dos dados

A pesquisa relatada nesta tese se insere no quadro geral das pesquisas de cunho qualitativo e interpretativo, bem como propõe questões cujas respostas devem ser construídas no espaço multidimensional e extremamente complexo da sala de aula. Atualmente, dispomos de uma literatura bastante consistente que tem abordado o problema da validade das conclusões propostas por pesquisas qualitativas. Em linhas gerais, essa literatura concentra seus esforços na definição de um determinado conjunto de cuidados metodológicos essenciais (ALTHEIDE e JOHNSON, 1994; BECKER, 1993; COHEN e MANION, 1980; ERICKSON, 1995; GUBA, 1978; LECOMPTE e GOETZ, 1982; RIST, 1977).



No desenvolvimento da pesquisa procurei estar bastante atento às recomendações encontradas nesta bibliografia e tenho a intenção de que o conjunto dos dados e discussões apresentados nesta tese seja avaliado sob a luz dos cuidados que tal bibliografia preconiza.

Mesmo tendo privilegiado as transcrições das entrevistas inicial e final, o fato de eu dispor do registro da experiência conduzida em sala de aula, me permitiu superar as limitações das pesquisas baseadas no uso exclusivo de questionários e entrevistas. Meyling (1997, p. 397) aponta algumas dessas limitações ao nos dizer que:

As hipóteses seguintes formuladas sobre as concepções dos estudantes estão limitadas pela base empírica: eu investiguei as crenças epistemológicas dos estudantes baseando-me em afirmações verbais e resultados de testes, mas não em sua atividade prática no laboratório. Eu tenho razões para acreditar que existem, às vezes, grandes diferenças entre afirmações verbais e a atividade prática, por exemplo, na alternativa dedução e indução.

Uma pesquisa completamente dependente de dados construídos através de entrevistas me impediria de predicar sobre os desafios que se interpõem à meta de promover a evolução das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências. Farei isso no capítulo de conclusão, pois, acredito que sem predicar sobre essa questão seria difícil propor mudanças no currículo de ciências naturais da educação básica para que as disciplinas que compõem essa área do conhecimento escolar venham a se tornar um instrumento para a compreensão da atividade científica.

As fitas de áudio e vídeo que registraram a experiência conduzida em sala de aula, bem como as fitas de áudio com o registro da entrevista inicial com os estudantes e da entrevista final feita com os mesmos estudantes e com o professor, geraram uma quantidade muito grande de material empírico. Trabalhando sozinho, o tratamento de todo esse material se tornou um grande desafio. A riqueza do material tornou-se um elemento de dispersão, mas a assistência de meu orientador ajudou-me a manter o foco sobre as questões originais de meu projeto de pesquisa. A atenção seletiva a essas questões constituiu um poderoso filtro que me permitiu superar a tendência à dispersão.



Eu transcrevi tanto a entrevista inicial com os estudantes, quanto as entrevistas finais com os estudantes e com o professor. Essas transcrições foram lidas por diversas vezes até que a emergência de categorias de análise me permitisse construir os dados que eu exponho nos capítulos IV e V. Além das transcrições das entrevistas, a experiência conduzida em sala de aula me permitiu obter mais de 30 horas de gravação em vídeo. Todas as fitas de vídeo foram assistidas e eu produzi relatórios bastante gerais sobre seu conteúdo e algumas anotações sobre algumas passagens que eu considerei particularmente interessantes.

Os dados gerados na análise das fitas não serão citados no corpo desta tese. As entrevistas inicial e final constituíram a base do processo de análise. Mas, a análise dessas entrevistas me levou a refletir sobre momentos específicos dentro da enorme massa de material obtido com as gravações em vídeo e as respostas dadas pelos estudantes às atividades no material reunido nos portfólios. Juntos, esses materiais permitiram caracterizar as imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências e encontrar evidências de evoluções dessas imagens no período de um ano e meio que separou as entrevistas inicial e final.

As estratégias de triangulação de dados que utilizei podem ser denominadas como triangulação no tempo, triangulação teórica e triangulação metodológica (COHEN e MANION, 1980). A triangulação no tempo exige uma extensão no tempo dedicado ao trabalho de campo e reflete a tentativa de identificar e analisar fatores que mudam e fatores que permanecem nos processos investigados. É o tipo de triangulação que justifica minha escolha por realizar as entrevistas inicial e final distanciadas por um período de um ano e meio, bem como minha preocupação em obter dados com o professor da turma e com os próprios estudantes sobre o período em que eu estive distante.

A triangulação teórica reflete o esforço em coordenar diferentes referenciais teóricos. No caso do trabalho aqui relatado, esse tipo de triangulação produziu um esforço em coordenar contribuições da epistemologia, da pesquisa em educação e da psicologia da aprendizagem, na tentativa de lidar com a complexidade e a multidimensionalidade do objeto de estudo definido em meu projeto de pesquisa.



A triangulação metodológica, por sua vez, reflete a tentativa de utilização de diferentes métodos em um mesmo objeto de estudo. Esse último tipo de triangulação está representado em meu trabalho pela diversidade de instrumentos de pesquisa e dos registros dos quais pude lançar mão no momento de construir os dados.

Considereei impraticável utilizar os outros dois tipos de triangulação descritos por Cohen e Manion (ibidem). Esse é o caso da triangulação espacial que, segundo os autores, reflete a tentativa de superar o paroquialismo dos estudos que são conduzidos dentro de uma mesma subcultura. Aplicado a minha pesquisa, esse tipo de triangulação exigiria a condução de investigações em diferentes salas de aula e em diferentes escolas, um cuidado essencial para minimizar influências fortemente associadas a possíveis especificidades da escola e do grupo de alunos que eu pesquisei. Embora seja totalmente pertinente ao objeto da pesquisa, eu não dispunha de recursos e de disponibilidade para adotar esse tipo de triangulação.

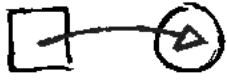
Toda pesquisa é feita a partir de escolhas que levam em consideração as condições concretas de sua realização. Em meu caso, as condições concretas, associadas ao desejo de viver com mais intensidade uma experiência que eu nunca tinha vivido, determinaram a escolha por um desenho metodológico que apontou para uma verticalização e um aprofundamento da análise dos dados, mesmo que tal análise permanecesse limitada a um contexto “paroquial”. Isso, obviamente, impõe cuidados à elaboração das conclusões e à publicação dos resultados da pesquisa, e eu procurei manter-me fiel a esses cuidados.

O outro tipo de triangulação proposto por Cohen e Manion (ibidem) foi considerado impraticável por razões bem distintas. Trata-se da triangulação entre pesquisadores, na qual dois ou mais investigadores estão engajados em uma mesma pesquisa. Nesse caso, o problema é a inadequação deste tipo de triangulação a uma pesquisa inserida em um processo de formação, que tem como um resultado possível, a concessão do título de doutor ao seu principal responsável. Essa restrição, todavia, não afasta de minha pesquisa “o olhar do outro”.

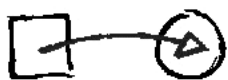
Como se percebe pela análise do problema e das questões de pesquisa, o professor não é o sujeito da pesquisa. Os sujeitos da pesquisa são os estudantes e o foco da pesquisa recai sobre o próprio processo de ensino-aprendizagem em que eles, eu e o professor estivemos inseridos. Isso coloca o



professor na condição de um interlocutor privilegiado. Além do professor, pude contar, obviamente com as inestimáveis contribuições de meu orientador e de alguns outros interlocutores que assistiram ou leram alguns artigos que produzi durante o processo de redação da tese. Sendo assim, embora não tenha havido efetivamente uma “triangulação entre pesquisadores”, o “olhar do outro” é um elemento inequivocamente presente em meu trabalho.



Capítulo III- A natureza das ciências



Na introdução desta tese, afirmei que o problema que gerou minha pesquisa foi a necessidade de buscar subsídios teóricos e empíricos capazes de orientar mudanças na educação básica para que ela possa se tornar um instrumento para a compreensão da atividade científica.

No que diz respeito aos subsídios teóricos, afirmei a necessidade de construir critérios ou parâmetros para coordenar, nesse nível de ensino, a compreensão do conteúdo das idéias das ciências e dos processos de produção ou validação do conhecimento científico. Disse, ainda, que essa tarefa envolvia alguns desafios, tais como o de se evitar reducionismos e mistificações dos processos das ciências.

Neste capítulo, dou um primeiro passo nessa direção, ao apresentar um conjunto de diretrizes e modos de caracterizar a natureza das ciências. Acredito que esse primeiro passo é essencial, pois, não há como contribuir para o aumento da compreensão da atividade científica no ambiente escolar sem definir que aspectos das ciências devem ser discutidos e qual é o tipo de conhecimento epistemológico que se pretende promover.

Quase todo o texto deste capítulo está concentrado em uma discussão de cunho mais epistemológico e sociológico da atividade científica. Farei, portanto, apenas tímidas contribuições para uma reflexão acerca de estratégias que, segundo meu ponto de vista, são capazes de promover reflexões sobre a natureza das ciências na educação básica. Essas contribuições serão apresentadas por meio dos quadros III.1 a III.8.

Ao discorrer, por exemplo, sobre o que significa aprender ciências, tendo em mente que as ciências pressupõem múltiplas estratégias, apresento algumas diretrizes didático-metodológicas para a educação em ciências. No item aprender a fazer ciências teço breves especulações sobre os desdobramentos da compreensão deste aspecto da atividade científica para a vida escolar e extra-escolar dos estudantes, pois, parto do princípio de que os saberes construídos na escola não podem ter a própria escola, única e exclusivamente, como geradora de contextos nos quais esses saberes apresentam-se como úteis e significativos.

Um posicionamento mais elaborado das contribuições que posso fornecer, hoje, sobre a questão das estratégias destinadas a sofisticar o conhecimento epistemológico dos estudantes, só será



realizado no capítulo de conclusão, após terem sido encerrados os capítulos destinados à apresentação e à análise dos dados da minha pesquisa empírica.

III.1- Existe essa tal “natureza das ciências”?

Minha pesquisa não teria nenhum sentido se eu não acreditasse na possibilidade de atribuir uma “natureza” às ciências. O título desta seção, portanto, é apenas uma provocação e insinua a existência de controvérsias sobre qual seria a natureza das ciências. É extremamente importante compreender a diferença entre afirmar que não há consenso sobre qual é a natureza das ciências e dizer que a ciência não possui características que a distinguem de outros empreendimentos intelectuais humanos.

Posso afirmar, logo de saída, minha descrença em relação à posição defendida por pensadores relativistas radicais, que insistem na ausência de critérios para distinguir ciência e não-ciência, ignorando até o critério básico ou “supremo” que é o lugar ou a função social das ciências. As ciências são formas especiais de um empreendimento que se distingue de outros empreendimentos humanos, embora certamente se relacionem com eles sob vários pontos de vista.

Se, por um lado, a apresentação e a defesa de um conjunto de imagens das ciências é algo imprescindível em uma tese que discute a necessidade de incluir reflexões sobre a natureza das ciências como conteúdo da educação escolar básica, também é verdade que não é fácil capturar ou atribuir uma “natureza” às ciências. A este respeito, Bachelard (1993) nos diz que a ciência não tem uma natureza estática, mas uma história e um “espírito” que se distingue do “espírito comum” no sentido da especialização, da autocrítica, da consciência dos sistemas conceituais que utiliza e da exacerbação da racionalidade. Feyrabend (1979, p. 265), por outro lado, vai dizer que a dificuldade de caracterização das ciências liga-se, antes de tudo, *à sua própria complexidade, ao fato de que ela tem aspectos distintos, e de que não pode ser prontamente separada do resto da história.*

Sendo a natureza das ciências algo difícil de “capturar”, quem estaria mais apto para tentar realizar esta tarefa? Os sociólogos? Os historiadores? Os filósofos? Além dos atores já



mencionados, sabe-se que professores, jornalistas e até o grande público fala sobre as ciências. Mas, com que autoridade?

Latour e Woolgar (1997) fazem uma pergunta semelhante a essa ao se proporem a estudar o processo de produção das ciências e não as ciências já sancionadas. Esse não é o projeto dos filósofos e epistemólogos e, geralmente, eles não estão capacitados a falar da ciência conhecendo-a em detalhe ou em primeira mão.

A aparente falta de autoridade de não cientistas para falar, com propriedade, sobre a atividade científica conduz a uma situação perturbadora, bem caracterizada por Latour e Woolgar (ibidem, p. 25) quando eles imaginam o que aconteceria se os políticos ou economistas dissessem que ninguém além dos membros de suas próprias comunidades de especialistas estariam autorizados a falar de política ou de economia. Em relação às ciências naturais, contudo, é isso o que aparentemente acontece:

Os próprios cientistas fazem suas ciências, seus discursos sobre a ciência, sua ética da ciência, suas políticas da ciência e, quando são de esquerda, suas críticas e autocríticas da ciência. Os outros ouvem. O ideal político e epistemológico é que não haja uma palavra da metalinguagem da ciência que não seja tomada dos próprios cientistas.

Decididos a postular sua própria autoridade para caracterizar o trabalho dos cientistas, esses autores buscam legitimar o discurso que eles produzem sobre as ciências expondo todos os cuidados metodológicos utilizados na pesquisa etnográfica que eles desenvolveram. Eu, por outro lado, utilizo uma estratégia diferente para reivindicar o direito de propor uma caracterização da atividade científica. A idéia aqui é a de promover um diálogo entre diversos autores que procuraram nos oferecer uma caracterização da atividade científica dentro da perspectiva pós-positivista que prevaleceu a partir da segunda metade do século XX.

A falta de consenso acerca da natureza das ciências entre os autores que consultei não me impede de dialogar com suas diferenças de opinião ou acusar semelhanças entre suas imagens das ciências. É desse diálogo que surgiram as idéias esquematizadas no diagrama III.1-A. A ideologia das ciências que pretendo desenvolver com o auxílio deste diagrama não estará, obviamente, a salvo de controvérsias. Mas, qual é a metaciência que pode pretender alcançar esta condição?

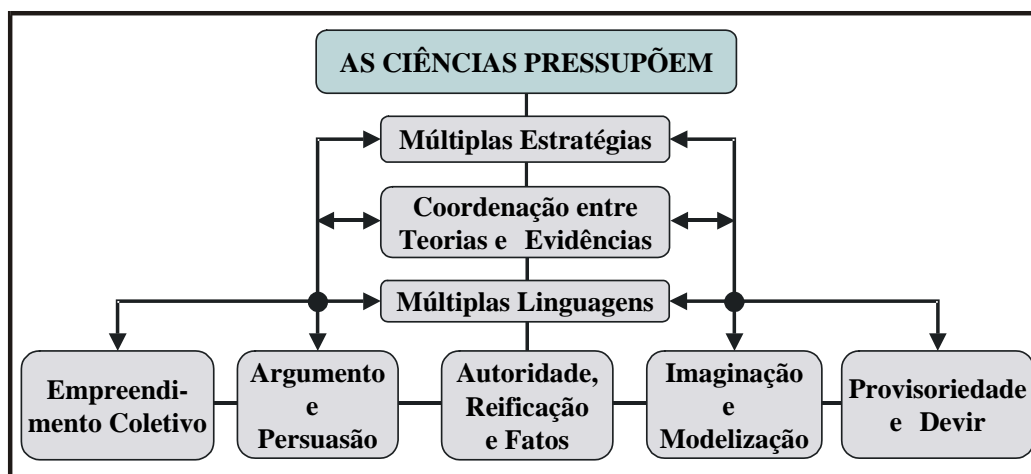


Diagrama III.1-A

Sendo dimensões de uma mesma entidade, todos os elementos presentes no diagrama III.1-A estão relacionados uns com os outros. Assim, por exemplo, as **linguagens** e as **estratégias** das ciências podem ser entendidas como instrumentos para **coordenar teorias e evidências** e fornecer os fundamentos dos processos de **modelização** dos fenômenos naturais, dentro do marco dos valores e compromissos epistemológicos vigentes no interior de comunidades de especialistas, envolvidas em determinados **empreendimentos coletivos**. No interior dessas comunidades ocorrem os processos de **argumentação e persuasão** que levam à **reificação dos fatos** e das teorias que os sustentam. Tanto as estratégias e métodos utilizados nesses processos, quanto seus produtos, exibem a condição de **provisoriedade** que pode levar à relativização e até mesmo à desvalorização de conhecimentos, que antes haviam alcançado o *status* de fatos ou “verdades científicas”.

Os elementos do diagrama representam **características simultaneamente necessárias** a qualquer ciência natural. A retirada de qualquer um deles do diagrama empobrece profundamente qualquer imagem das ciências que possamos vir a constituir. Não direi, a princípio, que essas dimensões representam um conjunto **suficiente** de características. Outros autores podem reivindicar a inclusão de dimensões ou aspectos que não estão explicitamente mencionadas no diagrama, embora seja provável que eles os percebam contemplados na discussão que farei ao caracterizar melhor cada um deles. A função do diagrama é mediar a interação do leitor desta tese com o texto



deste capítulo, no sentido de criar expectativas que serão possivelmente confirmadas ou confrontadas durante a leitura.

Há, obviamente, outras maneiras geométricas de dispor os itens que aparecem no diagrama. A dimensão *Empreendimento Coletivo*, por exemplo, poderia aparecer no topo do diagrama. Afinal, os propósitos ou metas das ciências, que estão associados a essa dimensão, constituem para Chalmers (1995) a característica definidora e o principal critério de demarcação entre ciências e não ciências. O diagrama, entretanto, não deve ser confundido com um fluxograma. Ele não apresenta níveis hierárquicos, mas apenas como um conjunto de elementos que se inter-relacionam.

O último esforço que farei antes de dar início às seções nas quais discutirei separadamente cada dimensão atribuída à natureza das ciências pelo diagrama III.1-A, será o de colocar essas dimensões em comunicação com os cinco aspectos da natureza das ciências abordados nos materiais de ensino concebidos para subsidiar o aprender sobre as ciências na experiência de ensino-aprendizagem que constituiu a parte empírica de minha pesquisa. A inclusão destes cinco aspectos resulta em uma fusão entre os diagramas I.1 e III.1-A, da qual surge o diagrama a seguir.

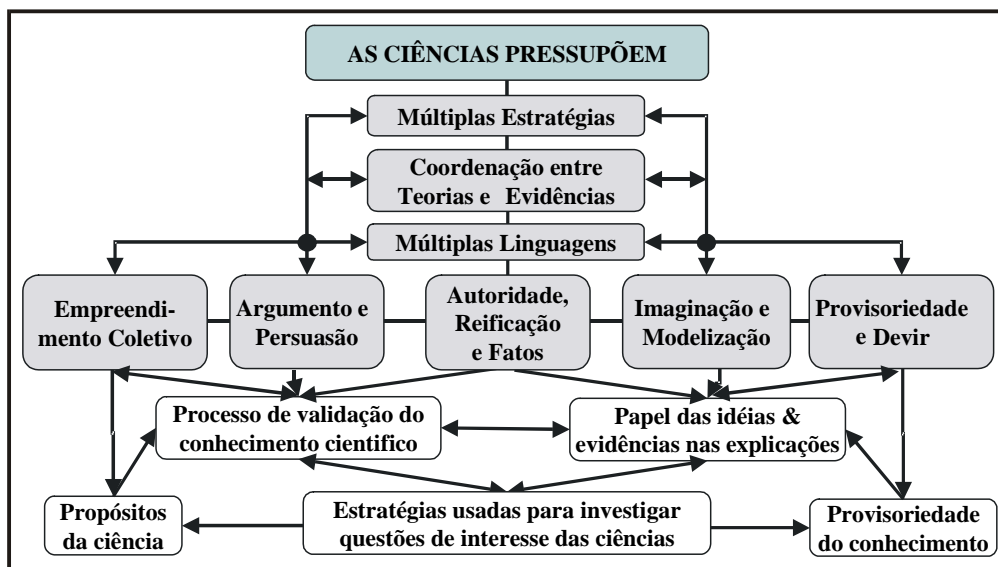
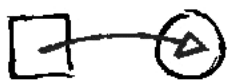


Diagrama III.1-B

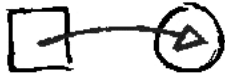


É importante frisar que os diagramas III.1-A e III.1-B sintetizam o início de uma resposta ao meu problema de pesquisa, isto é, o início de uma caracterização e defesa do tipo de **conhecimento sobre as ciências** que, em minha opinião, deve constituir o currículo de ciências naturais na educação básica.

As oito dimensões da natureza das ciências extraídas do diagrama III.1-A e os cinco aspectos originários do diagrama I-1 têm estreitas relações entre si. A dimensão *Provisoriedade e Devir* é, obviamente, equivalente ao aspecto *Provisoriedade do Conhecimento*. A dimensão denominada *Coordenação entre Teorias e Evidências* está diretamente associada aos aspectos *Estratégias usadas para investigar questões de interesse das ciências*, *Papel das idéias e evidências nas explicações* e *Processo de validação do conhecimento científico*. Este último item, por sua vez, também está associado à dimensão *Argumento e Persuasão*, e assim por diante.

Ao apresentar o diagrama III.1-A eu o descrevi como resultado de um diálogo entre diversos autores que se propuseram a investigar ou a refletir sobre a natureza da atividade científica, tendo explicitado o fato de que dialoguei apenas com autores afinados com uma caracterização pós-positivista das ciências. É legítimo, então, perguntar: como tal caracterização se situa dentro da tensão existente entre a tendência à descrição ou à prescrição? Em outras palavras, até que ponto eu estarei descrevendo a atividade científica ou construindo uma imagem deformada para atingir os objetivos educacionais que dirigem meu esforço nessa tese?

Como nos lembra Kuhn (1979b), em resposta a uma crítica dirigida a ele por Feysabend (1979), a separação entre descritivo e normativo (ou prescritivo) é mais sofisticada e difícil do que se costuma pensar. Kuhn assume que sua caracterização das ciências contém esses dois elementos, mas também assinala que ele começou sua incursão na epistemologia como historiador, não como filósofo. Embora qualquer historiografia das ciências esteja efetivamente impregnada de filosofia, dar a devida atenção à história é um princípio fundamental a ser seguido por qualquer um que queira fazer uma caracterização das ciências que não se limite à perspectiva normativa ou prescritiva.



A atenção que dei em minhas leituras a algumas das contribuições da sociologia das ciências e minha antiga admiração e dedicação à história das ciências me levam a acreditar que o diagrama III.1 não se limita apenas à perspectiva normativa.

III.2- Múltiplas estratégias

Na introdução deste capítulo utilizei o diagrama III.1-A para sumarizar a concepção da natureza das ciências defendida nesta tese. Nesta seção, e nas seguintes, reproduzirei esse diagrama modificando-o para dar destaque à dimensão da atividade científica que estiver diretamente em discussão.

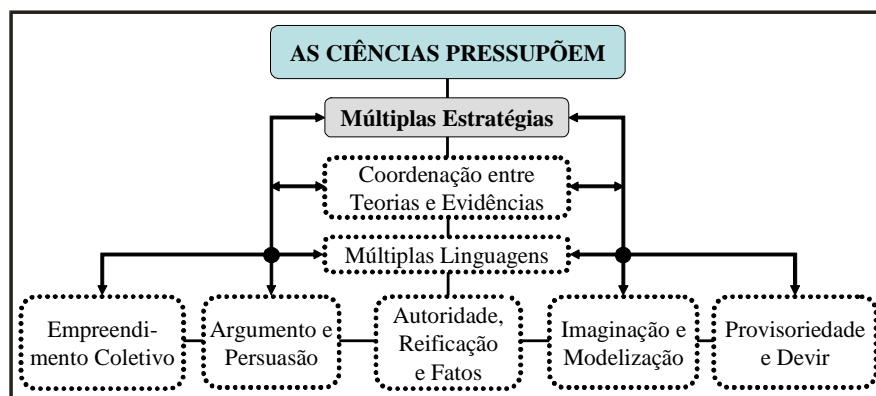


Diagrama III.2

Assim, tanto o diagrama III.2 acima, quanto diagramas semelhantes encontrados na abertura de todas as seções seguintes, assinalam qual é a “porta de entrada” que estaremos utilizando, em cada momento, para desenvolver nosso esforço de caracterização da atividade científica.

Esse recurso tem como objetivo mostrar que a necessidade didática de predicar separadamente sobre cada dimensão não deve nos levar a esquecer que, a rigor, não é possível compreender as ciências sem levar em consideração todas as suas dimensões.

A afirmação de que as ciências pressupõem múltiplas estratégias assinala minha preocupação em destacar a enorme extensão de objetos de estudo e interesses das ciências, bem como as diversas formas de organização das comunidades de especialistas. É uma visão que se opõe à visão



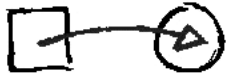
simplista e equivocada que, infelizmente, ainda se faz notar em textos didáticos e nas práticas de alguns professores. A crítica a essa visão ingênua e sua presença na educação em ciências já foi realizada a contento por autores Hodson (1988), Millar e Driver (1987), Gil-Perez (1993 e 1996) e Millar (1991) e, portanto, não irei reproduzi-la aqui.

Os autores citados discutem os equívocos dos grandes projetos de ensino das décadas de 60 e 70 que pretendiam ensinar o que se supunha constituir os “processos da ciência” e investir no desenvolvimento de habilidades de observação e experimentação, necessários à realização desses “processos”. Grosso modo, os “processos da ciência” foram reduzidos ao uso de um método algorítmico, supostamente, utilizado na investigação científica. Segundo Ryder (2002) o problema da maioria das análises sobre o ensino sobre as ciências em sala de aula é sua aparente ignorância em relação à enorme variedade de características da atividade científica.

As ciências constituem formas de cultura e empreendimentos sociais bastante específicos. Envolvem também intensa atividade teórica e cognitiva. Por essa razão, pode-se caracterizar cada uma das dimensões da atividade científica representada no diagrama III.1 a partir das contribuições da epistemologia, sociologia e da psicologia cognitiva.

Aplicando-se essa perspectiva à questão das múltiplas estratégias das ciências, pode-se falar em três conjuntos diferentes de estratégias: 1º- estratégias cognitivas de coordenação entre teorias e evidências; 2º- estratégias destinadas à produção e à transmissão das culturas especializadas que compõem as ciências; 3º- estratégias políticas ligadas ao gerenciamento e à manutenção das atividades das comunidades de especialistas. Até o final desta seção, eu farei um esforço para sugerir como a interferência mútua entre essas estratégias pode ocorrer, o que irá me ajudar a definir um pouco melhor cada uma delas.

As estratégias políticas são necessárias, pois, as ciências pressupõem empreendimentos coletivos. Todo cientista precisa lançar mão de estratégias políticas quando age em defesa de um grupo restrito de colaboradores. Mas, há que se lembrar, ainda, do papel político das sociedades de cientistas, onde se faz a defesa dos interesses coletivos ou de grupos maiores, frente à sociedade em geral ou outras comunidades. Por exemplo, pode-se mencionar a defesa de financiamento para determinadas áreas ou linhas de pesquisa. Desse modo, os cientistas se organizam como



fazem outros segmentos da sociedade que também constituem clubes, associações, entidades sindicais e grupos de pressão. As ações das associações de cientistas podem ser regionais, nacionais ou internacionais. Historicamente, elas têm sido determinantes nos rumos da atividade científica.

Em síntese, há estratégias políticas relacionadas à captação e ao gerenciamento de recursos para a pesquisa, à prestação de contas, às fontes de financiamento, à coordenação do trabalho dos membros das equipes de pesquisa, à transmissão das culturas especializadas a novas gerações de pesquisadores e, finalmente, à publicação dos resultados das pesquisas que pressupõem o recurso a técnicas de argumentação e disputas entre grupos de pesquisadores rivais. A consideração de algumas dessas estratégias é o objeto da etnografia das ciências (LATOUR e WOOLGAR, 1997; LATOUR, 2000) ou de trabalhos com enfoque na sociologia das ciências (ZIMAN, 1979, 1981 e 1996). Além desses trabalhos, em Kuhn (1979 e 1998) ou em Giere (1988), encontramos boas contribuições sobre as políticas destinadas à transmissão da cultura científica a novas gerações de pesquisadores.

As estratégias cognitivas destinadas à coordenação entre teorias e evidências constituem o conjunto de estratégias que distinguem as ciências de outros empreendimentos coletivos humanos. Tais estratégias compõem um amplo espectro de metodologias e desautorizam qualquer tentativa de caracterizar as ciências a partir de algum “método científico” de caráter algorítmico. Em geral, o que limita o amplo espectro de estratégias destinadas à coordenação entre teorias e evidências é o desenvolvimento teórico e tecnológico do campo de pesquisa, bem como a natureza dos próprios objetos de estudo.

Em ciências médicas, a enorme complexidade dos processos, bem como o desconhecimento de quais são os fatores relevantes e de como eles se inter-relacionam, condicionam os investigadores ao uso de correlações e métodos estatísticos, o que produz explicações limitadas do ponto de vista causal e prognósticos muitas vezes imprecisos. As limitações associadas à natureza dos objetos de estudo também envolvem, neste caso, questões éticas tais como a proibição de utilizar seres humanos em determinados tipos de testes. Mais do que em outras áreas, as comissões de



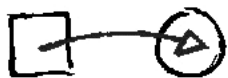
ética na pesquisa têm nas ciências médicas um papel fundamental na determinação de quais metodologias de pesquisa são aceitáveis¹¹.

A separação entre estratégias políticas e de poder, por um lado, e metodologias destinadas a coordenar teorias e evidências de outro, é menos nítida do que se pode pensar, à primeira vista. Assim como questões de natureza ética interagem com questões de natureza metodológica nas ciências médicas, aquilo que chamei genericamente de estratégias políticas também têm grandes implicações nas metodologias *stritu sensu*, bem como na própria definição dos objetos da pesquisa.

Para estabelecer essa relação vou recuperar os conceitos de heurística positiva e negativa definidos por Lakatos (1979). Esses dois tipos de heurística são diretrizes orientadas para finalidades diferentes. Enquanto a heurística positiva encaminha os pesquisadores na escolha de objetos de estudo e metodologias que têm as maiores chances de promover o avanço e a expansão dos programas de pesquisa nos quais eles estão envolvidos, a heurística negativa os orienta no sentido de evitar os caminhos de pesquisa que expõem possíveis fragilidades desses programas, para que as idéias centrais articuladoras das teorias usadas nas pesquisas não sejam expostas prematuramente a fracassos que poderiam evidenciar suas limitações ou inconsistências. Nas palavras do próprio Lakatos (*ibidem*, p. 165):

A heurística negativa especifica o ‘núcleo’ do programa, que é ‘irrefutável’ por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e desenvolver as ‘variantes refutáveis’ do programa de pesquisa e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção ‘refutável’. A heurística positiva do programa impede que o cientista se confunda no oceano de anomalias. A heurística positiva apresenta um programa que inclui uma cadeia de modelos, cada vez mais complicados, que simulam a realidade: a atenção do cientista focaliza-se na construção dos modelos de acordo com as instruções que figuram na parte positiva do programa. Ele ignora os contra-exemplos reais, os ‘dados disponíveis’. Quando um cientista tem uma heurística positiva, recusa-se a ser atraído para a observação.

¹¹ No caso das pesquisas em áreas médicas, há uma diretriz de ética na pesquisa que estabelece a necessidade de que os resultados de uma dada pesquisa venham a ser submetidos, inicialmente, ao crivo da avaliação e da crítica da comunidade especializada, antes de serem tornados públicos.



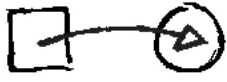
Deita-se em seu sofá, fecha os olhos e esquece-se dos dados. Ocasionalmente, é claro, ele fará à natureza uma pergunta ladina e sentir-se-á animado pelo SIM, mas não se sentirá desanimado pelo NÃO.

Pois bem, as estratégias de heurística positiva e negativa são também usadas como estratégias de poder, isto é, como estratégias para afastar do campo científico as questões que tendem a gerar anomalias para um programa de pesquisa em especial, fazendo com que ele “degenere”. Assim, considera-se excluído do campo científico os problemas para os quais a(s) teoria(s) vigentes - ou aquelas que um determinado grupo deseja promover - não apresentam respostas e nem sequer perspectivas de investigação. A exclusão do estudo da consciência do campo científico, que foi efetuada pela psicologia behaviorista (NELSON, 1998), é um exemplo da aplicação deste tipo de “estratégia de poder”, associada ao que Lakatos chamou de heurísticas positiva e negativa.

A associação do termo estratégia de poder ao conceito de heurística é certamente algo que desagradaria ao próprio Lakatos, que não poupou esforços para questionar a legitimidade da utilização da sociologia das ciências para a análise da atividade científica. Apesar disso, considero tal associação completamente adequada, na medida em que é difícil imaginar como estratégias heurísticas poderiam não influenciar o esforço político despendido por defensores de teorias rivais ao descaracterizar o trabalho de seus oponentes de modo a evitar que esses mesmos trabalhos coloquem em cheque a validade daquilo que eles estão, a duras penas, desenvolvendo.

Vejamos agora a relação que proponho existir entre as estratégias de coordenação entre teorias e evidências e as estratégias destinadas à transmissão da cultura originada desta coordenação a novas gerações de pesquisadores. Pode-se questionar a existência de uma reflexão específica ou de uma pedagogia reflexiva que oriente esse processo de transmissão. Todavia não se pode duvidar de que há uma prática pedagógica constituída para esse fim.

No trabalho de Kuhn (1998) encontramos notáveis contribuições para compreender as bases dessa prática pedagógica, que eu identifico como tendo sido aquela que eu mesmo experimentei na condição de estudante de graduação do curso de física. Trata-se da atividade orientada para a resolução de problemas exemplares. Os problemas exemplares são os exemplos de sucesso das teorias de que os estudantes devem se apropriar para pertencer à comunidade de especialistas na



qual pretendem ingressar. A este respeito, Giere (1988) afirma que a própria organização dos livros-texto de Física é baseada nos problemas exemplares de cada tópico.

A aprendizagem através da resolução de problemas exemplares apresenta aspectos de natureza tácita. Não há, exatamente, uma explicitação de quais abstrações e generalizações são orientadas pela teoria. Nem todo o processo é consciente. Aprende-se a fazer fazendo e o sucesso dos estudantes na resolução dos problemas exemplares é indício de seu futuro sucesso na solução de enigmas ou quebra-cabeças autênticos. Tal solução conduz ao ajustamento da teoria ao mundo natural. De acordo com Kuhn (ibidem), essa é a atividade que caracteriza boa parte do trabalho dos cientistas envolvidos com uma “ciência madura”, onde podem ser encontradas teorias assumidas de modo consensual pela ampla maioria dos cientistas.

Para Thomas Kuhn, é a resolução de “problemas exemplares” que permite a apropriação da linguagem da teoria e do conhecimento da natureza imerso nessa linguagem. Como resultado, os conceitos que constituem as teorias tornam-se mediações intrínsecas aos processos de observação, descrição e interpretação dos fenômenos naturais. Em outras palavras, aprende-se a observar, descrever e interpretar o mundo natural com as “lentes da teoria”.

A metáfora da teoria como lente é oportuna porque é a teoria que orienta a escolha daquilo em que se deve “prestar atenção” e aquilo que pode ser ignorado, assim como a escolha dos parâmetros específicos que permitem identificar o que muda e o que permanece nos processos de transformação que constituem os objetos de estudo definidos pela própria teoria.

Além da resolução de problemas, a formação de novos cientistas envolve a aprendizagem de técnicas ou métodos de investigação. Tanto os métodos de investigação que são usados nas ciências, quanto os conhecimentos que eles ajudam a produzir, estão sob constante avaliação, sendo alterados ou aperfeiçoados conforme sejam identificadas suas limitações e inadequações a novos objetos de estudo. Além disso, novas possibilidades metodológicas são proporcionadas pelo desenvolvimento das teorias ou pelo acesso a novas tecnologias.

Em algumas ciências, tais como a astronomia e a astrofísica, não se tem acesso à experimentação e nem mesmo à observação controlada. Neste caso, recorre-se à construção de aparelhos destinados a fazer medições de um grande número de grandezas que vão desde a mera posição



das estrelas até os diversos tipos de radiação que supomos que elas emitem na direção da Terra. Nem é preciso dizer que os tais aparelhos e procedimentos de medida encontram-se prenhes de teorias, gerando, por conseguinte, medições e observações totalmente dependentes dos conceitos e modelos a partir dos quais eles foram criados. No caso específico da astrofísica, as radiações provenientes de astros, que se supõe distantes, retratam eventos que teoricamente ocorreram em épocas passadas¹², mas que são observados agora devido ao longo intervalo de tempo através do qual tais radiações viajaram até atingir a Terra.

As ciências nas quais a experimentação é possível, como a física, por exemplo, dão origem a fenômenos artificiais que, a princípio, existem apenas no interior do laboratório. Ainda assim, os fenômenos artificiais produzidos em ambientes controlados são utilizados como modelos de fenômenos naturais, mais complexos, e menos susceptíveis ao controle.

Ao traçar um histórico da influência das tradições matemática e experimental nas ciências físicas, Kuhn (1977) descreve diversas funções atribuídas à experimentação em diferentes tradições ao longo da história. Enquanto na tradição medieval os experimentos eram muitas vezes utilizados como meios de demonstração ou convencimento de uma audiência em relação a algo que o experimentador já sabia, a tradição originada a partir das postulações de Francis Bacon inaugura uma nova perspectiva que seria, alguns séculos mais tarde, aperfeiçoada e fundida com a tradição matemática das ciências clássicas, tais como a astronomia. Dessa fusão teria surgido a experimentação que caracteriza as ciências contemporâneas. Acerca da tradição baconiana, Kuhn (ibidem) nos diz que:

(Quando) homens como Gilbert, Boyle e Hooke, realizavam experiências, raramente pretendiam demonstrar o que já era conhecido ou determinar um pormenor exigido para o alargamento das teorias existentes. Desejavam, antes, ver como é que a

¹² Não uso aqui expressões como “se supõe que” ou “eventos que teoricamente ocorreram” para levantar suspeita sobre a física e a astrofísica atuais, mas apenas para acentuar o caráter eminentemente teórico do conhecimento que essas ciências produzem acerca do mundo natural. O valor do conhecimento depende do mérito das teorias sobre os quais ele está embasado e não do fato dele ser em maior ou menor “grau” dependente de teorias ou estar baseado em observações mais ou menos “fidedignas”. Sob o ponto de vista das epistemologias pós-positivas, cujas contribuições eu espero sintetizar neste capítulo, o conhecimento teórico é o único possível. Mesmo o conhecimento normalmente chamado de empírico é construído a partir de teorias.



*natureza poderia se comportar em circunstâncias previamente não observadas, muitas vezes antes não existentes (KUHN, 1977, p. 76).
(...) os homens que colocavam cereais, peixes, ratinhos e vários elementos químicos **sucessivamente** no vácuo parcial de um barômetro ou de uma bomba de ar exibiam justamente este aspecto da nova tradição (KUHN, 1977, p. 77).*

A função do experimento para “produzir novidades” e “realidades artificiais” - *que* é inaugurada pela tradição baconiana - leva a uma perspectiva nova, mas ainda limitada. Tal limitação origina-se da ausência de teorias consistentes, formais e explícitas que orientem a experimentação. Essa característica das “ciências baconianas”, também é apontada por Bachelard (1996) que nos dá inúmeros exemplos de fragilidades ou obstáculos epistemológicos dela decorrentes.

Para caracterizar a experimentação nas ciências atuais, Bachelard (1991, 1993 e 1996) criou o conceito de fenomenotécnica. Esse termo indica o processo mediante o qual as teorias guiam a concepção de instrumentos e aparatos experimentais para expandir o real ou produzir novas realidades. De acordo com Gaston Bachelard, a fenomenotécnica prolonga a fenomenologia, de modo que:

O instrumento de medida acaba sendo uma teoria, e é preciso compreender que o microscópio é um prolongamento mais do espírito do que do olho (BACHELARD, 1996, p. 297).

Pode-se evocar um longo período em que o instrumento precede a sua teoria. O mesmo não acontece atualmente, nos domínios verdadeiramente ativos da ciência, em que a teoria precede o instrumento, de forma que o instrumento de física é uma teoria realizada, concretizada, de essência racional (BACHELARD, 1991, p. 25).

Baseando-me em Piaget (1985) posso concluir que esse longo processo que levou a experimentação científica a realizar uma busca sistemática pela produção de novidades e pela expansão do real em direção a novos possíveis, tem um correlato no desenvolvimento cognitivo de cada indivíduo. De acordo com Piaget (ibidem, p. 07), a formação dos possíveis e sua expansão durante o desenvolvimento cognitivo de cada sujeito constitui um dos melhores argumentos contra a concepção empirista da ciência e do processo de conhecimento:

Com efeito, o possível não é algo observável, mas o produto de uma construção do sujeito, em interação com as propriedades do objeto, mas inserindo-as em interpretações devidas às atividades do sujeito, atividades essas que determinam,



simultaneamente, a abertura de possíveis cada vez mais numerosos, cujas interpretações são cada vez mais ricas. Por conseguinte, existe aí um processo formador bem diverso do invocado pelo empirismo que reduz o conhecimento a uma simples leitura (da realidade).

De acordo com o que nos ensina Jean Piaget, o que limita, inicialmente, a formação de novos possíveis na mente da criança é a indiferenciação inicial entre o real, o possível e o necessário. Desse modo, o sujeito restringe o possível ao que ele concebe como real. Isso exclui a possibilidade de variações e mudanças, ou em outras palavras, limita o universo dos possíveis. No caso da experimentação, isso limitaria seu papel àquele que Thomas Kuhn atribui à tradição medieval, isto é, a experimentação se restringiria à comprovação daquilo que o sujeito concebe como real, não havendo nela nenhuma busca ou abertura para novidades.

Do ponto de vista do desenvolvimento cognitivo, ainda na perspectiva piagetiana, tanto o possível, quanto o necessário são produtos das atividades do sujeito e se modificam em decorrência de sua atividade sobre o mundo. O possível é relativo às inferências do sujeito e se expande devido a processos de diferenciação, enquanto o necessário é dependente dos modelos que o sujeito constrói dedutivamente e depende de processos de integração. As necessidades evoluem quando o sujeito percebe fatos gerais que sugerem a existência de leis e postula mecanismos subjacentes aos diferentes processos reunidos sob uma dada generalização.

A respeito das necessidades lógicas, Piaget (1986, p. 122) nos diz que: *É preciso, pois caracterizar a necessidade de p, não somente pela impossibilidade de não-p, pois novas possibilidades podem surgir sempre.* Dito em outras palavras, podemos concluir que uma generalização do tipo “todos os cisnes são brancos” – apresentada por Chalmers (1994) quando ele discute as limitações da epistemologia empirista-indutivista – não contém uma necessidade lógica, visto que em um determinado dia, alguém que jamais observou um cisne negro pode chegar a fazê-lo. A generalização “todos os cisnes são brancos” só será, portanto, entendida como necessária, caso um modelo dedutivo indique algum vínculo necessário ou lógico entre o fato de ser cisne e a característica de apresentar penas de cor branca.

O termo necessidade lógica é oportuno nesses casos porque a “postulação de p” e a “negação de não-p” implicam no uso de princípios lógicos, como o princípio da contradição. Voltando ao



exemplo dos cisnes, o modelo dedutivo destinado a provar a necessidade de que todos os cisnes sejam efetivamente brancos deve mostrar que a cor negra ou outra cor qualquer contradiz nossa definição do conjunto de características que deve ter um animal para ser denominado como um cisne.

As necessidades lógicas são instrumentos imprescindíveis ao pensamento teórico porque sem elas o pensamento se contradiria incessantemente e não poderia haver definições e nem categorias estáveis. Tais necessidades dão sustentação às generalizações, libertando-nos da inconsistência e da insuficiência do empirismo-indutivista enquanto sistema de conhecimento¹³. As necessidades lógicas são, portanto, necessárias à estruturação de um pensamento coerente, e para explicar esse ponto de vista, recorrerei mais uma vez a uma citação de Piaget (1986, p. 122):

Dois objetos ou acontecimentos podem assemelhar-se e essa relação de semelhança, uma vez estabelecida, já é um fator de integração. Eles podem, por outro lado, diferir um do outro. Mas, ao contrário das semelhanças suscetíveis de serem absolutas (a identidade), nunca há diferenças completas, pois por diferentes que sejam dois elementos reais ou conceituais, eles ainda são análogos enquanto objetos de constatação ou de pensamento.

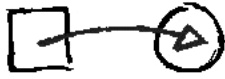
Do ponto de vista de Jean Piaget, a tendência à integração das estruturas do pensamento - que dá origem às necessidades - é uma das características básicas dos processos de equilíbrio que levam à formação das estruturas cognitivas, entendidas como as estruturas a partir das quais o sujeito constrói o conhecimento acerca de sua realidade (PIAGET, 1976).

¹³ Nesse caso, é bom lembrar que a compreensão da inconsistência do indutivismo enquanto sistema de conhecimento levou David Hume, da condição de empirista-indutivista, à condição de cético. Isso ocorreu quando Hume percebeu a impossibilidade de justificar a validade do conhecimento sobre o mundo natural dentro dos estreitos limites da lógica indutiva.



Quadro III.1- Os três conteúdos do currículo para as múltiplas estratégias das ciências

APECTOS OU DIMEN- SÕES DAS CIÊNCIAS	Múltiplas Estratégias
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	A educação em ciências precisa se comprometer com a justificação e a fundamentação das idéias e fatos atribuídos às ciências. Essa justificação não deve ficar restrita à alusão ou à replicação de experimentos de laboratório. Existe, afinal, uma série de outras estratégias destinadas a promover a coordenação entre as teorias das ciências e as evidências que as sustentam. Ao promover uma educação em ciências mais comprometida com a preparação dos estudantes para a cidadania é importante discutir e dar a conhecer outras estratégias de pesquisa que tem tido grande importância na atualidade, mas que continuam sem serem tratadas pela ciência escolar.
Aprender sobre ciências	Conhecer parte da ampla gama de estratégias usadas pelos cientistas para produzir dados de pesquisa e fundamentar suas afirmações sobre fenômenos humanos ou naturais. Compreender a diferença de status atribuído aos estudos que fornecem simples correlações, vínculos causais ou mecanismos causais mais sofisticados.
Aprender a fazer ciências	Realizar experimentos envolvendo uso de instrumentos de medida e controle de variáveis e refletir sobre a influência das teorias aceitas na escolha das variáveis a serem controladas. Utilizar técnicas necessárias ao registro e ao acompanhamento de fenômenos que não podem ser controlados ou reproduzidos artificialmente. Desenvolver estudos estatísticos e compreender os problemas decorrentes do tamanho da amostra e da influência de teorias ou ideologias que orientam a interpretação dos resultados.



III.3- A coordenação entre teorias e evidências

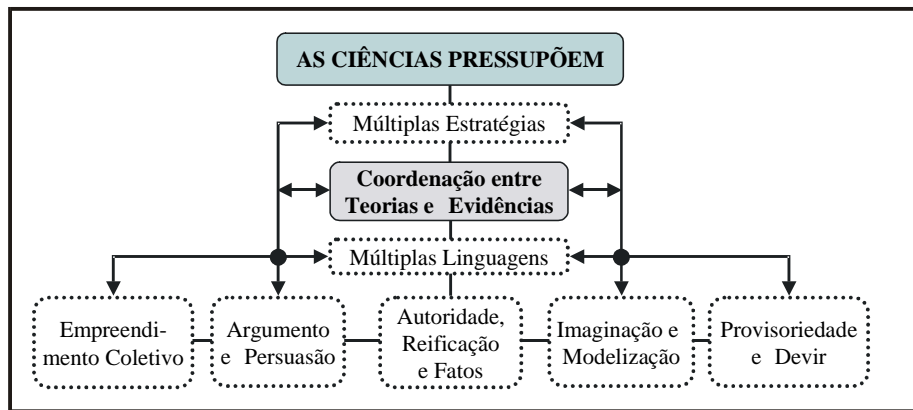


Diagrama III.3

Ao falar na seção anterior das múltiplas estratégias das ciências dei uma ênfase particular à questão da experimentação. Apresentei a idéia de que a resolução de problemas exemplares é uma das principais atividades utilizadas para que futuros cientistas possam aprender a utilizar as teorias assumidas pela comunidade de especialistas a que eles pretendem pertencer (KUHN, 1998). Por fim, defendi o ponto de vista segundo o qual a produção de conhecimentos sobre o mundo natural envolve o estabelecimento de uma relação entre o real, o possível e o necessário, dando a esta última dimensão o papel de integrar ou compor estruturas lógicas necessárias à construção do conhecimento. Essa discussão nos leva agora, naturalmente, para a questão da coordenação entre teorias e evidências.

O termo evidências designa aqui o conjunto de observações que pode dar sustentação a uma determinada proposição ou enunciado. A busca de evidências ocorre, geralmente, mediante processos de experimentação e observação controlada envolvendo tanto observações qualitativas, quanto medições de grandezas definidas no interior de uma determinada teoria. O termo teoria, por sua vez, designa uma produção cultural constituída pelos seguintes elementos: (a) crenças ontológicas utilizadas para atribuir propriedades aos objetos do mundo natural; (b) um conjunto de conceitos integrados em uma totalidade lógica coerente; (c) uma série de modelos que permitem comunicar idéias extraídas da teoria e realizar previsões ou simulações a partir delas; (d) uma gama de estratégias concebidas para permitir a produção e a análise de evidências.



A necessidade de coordenar teorias e evidências empíricas funciona nas ciências naturais como um processo de regulação que impõe limites ao espírito criativo humano. Essa necessidade distingue as ciências naturais da filosofia, forma de conhecimento a qual toda ciência natural deve sua origem.

Concebo a coordenação entre teorias e evidências dentro da seguinte perspectiva. As ciências constroem teorias que descrevem mundos possíveis. Esses mundos possíveis, povoados por entidades criadas com o auxílio de nossa imaginação, não podem convergir, nem mesmo de modo assintótico, com o mundo natural. Em outras palavras, não podemos conhecer o mundo “tal como ele realmente é”.

Todavia, sempre existe um conjunto restrito de critérios que podem ser levados em consideração para julgar em que medida o mundo concebido por uma teoria apresenta comportamentos semelhantes ao mundo natural, tal como nós o conhecemos em uma determinada etapa de nossa evolução cultural. A coordenação de teorias e evidências pressupõe esforço criativo e persistência, dado à resistência que o mundo natural oferece em corresponder às nossas conjecturas e apresentar comportamentos semelhantes àqueles exibidos por nossos mundos possíveis. Aliás, essa “teimosia” que o mundo natural, muitas vezes, apresenta em se adequar às nossas conjecturas é a prova mais patente de que o mundo natural possui existência objetiva e é independente de nossa consciência. Esse ponto de vista instigante me foi sugerido pela epistemologia genética de Jean Piaget (INHELDER, GARCIA e VONECHE, 1976) reavivada em minha memória por Bohm e Peat (1989, p. 17) que dizem:

Muito claramente, se a realidade alguma vez deixasse de revelar novos aspectos fora do nosso pensamento, então, só muito dificilmente poderíamos dizer que ela tem uma existência objetiva independente de nós.

A necessidade de coordenar teorias e evidências nos faz perseguir observáveis apenas previstos, mas já aceitos dentro o universo dos possíveis, sob a ótica das teorias a partir das quais se conduz a investigação. Assim, a idéia de evidência envolve as idéias de investigação e teoria. Uma observação pode ser considerada uma evidência quando contrastada com previsões derivadas de modelos e teorias.



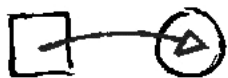
Nos parágrafos anteriores, ao discutir a questão da coordenação entre teorias e evidências, usei os *termos conjecturas e mundos possíveis*. Esses termos foram tomados de empréstimo de Popper (1975), mas seu significado original foi modificado. Sendo assim, antes de prosseguir com o tema desta seção, farei uma breve exposição das diferenças entre os significados atribuídos por Popper e aqueles utilizados nesta tese.

Um dos elementos mais importantes da epistemologia de Popper é a teoria dos três mundos. Esse autor propõe a existência de mundos possíveis construídos a partir de teorias, modelos, argumentos e problemas de natureza teórica. O conjunto dos mundos possíveis constitui o mundo das idéias, também chamado por Popper de 3º mundo¹⁴.

Popper esclarece que o seu mundo das idéias é bastante semelhante àquele concebido por Platão, mas não contém a dimensão religiosa que acompanha a concepção platônica original. Além do 3º mundo, Popper acredita na existência de dois outros mundos: (a) o 1º mundo, que é o mundo dos objetos e processos que compõem o mundo natural; (b) o 2º mundo, ou “mundo da mente”, constituído pelos “estados mentais”, pelas experiências subjetivas e, finalmente, pelas interpretações pessoais que cada um de nós pode desenvolver em relação aos conceitos, modelos e teorias enquanto objetos do 3º mundo.

Os objetos que compõem cada um dos três mundos de Popper são autônomos e ontologicamente distintos em relação aos objetos que compõem os outros dois mundos. A base da perspectiva construtivista e interacionista da epistemologia popperiana reside, justamente, nas relações que os três mundos estabelecem entre si. Assim, por exemplo, o mundo das teorias ou modelos **nunca** se relaciona diretamente com o mundo natural. Em outras palavras, a relação entre o 3º e o 1º mundos não pode se realizar, a não ser pela mediação do 2º mundo. Um exemplo de processo de interação entre os três mundos ocorre durante aquilo que Popper chama de *pensamento produtivo*. O *pensamento produtivo* é um processo de 2º mundo que permite a criação de

¹⁴ Leach e Lews (2002) utilizam a teoria dos três mundos de Karl Popper para orientar a ação dos professores de ciências no sentido de contribuir de uma forma articulada para a sofisticação do conhecimento conceitual e teórico dos estudantes e de sua compreensão epistemológica acerca desse mesmo conhecimento. Retomando a teoria dos três mundos eles ressaltam a necessidade de que os professores de ciências assinalem as diferenças ontológicas entre as entidades que constituem as explicações científicas e os eventos do mundo material para os quais essas explicações foram construídas.



conjecturas criativas de 3º mundo e a busca de refutações a essas conjecturas mediante a confrontação entre elas e as impressões subjetivas que temos do 1º mundo.

A mente relaciona-se com o mundo natural a partir de processos mediados pelos órgãos dos sentidos. Esses processos não nos dão acesso direto e definitivo aos objetos do mundo natural. A mente também se relaciona com os objetos do 3º mundo e permite, por exemplo, interpretar, apreender ou “ver”, em sentido metafórico, objetos aritméticos ou geométricos que pertencem a esse mundo. Tal como na perspectiva platônica, um objeto geométrico esférico do 3º mundo, que é “visto” com o auxílio da mente, pode ser confrontado com um objeto natural, de modo que essa confrontação pode nos levar à conclusão de que o objeto natural também possui uma forma esférica. Novamente, o “mundo da mente”, ou 2º mundo, estabelece um elo indireto ou mediado entre o 1º e o 3º mundos. A percepção da forma esférica não é, portanto, um ato fisiológico, visto que pressupõe a participação de um conceito ou entidade do 3º mundo.

O exemplo apresentado no parágrafo anterior não é extraído da obra de Popper. Criei-o propositadamente para aproximar, ainda mais, as idéias de Popper da concepção platônica. Em uma análise preliminar, essa aproximação poderia colocar em xeque a identificação de Popper com a perspectiva construtivista e interacionista, visto ser Platão um exemplo clássico do racionalismo idealista. Existe, entretanto, uma diferença fundamental entre o terceiro mundo de Popper e o mundo das idéias de Platão, que não nos permite retirar Popper da perspectiva construtivista-interacionista. O 3º mundo de Popper não é habitado por idéias e formas perfeitas, mas por quaisquer idéias e teorias concebidas ou criadas pelo ser humano, quando esse enfrenta uma situação problema e inicia um processo de pensamento produtivo. O 3º mundo de Popper inclui idéias e teorias que foram ou poderão ser refutadas e que, por essa razão, podem ser consideradas erradas. O erro faz parte do pensamento produtivo.

Em minha opinião, a parte mais curiosa e obscura da teoria dos três mundos é a alegação de que os objetos do terceiro mundo são simultaneamente criações humanas e independentes do mundo da mente. Popper desenvolve essa idéia por meio de vários exemplos e argumentos. Vou me ater aqui a um exemplo relacionado à tecnologia. A tecnologia é concebida como uma demonstração da influência indireta do 3º mundo sobre o 1º mundo. Assim, tecnólogos podem efetuar



mudanças no 1º mundo aplicando conseqüências de uma teoria que não haviam sido previstas pelos próprios criadores da teoria.

Além de aplicações práticas, não previstas, uma teoria também pode gerar problemas inesperados, que são identificados por cientistas que não participaram da sua concepção. A conseqüência disso, para Popper, é a convicção de que os criadores de teorias não são seus verdadeiros donos. A teoria tem autonomia em relação àqueles que a conceberam. Essa autonomia faz com que Popper realize um grande salto metafísico e conclua que as teorias constituem mundos possíveis que existem, existiram e sempre existirão em um universo paralelo e virtual. As teorias seriam, desse modo, ao mesmo tempo humanas e sobre-humanas.

Considero desnecessária a conclusão de Popper a favor da autonomia do 3º mundo. Do meu ponto de vista, as teorias são objetos culturais, não têm existência autônoma e nem são entidades estáticas a habitar um universo paralelo, embora sejam verdadeiramente complexas e possam gerar desdobramentos virtualmente infinitos. A própria noção popperiana de que as teorias são entidades lingüísticas serve para justificar minha posição, desde que seja adotada uma filosofia da linguagem diferente daquela utilizada por Popper e que ele próprio atribui aos estóicos.

Na perspectiva da filosofia da linguagem de Bakhtin (1999), a língua é viva e a significação das palavras ou conceitos é sempre provisória. Enquanto entidade lingüística, uma teoria também “vive”, não porque seja sobre-humana ou pertença a um mundo ontologicamente distinto do mundo da mente, mas porque o sentido dos conceitos que a constituem é constantemente recriado e transformado por todos aqueles que a fazem objetos de pensamento. Como nos diz Bronowski (1979, p. 26-33), compreender uma teoria é recriá-la:

Refazemos a natureza pelo ato da descoberta, no poema ou no teorema, e o grande poema e o teorema profundo são novos para todos os leitores e, todavia, constituem as suas próprias experiências, porque eles próprios as tornam a criar. São os marcos da unidade na variedade. No instante em que o espírito capta isso, quer na arte, quer na ciência, o coração desfalece. (...) O ato da criação é, portanto, original, mas não acaba com o seu criador. O trabalho da arte ou da ciência é universal, porquanto cada um de nós torna a criá-lo. Somos tocados pelo poema, seguimos o teorema, porque neles descobrimos de novo e captamos a semelhança que o seu criador primeiramente captou. No ato de apreciação reativa cada um de nós é intérprete.



Para Popper, a meta da ciência é a produção de mundos possíveis a partir dos quais os fenômenos naturais possam ser explicados. A elaboração de tais mundos é, obviamente, uma tarefa eminentemente teórica, embora esteja orientada desde o início por um compromisso empírico: a representação do “mundo real” ou do mundo da experiência. A coincidência entre implicações deduzidas de uma teoria científica com observações ou evidências empíricas, não é uma garantia suficiente da correspondência entre os mundos possíveis, representados pela teoria, e o mundo natural. Apesar disso, a não coincidência entre previsões teóricas e a experiência é, para Popper, suficiente para a refutação da teoria. Com esse conjunto de idéias, Popper resolveu ao seu modo o problema da demarcação entre ciências e não ciências, além de substituir a lógica indutiva dos empiristas pela lógica hipotético-dedutiva. Por fim, Popper rejeitou a aversão positivista à metafísica, reconhecendo as grandes contribuições dessa área do pensamento para a compreensão e para a constituição dos sistemas teóricos e seus mundos possíveis.

Eu interpreto o 3º mundo de Popper como o mundo da intersubjetividade ou o mundo dos objetos culturais em seus aspectos não materiais. Particularmente, considero a distinção proposta por Piaget e Garcia (1987), entre os planos psicológico e epistemológico, mais útil que a teoria dos três mundos de Popper. O plano epistemológico diz respeito às teorias, modelos e objetos de conhecimento já formalizados e corroborados. O plano psicológico, por outro lado, diz respeito aos processos de conceituação e teorização, isto é, de construção e formalização do conhecimento¹⁵.

Ainda que eu prefira “trocar” o 2º e o 3º mundos de Popper, respectivamente, pelos planos psicológico e epistemológico de Piaget e Garcia (*ibidem*), eu considero essencial manter a perspectiva popperiana de atribuir uma ontologia própria e autônoma ao 1º mundo. Essa crença me levou a adotar uma distinção entre os termos “real” e “mundo natural”, ao discorrer sobre o objeto de estudo das ciências naturais. Para mim, o “real” é necessariamente uma construção e

¹⁵ A oportunidade de estudar trabalhos como os de Popper (1972, 1975, 1979, 1994 e 1996), e de poder aprender com eles, apesar de manter diferenças irreconciliáveis com algumas de suas teses, me proporciona um imenso prazer. Esse prazer e as conseqüências de minhas aprendizagens ficam restritos à minha pessoa e àqueles com quem trabalho diretamente. Isso me faz pensar em quão limitada é a experiência intelectual daqueles que interagem com a vida sob uma perspectiva obtusa (pouco penetrante) e não têm a oportunidade de lidar com objetos suficientemente complexos de modo a perceber que, diante da complexidade, sempre podemos aprender mesmo com aqueles que apresentam pontos de vista diferentes dos nossos.



pertence ao plano epistemológico. O mundo natural, este sim, existe independentemente da consciência humana¹⁶.

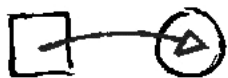
O “real” também não se confunde com a realidade aparente. Tal realidade está aquém tanto do conhecimento científico, quanto de qualquer forma de conhecimento a que possamos atribuir algum valor. Isso é algo amplamente reconhecido pela sabedoria popular que nos diz que as aparências enganam! Mas, se as aparências enganam, como é que podemos ver através delas? Afinal, como produzimos o “real”? A resposta é: com teorias especulativas e suposições ousadas e criativas que: (a) postulam a existência de mecanismos e propriedades subjacentes - não aparentes - aos processos que observamos; (b) prevêm comportamentos ainda não observados, mas concebidos como possíveis; (c) identificam padrões na massa confusa de todas as observações virtualmente disponíveis em um determinado cenário e, finalmente, introduzem necessidades lógicas.

Somos seres biológicos capazes de conceber e representar o mundo natural, mas estamos limitados para esta tarefa por nossos sentidos e pela tecnologia atualmente disponível e, principalmente, por nossa ecologia conceitual. A ecologia conceitual é um termo utilizado por Posner et al. (1982) e é derivado de um modelo criado para descrever o processo de desenvolvimento dos sistemas conceituais por um determinado indivíduo¹⁷. De acordo com esse modelo, as idéias ou conceitos de qualquer indivíduo, em particular, existem como resultado de um processo de seleção através do qual o meio cultural em que o indivíduo vive favorece o desenvolvimento de certos conceitos enquanto inibe outros.

Além de conceitos, fazem parte da ecologia conceitual crenças metafísicas e compromissos epistemológicos. Os compromissos epistemológicos definem o ideal de explicação buscado pelo sujeito. As crenças metafísicas estão relacionadas às propriedades que o sujeito atribui ao mundo natural. Assim, a idéia de que os elementos que constituem a matéria possuem carga elétrica pode

¹⁶ De tudo o que foi dito até aqui, pode-se deduzir que minha perspectiva epistemológica é realista, no que diz respeito à crença na existência de um mundo natural. Mas, ao mesmo tempo, minha posição é relativista, pois está marcada pela consciência de que é impossível conhecer plenamente o mundo natural ou de fazer convergir, de modo absoluto, os mundos possíveis concebidos a partir de nossas teorias e o mundo natural que existe além de nós. Nisto eu me aproximo de Popper, Lakatos, Hanson, Toulmin, Bachelard, Piaget e outros.

¹⁷ A concepção do termo ecologia conceitual é atribuída por esses autores a Stephan Toulmin.



ser considerada uma crença metafísica, mas, nesse caso, possui o status de “crença científica”. Por outro lado, a idéia de que o calor é alguma espécie de substância que os corpos mais quentes possuem em maior quantidade, também é uma crença metafísica, mas, nesse caso, não é considerada científica, já que para as ciências o calor é um processo natural de transferência de energia e não uma substância. Apenas por esses exemplos, pode-se notar o quanto as crenças metafísicas dependem de conceitos e essa é a razão pela qual é conveniente reunir conceitos, crenças metafísicas e ideais de explicação sob uma única entidade denominada ecologia conceitual.

O avanço científico-tecnológico tende a alargar cada vez mais os limites que restringem nossa capacidade de conceber e representar o mundo natural. Assim, por exemplo, as câmaras infravermelhas ou ultravioletas permitem-nos explorar o mundo natural de modo até então permitido apenas a algumas espécies animais, como as cobras com fossetas loreais sensíveis ao infravermelho ou as abelhas e sua visão sensível ao ultravioleta. Câmaras infravermelho ou ultravioleta podem ser consideradas exemplos da fusão entre o 1º e o 3º mundo que foram propostos por Popper. Este tipo de tecnologia - que é altamente dependente das teorias que a humanidade foi sendo capaz de criar e sofisticar ao longo de séculos - permite-nos vencer parte das restrições impostas por nossa biologia. Neste caso específico, trata-se de superar a limitação de nossa visão para conhecer o mundo natural com o qual cobras e abelhas interagem.

O ser humano, enquanto ser histórico, adquiriu a capacidade de dialogar com as heranças culturais, tanto científicas, quanto tecnológicas, de gerações passadas, superando não apenas as restrições impostas pelos sentidos, mas também aquela associada ao ciclo de vida. Nossa capacidade de descentração nos ajuda a reconhecer que o mundo em que vivemos é limitado e que não corresponde ao mundo que existiu ou existirá em outras épocas, ou ao mundo vivido e experimentado por outros organismos contemporâneos. A utopia das ciências naturais é expandir nosso conhecimento para além de qualquer fronteira, de modo a superar barreiras espaciais, em direção ao micro, ao supermicro, ou ao supermacroscópico, bem como barreiras temporais, em direção ao passado e ao futuro distantes. As ciências, ao lado das artes, são as atividades nas quais a humanidade tenta levar ao extremo sua capacidade de sonhar e criar. Todavia, mesmo



com todo o avanço científico-tecnológico já existente ou que possa vir a existir, não há razões para acreditarmos que um dia conheceremos o mundo natural “tal como ele é”¹⁸.

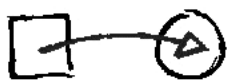
Depois dessa breve exposição sobre minhas próprias crenças ontológicas realistas acerca da existência do mundo natural e de nossa relação com ele enquanto seres biológicos, eu convido o leitor a voltar à questão que eu havia formulado, e que apenas comecei a responder, sobre o modo como os seres humanos produzem o real, ao superar a realidade aparente. Em outras palavras, voltemos à questão sobre a constituição das teorias e suposições especulativas.

Se admitirmos a noção de que as teorias contêm e articulam sistemas conceituais, podemos dizer que a coordenação entre teorias e evidências envolve pelo menos três tipos diferentes de teorias: as explícitas, as implícitas e as observacionais. As explícitas são as teorias que utilizamos para interpretar um certo conjunto de dados ou evidências, enquanto mantemos os conceitos e outros elementos dessas teorias sob o foco de nossa consciência. As observacionais são as teorias utilizadas para a produção dos dados de que depende o trabalho intelectual coordenado pelas teorias explícitas¹⁹. Geralmente, os elementos que compõem as teorias observacionais não se mantêm sob o foco de nossa consciência, embora isso possa vir a acontecer se algo “der errado” ou se algo nos surpreender. As teorias implícitas são constituídas por conceitos que participam do processo de percepção mediada e que constituem a linguagem na qual expressamos nossas observações.

Antes de me deter no desenvolvimento do conceito de percepção mediada, apresentarei dois pequenos exemplos que concebi para ilustrar o significado dos três tipos de teorias. A análise espectral da luz emitida por estrelas distantes mostra uma tendência das linhas espectrais de se deslocarem para o vermelho. O espectro da luz das estrelas é o dado desta observação e é sobre ele que deverão trabalhar as teorias explícitas, necessárias à sua interpretação. Mas, como esse dado foi produzido?

¹⁸ Não há razão nem mesmo para acreditar que a espécie humana continuará a existir para todo o sempre.

¹⁹ Latour e Woolgar (1987) descrevem a atividade de um laboratório de neuroendocrinologia no livro “Vida de Laboratório” e nos dão vários exemplos do uso de teorias observacionais e seu papel no processo de produção de fatos. Utilizarei alguns dos exemplos apresentados por esses autores na seção “as ciências pressupõem autoridade, reificação e produção de fatos”.



Uma série de estudos foi desenvolvida, na segunda metade do século XIX, para investigar os processos de interação da radiação com a matéria, com atenção especial para os processos de emissão e absorção de luz. Em função desses estudos, os físicos propuseram que os espectros da radiação emitida ou absorvida podiam ser usados como "impressões digitais" para a identificação dos elementos ou materiais em uma amostra²⁰. Tais estudos foram reunidos e interpretados posteriormente pela mecânica quântica e serão assumidos aqui como constituindo a base da "teoria observacional"²¹ que dá significado ao desvio para o vermelho do espectro proveniente da luz das estrelas.

Mas, como podemos interpretar o deslocamento do espectro para o vermelho? Um modelo derivado da teoria da radiação eletromagnética clássica permite-nos interpretar o deslocamento para o vermelho como consequência do afastamento das estrelas que emitem luz em nossa direção. Esse modelo, conhecido como efeito Doppler seria, então, aquilo que estou chamando de teoria explícita?

A resposta a essa questão depende do quanto consideramos que a simples associação entre a característica dos espectros e a conclusão de que as estrelas estão se afastando da Terra seja uma interpretação suficiente dos dados. Podemos nos perguntar: mas, porque as estrelas estariam se afastando? Afinal, como o dado do afastamento das estrelas em relação à Terra se relaciona com todos os outros conhecimentos que as teorias de que dispomos atualmente nos fornecem sobre o universo, sua evolução e suas características?

Ao considerar necessário dar respostas a essas questões chega-se à conclusão de que a interpretação do dado apresentado neste exemplo não se limita ao efeito Doppler, sendo necessário trabalhar sobre as teorias astrofísicas de que dispomos, rearticulando-as ou modificando-as, se necessário. O efeito Doppler, por outro lado, enquanto parte de uma teoria

²⁰ Esta idéia foi sendo desenvolvida a partir de observações dos espectros, em condições controladas. A explicação disso só começou a se desenhar com a hipótese de Planck, sobre a radiação do corpo negro, e o desenvolvimento do modelo atômico de Bohr.

²¹ Os estudos a que me refiro só vieram a alcançar o status de teoria, tal como eu a defini anteriormente, com o advento da mecânica quântica.



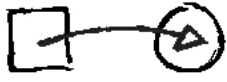
bem corroborada e utilizada como base para atribuição de significado ao dado poderia ser mais bem classificado como parte da teoria observacional, do que como teoria explícita.

Pode-se definir o conceito de teorias observacionais como sendo o conjunto de teorias, modelos e esquemas interpretativos bem sucedidos e aceitos na comunidade de especialistas, cuja função é a de estender nossos sentidos e ampliar nossa capacidade de coordenar conjecturas criativas com evidências observacionais. As conjecturas criativas ou teorias explícitas, em nosso exemplo, seriam as teorias astrofísicas capazes de dar um sentido causal ao dado do afastamento das estrelas.

Diferentemente das teorias explícitas e observacionais, as teorias implícitas são constituídas por conceitos que utilizamos sem nem nos darmos conta deles. Em nosso exemplo, a idéia de que a luz é uma entidade que viaja pelo espaço desde a estrela até a terra e o próprio conceito de luz fazem parte de uma teoria implícita. Trata-se de conceitos tão básicos que dificilmente voltarão a ser alvo explícito da atenção e da discussão entre cientistas.

Todavia, se é básico para os cientistas, o conceito de luz - enquanto entidade que viaja pelo espaço - não é básico e, tampouco, faz parte da ecologia conceitual dos estudantes no ensino fundamental. Enquanto professor de ciências, eu conheço o esforço envolvido na construção desse conceito em sala de aula. Por isso, a noção do que são as teorias implícitas em cada contexto ou situação vai depender de quem estamos falando e de qual é a cultura básica e universalizada que constitui o saber daquela comunidade.

Reconhecer a presença necessária de teorias explícitas e observacionais na atividade científica leva à óbvia conclusão de não existem observações puras nas ciências, livres de teorias ou impermeáveis à mudança teórica. No exemplo anterior, se retirássemos os conceitos que compõem as teorias observacionais associadas a eletrodinâmica clássica e a física quântica, na tentativa de alcançar uma “observação pura”, o máximo que obteríamos seria um conjunto de observações a serem expressos na linguagem cotidiana, não especializada das ciências. O resultado disso seria a perda total de significado do dado obtido com o espectro da luz proveniente das estrelas. O que mais poderíamos obter do que frases do tipo: “aqui há uma série de linhas coloridas paralelas umas às outras sobre um fundo negro”? Todavia, nem



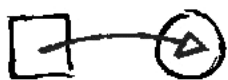
transformando um dado de pesquisa importante em um conjunto de observações anedóticas, teríamos acesso a algo que pudesse vagamente se parecer com a idéia de “observações puras”. Em outras palavras, nem mesmo fora do campo das ciências existe algo similar ao que o empirismo indutivista denominou “observações puras”.

Para argumentar a favor deste ponto de vista vou mudar de exemplo e apresentar uma proposição comum e aparentemente independente de qualquer conhecimento especializado. Vejamos o caso do simples enunciado “a mesa de meu computador é branca”. Esse enunciado, por acaso, contém uma observação pura?

A resposta é obviamente não! O enunciado em questão está, certamente, carregado de conceitos, cujos significados dependem da cultura em que foram produzidos. Se isto é óbvio demais para o caso dos termos mesa e computador, haja visto que se tratam de artefatos e frutos do trabalho humano, consideremos, então, o conceito de branco. Se nossa mesa descascar e formos comprar tinta para cobrir a região afetada teremos, provavelmente, que levar uma lasca da mesa ao vendedor para que ele possa saber que tipo de branco é aquele que recobre a mesa, pois, afinal há várias tintas brancas diferentes em exposição na loja.

Isso, em geral, pode constituir uma surpresa para algumas pessoas e, apesar de eu não ter entrevistado vendedores de tinta antes de elaborar esse exemplo, acho que deve ser uma situação comum no trabalho desses profissionais a necessidade de pedir às pessoas que elas definam exatamente o tipo de branco de que elas estão necessitando. Se a mesa de computador pertencesse a um esquimó, todavia, o vendedor não teria grandes problemas. Os esquimós reconhecem uma grande quantidade de matizes na cor branca, porque isso lhes ajuda a diferenciar diversos tipos de neve e de animais cuja pelagem “branca” serve como camuflagem no ambiente do Ártico. O conceito de branco de um esquimó pode não ser muito diferente de um especialista em tintas, mas é provavelmente mais sofisticado que o conceito de branco da maioria dos outros humanos.

O importante neste exemplo é a conclusão de que o conceito de branco pode variar e que a afirmação de que algo é branco não constitui uma observação pura. Sendo assim, nem mesmo a linguagem cotidiana nos dá acesso a observações puras ou isentas de conceitos determinados



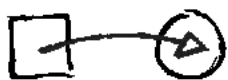
contextual e culturalmente. Não há tal tipo de observação, assim como não há linguagem que não seja constituída por conceitos. Os conceitos, articulados ou não em teorias explícitas e conscientemente estruturadas, são e serão eternamente os mediadores de nossa relação com a realidade. Nunca teremos acesso direto à realidade sem a mediação dos conceitos que constituem nossa linguagem e nossa cultura.

Vejamos como Vygotsky (1991) nos ajuda a compreender essa questão, ao propor a tese de que a percepção e as observações são mediadas por conceitos. Segundo esse autor, os conceitos têm origem no desenvolvimento interdependente do pensamento e da linguagem. No início, as crianças pequenas ainda não dispõem propriamente de conceitos e usam as palavras com a função de rotular e identificar objetos. A rotulação capacita a criança a escolher um objeto específico e isolá-lo de uma situação global por ela percebida simultaneamente. Como resultado, o imediatismo da percepção ‘natural’ é suplantado por um processo complexo de mediação.

O aspecto característico da percepção humana – que se inicia desde muito cedo com o processo de rotulação - é o de que os objetos e demais elementos do ambiente não são vistos, simplesmente, em cor e forma: eles são percebidos a partir dos sistemas conceituais e culturais que são internalizados pelo sujeito durante o processo de desenvolvimento do pensamento e da linguagem. Quando vemos um relógio, por exemplo, não vemos simplesmente algo redondo e preto com dois ponteiros. Vemos efetivamente um objeto que identificamos imediatamente como relógio. Podemos, assim, distinguir um ponteiro do outro e saber quantas horas o relógio está marcando. Segundo Vygotsky (ibidem, p. 37):

Alguns pacientes com lesão cerebral dizem, quando vêem um relógio, que estão vendo alguma coisa redonda e branca com duas pequenas tiras de aço, mas são incapazes de reconhecê-lo como um relógio; tais pessoas perderam seu relacionamento real com os objetos. Essas observações sugerem que toda percepção humana consiste em percepções categorizadas ao invés de isoladas.

O fato do acesso às evidências ser inexoravelmente mediado por conceitos e teorias torna o conhecimento científico sempre provisório e conjectural. Isto, todavia, não reduz a importância das evidências ou a crença de que existe um mundo natural independente de nossa consciência e



de nossas teorias. Ao admitirmos esse fato, o que muda são nossas concepções acerca do que são observações, fatos e evidências.

Para finalizar esta seção irei retomar os conceitos de teorias explícitas, observacionais e implícitas para dar um sentido mais preciso à idéia de que as ciências pressupõem a coordenação entre teorias e evidências. Admitir a existência de múltiplas teorias simultaneamente utilizadas no trabalho de produção, análise e interpretação dos dados implica em conceber a coordenação entre teorias e evidências como um processo que envolve a coordenação entre teorias. Essa idéia tem uma consequência importante sobre o modo como as observações controladas, as medições e os testes experimentais costumam ser concebidos.

Lakatos (1979, p. 140), utiliza os conceitos de teorias explícitas e observacionais em seu trabalho, para afirmar que a existência simultânea desses dois tipos de teorias traz pelo menos duas consequências importantes para a epistemologia. Em primeiro lugar, um teste experimental deixa de ser visto como uma luta entre dois “adversários” que seriam, de um lado, as previsões derivadas de uma teoria e, do outro lado, os dados dos experimentos. A razão disso é que não há dados sem teorias observacionais e que duas teorias observacionais diferentes podem levar a interpretações completamente diferentes dos dados ou dos resultados dos testes experimentais.

A segunda consequência importante é a de que um teste experimental deixa ser visto como uma arena capaz de refutar ou levar ao abandono de uma teoria, cujas previsões mostraram-se em desajuste com os dados. Em outras palavras, não existe falseamento conclusivo de teorias com base em experimentos. Acho que a importância do tema e a clareza do próprio autor justificam a citação de seu texto original. Na citação, nota-se o uso do termo orientação heurística, cuja definição já foi apresentada na segunda seção do presente capítulo.

Uma das coisas mais importantes que se aprendem estudando os programas de pesquisa é que relativamente poucas experiências são de fato importantes. A orientação heurística que o físico teórico recebe de testes e ‘refutações’ é de ordinário tão trivial que o procedimento de teste em larga escala – ou até uma excessiva preocupação com os dados já disponíveis – pode ser uma perda de tempo. Na maioria dos casos dispensamos refutações que nos digam que a nova teoria está urgentemente necessitada de substituição: a heurística positiva do programa nos impele para a frente de qualquer maneira. De mais a mais, uma severa ‘interpretação refutável’ à versão incipiente de um programa é uma perigosa



crueldade metodológica. As primeiras versões podem até ‘aplicar-se’ somente a casos ideais não-existentes (LAKATOS, 1979, p. 186).

Quadro III.2- Os três conteúdos do currículo para a coordenação entre Teorias e Evidências

APECTOS OU DIMENSÕES DAS CIÊNCIAS	Coord. entre Teorias-Evidências
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	Na educação em ciências, a realização de experimentos e observações controladas permite elevar a inteligibilidade e a plausibilidade de modelos, conceitos e teorias que se pretende ensinar. É preciso, todavia, levar em consideração que a relação entre as teorias e as evidências que supostamente as sustentam é complexa, quer sejam as teorias ingênuas (teorias do senso comum), quer sejam formais (teorias científicas ou da ciência escolar). Assim, por exemplo, os estudantes tendem a interpretar os experimentos de acordo com suas idéias e não a partir das idéias das ciências com as quais, muitas vezes, sequer tiveram contato ainda.
Aprender sobre ciências	A produção de conhecimento pressupõe a coordenação entre Teorias e Evidências. As próprias evidências, todavia, só nos são acessíveis a partir de idéias, conceitos e teorias interpretativas (às vezes implícitas). Além disso, um mesmo conjunto de fenômenos pode ser interpretado de modos diferentes. Co-ordenar Teorias e Evidências é, portanto, coordenar teorias entre si para integrar “conhecimento novo” ao conhecimento que já possuímos. Essa coordenação, às vezes, exige que reconsideremos teorias e “fatos” que admitíamos como corretos.
Aprender a fazer ciências	Aprender a: 1º- produzir evidências para elevar a inteligibilidade e a plausibilidade de idéias e argumentos; 2º- refletir sobre os critérios utilizados para determinar o <i>status</i> de uma explicação ou teoria; 3º- valorizar explicações ou teorias a partir de sua generalidade e consistência interna.



III.4- Múltiplas linguagens

Durante toda a história da filosofia, a linguagem foi considerada um instrumento do pensamento. Segundo Terricabras e Mora (2001), a pergunta sobre a natureza e o papel da linguagem na produção do conhecimento remonta à origem da própria filosofia. Desde os pré-socráticos, os filósofos questionam a relação entre linguagem e realidade. A partir de Aristóteles e dos estóicos a relação entre linguagem e realidade passou a ser vista sob uma nova perspectiva, pois nela se introduziu a noção de conceito. O conceito ou imagem mental passou, desde então, a constituir uma mediação obrigatória entre as palavras – concebidas como sons vocais ou sinais escritos – e as idéias ou realidades que esses sinais supostamente representam.

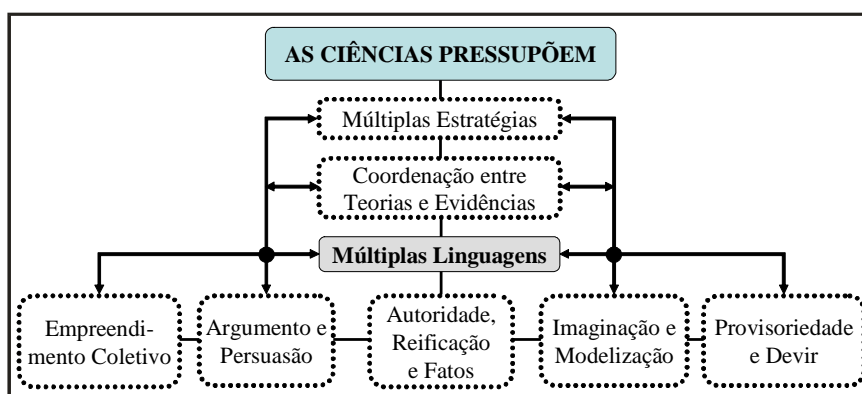


Diagrama III.4

De acordo com Abbagnano (1998), os racionalistas, em geral, associaram linguagem e razão de modo não problemático, mantendo uma atitude mais dogmática e confiante em relação à linguagem. Coube primeiro aos sofistas e depois aos empiristas um papel mais crítico a respeito da relação entre linguagem e realidade. É do empirismo, por exemplo, o questionamento à crença - herdada da perspectiva aristotélica - de que todo termo ou expressão lingüística corresponde, necessariamente, a uma realidade designada por este termo ou expressão.

No século XX, a crítica e a análise da linguagem foi considerada uma das ocupações centrais de toda a filosofia. No caso específico da filosofia das ciências, praticamente, todos os grandes pensadores reconheceram o papel central da linguagem na produção do conhecimento e se propuseram a discuti-lo, em alguma medida. Karl Popper, por exemplo, considera as teorias,



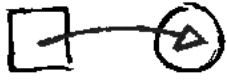
proposições, ou asserções científicas como entidades lingüísticas. Entre outras coisas, esse autor nos diz que:

As mais importantes criações humanas, com os mais importantes efeitos de retrocarga sobre nós mesmos e especialmente sobre nossos cérebros, são as funções mais altas da linguagem humana; mais especialmente, a função descritiva e a função argumentativa (POPPER, 1975, p. 121).

Além de ser o substrato a partir do qual se constituem os objetos do 3º mundo, a linguagem é para Popper um portal que permite a passagem e o relacionamento entre os três mundos (POPPER, *ibidem*, p. 156). Até onde consiste de ações ou símbolos materiais, a linguagem pertence ao 1º mundo. Desde que esteja sendo usada para exprimir um estado subjetivo ou psicológico, ou para promover mudanças em nosso estado subjetivo, a linguagem pertence ao 2º mundo. Ela pertencerá ao 3º mundo, se estiver transmitindo significados, descrevendo coisas e criando relações entre elas.

Thomas Kuhn reserva para a filosofia da linguagem o importante papel de solucionar aquilo que ele entende como uma série de mal entendidos em torno das teses desenvolvidas em sua famosa obra “A estrutura das Revoluções Científicas”. A tese da *incomensurabilidade* foi um dos principais alvos de seus críticos e o motivo que os levaram a atribuir a Thomas Kuhn uma visão irracional do processo de desenvolvimento científico. Em uma das ocasiões que se pronunciou a respeito da incomensurabilidade Kuhn (1998, p. 219) propõe designar aqueles que defendem pontos de vista não comparáveis como membros de diferentes comunidades de linguagem. A incomensurabilidade entre seus modos de problematizar e interpretar os fenômenos naturais deveria ser vista, assim, como resultado de problemas de comunicação ou, antes, problemas de tradução entre linguagens distintas. Ao rejeitar a pecha do irracionalismo associada à tese da incomensurabilidade, esse autor nos diz que:

Não se pode rotular de ‘irracional’ nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico sem fazer enorme violência ao termo. Portanto, é uma sorte que a conclusão seja desnecessária. Pode-se negar, como o fazemos Feyrabend e eu, a existência de uma linguagem de observação partilhada em sua inteireza por duas teorias e ainda esperar preservar boas razões para escolher entre elas. Para atingir essa meta, no entanto, os filósofos da ciência precisarão seguir outros filósofos contemporâneos no exame, numa profundidade até agora sem precedentes, da



maneira com que a linguagem se ajusta ao mundo, indagando como os termos se ligam à natureza, como se aprendem essas ligações e como são transmitidas de uma geração a outra pelos membros de uma comunidade lingüística (KUHN, 1979, p. 290).

Essa citação permite introduzir algumas contribuições de autores do século XX que se dedicaram à análise de questões muito próximas daquelas que Thomas Kuhn propõe na citação acima. Fazendo meus os questionamentos de Kuhn, para dialogar com o trabalho desses autores, pergunto, então: como o significado das palavras se ajusta ao mundo ou “se liga à natureza”? Como essas “ligações” são aprendidas e transmitidas de uma geração à outra?

Para propor uma resposta parcial a essas questões utilizarei idéias baseadas nos trabalhos de Leontiev (1978), Vygotsky (1991 e 1999) e Luria (2001). Nesses trabalhos, as relações entre linguagem e cultura são abordadas na perspectiva histórico-social. Dentro desta perspectiva, existem traços comuns a todas as formas de linguagem, sejam elas linguagens cotidianas ou especializadas, como é o caso das linguagens das ciências. Esboçar esse traço comum é algo importante para que se possa compreender, posteriormente, tanto a unidade quanto as diferenças entre a linguagem cotidiana e as linguagens artificiais produzidas e utilizadas no interior de comunidades de especialistas.

Segundo Leontiev (1978, p. 266 e 267), o papel fundamental exercido pela linguagem na cultura deve-se ao fato de que o homem é um ser de natureza social. Por essa razão, todas as características distintivas da espécie humana pressupõem interações sociais mediadas pela linguagem e pelos sistemas conceituais provenientes do desenvolvimento cultural:

As aptidões e os caracteres especificamente humanos não se transmitem de modo algum por hereditariedade biológica, mas adquirem-se no decurso da vida por um processo de apropriação da cultura criada pelas gerações precedentes.....(...) As gerações humanas morrem e sucedem-se, mas aquilo que criaram passa às gerações seguintes que multiplicam e aperfeiçoam pelo trabalho e pela luta as riquezas que lhes foram transmitidas e ‘passam o testemunho’ do desenvolvimento da humanidade.

Luria (2001) nos diz que os sistemas conceituais constituídos através da linguagem permitem aos indivíduos penetrar na profundidade das coisas, sair dos limites da impressão imediata, organizar



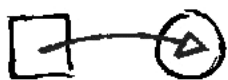
seu comportamento para alcançar objetivos conscientemente traçados e transmitir as informações obtidas através de sua atividade cognitiva para outros indivíduos. O desenvolvimento da linguagem, tanto na sociogênese, quanto na psicogênese, permite, ainda, a construção de estruturas lógico-gramaticais que formam as bases do pensamento lógico. Segundo esse autor:

A presença da linguagem e de suas estruturas lógico-gramaticais permite ao homem tirar conclusões com base em raciocínios lógicos, sem ter que se dirigir cada vez à experiência sensorial..... (...) realizar a operação dedutiva sem se apoiar nas impressões imediatas (...) Esta propriedade da linguagem cria a possibilidade da existência das formas mais complexas do pensamento discursivo (indutivo e dedutivo), que constituem as formas fundamentais da atividade intelectual produtiva do homem (LURIA, 2001, p. 202).

A forma como os sistemas conceituais são internalizados por um indivíduo - mediante as interações verbais que ele mantém com outros indivíduos - depende do desenvolvimento de uma função intelectual superior a que Vygotsky (1999) denominou pensamento verbal. O pensamento verbal, obviamente, não é algo que nasce com o indivíduo. Antes, é uma função intelectual que surge progressivamente através do desenvolvimento interdependente do pensamento e da linguagem²². A unidade de análise do desenvolvimento e do funcionamento do pensamento verbal é o significado das palavras²³. O significado de uma palavra nunca se refere a um objeto

²² É importante dizer que pensamento e linguagem são funções distintas do intelecto. Assim, existem formas de pensamento não mediadas pela linguagem. Segundo Vygotsky (1999, p. 58): *Há uma vasta área do pensamento que não mantém relação direta com a fala. O pensamento manifestado no uso de instrumentos pertence a essa área, da mesma forma que o intelecto prático em geral. Do mesmo modo que se pode falar em pensamento não mediado pela linguagem, pode-se também falar em linguagem não mediada pelo pensamento. Nesse caso, faz-se uso da linguagem de forma mecânica e repetitiva, sem mobilizar o pensamento.*

²³ Para Bahktin (1999, p. 95) não são as palavras - tomadas isoladamente segundo seu aspecto semântico - que permitem compreender as interações verbais concretas. Esse lugar está reservado para as enunciações, ou atos de fala, que podem, às vezes, até se confundir com uma única palavra, desde que essa carregue um sentido ideológico ou vivencial completo. As enunciações são constituídas de uma ou mais palavras cujo significado se transforma e se ajusta a cada "tema". Tema, por sua vez, é o termo que Bahktin utiliza para identificar o sentido único e não reiterável da enunciação completa. A posição de Bahktin não diverge, em essência, daquela exposta por Vygotsky para o qual o sentido das palavras também depende completamente do contexto em que elas são proferidas. A principal diferença entre Vygotsky e Bahktin é que o primeiro dá maior destaque à semântica e ao significado estável das palavras, tendo em vista seu objetivo de analisar o processo psicológico de internalização e formação de conceitos ou sistemas conceituais.



isolado, mas a um grupo ou classe de objetos. Essa é a razão pela qual o significado de cada palavra já é, em si, uma generalização²⁴.

A generalização é um ato verbal do pensamento e reflete a realidade de modo bem diverso daquele da sensação e da percepção imediatas. Toda generalização implica em abstração. É por isso que o conhecimento do mundo natural que constituímos através da linguagem nos permite ir além das aparências, uma vez que lidamos não apenas com as sensações imediatas que o contato com o mundo natural nos proporciona, mas também com generalizações construídas anteriormente no interior de nossa cultura e que estão contidas nas palavras-conceitos utilizadas para produzir proposições e relatar ou refletir nossas observações e sensações.

Nem a experiência individual de um único homem, por mais rica que seja, nem estruturas inatas com as quais ele já possa ter nascido são suficientes para explicar a formação do pensamento lógico e matemático, os sistemas conceituais e o amplo conhecimento empírico que cada homem pode desenvolver ao longo de sua vida. Tanto o desenvolvimento intelectual, quanto o crescimento do conhecimento empírico de um indivíduo, em particular, depende de um processo de transmissão racional e intencional de experiência e pensamento entre membros de uma comunidade (VYGOTSKY, 1999). A linguagem é o sistema mediador que proporciona esse desenvolvimento profundamente enraizado nas ligações entre história individual e história social (VYGOTSKY, 1991).

O ensino-aprendizagem permite o desenvolvimento cultural na história individual e social. Ele ocorre por meio de processos de comunicação no interior de atividades compartilhadas. Há processos implícitos de comunicação associados a formas de pensamento não verbal. Os processos explícitos ocorrem sob a forma de interações verbais²⁵.

²⁴ Um proto-conceito no início do desenvolvimento intelectual ou um conceito que faz parte de um sistema conceitual para o adolescente ou para o adulto.

²⁵ Os sujeitos envolvidos em atividades compartilhadas não necessariamente tomam consciência do modo como os processos de comunicação se desenvolvem. Em outras palavras, eles não produzem espontaneamente reflexões sobre o modo como ocorre a aprendizagem. Assim, muitos processos de aprendizagem ocorrem de modo tácito, o que não diminui a importância deste tipo de atividade. Como argumentam Bohm & Peat (1989) ou Kuhn (1998), a aprendizagem tácita gerada no interior das atividades compartilhadas é fundamental, por exemplo, para a inserção de estudantes ou pesquisadores iniciantes na prática das ciências.



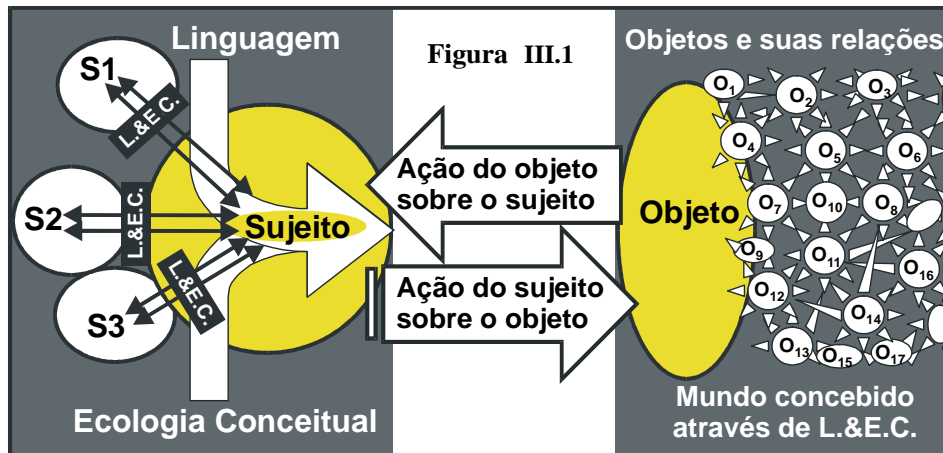
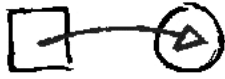
Ao adotar uma perspectiva histórica, social, cultural e cognitiva, nós podemos resumir o traço comum a todas as formas de linguagem em três pontos principais. Assim, toda e qualquer linguagem:

1. ganha vida no interior de uma cultura específica e serve como meio através do qual cada sujeito tem acesso aos bens culturais, artefatos cognitivos e instrumentos intelectuais desenvolvidos por outros sujeitos de sua geração ou de gerações anteriores;
2. desempenha um papel fundamental nos processos de cognição e estruturação do pensamento;
3. permite a cooperação, o conflito, a argumentação e a persuasão dos sujeitos envolvidos em um mesmo empreendimento, criando, assim, a possibilidade de aprender, ensinar, produzir e transformar a cultura.

O terceiro item desta lista de três pontos será discutido em outra seção deste capítulo, quando eu desenvolverei a idéia de que as ciências pressupõem argumento e persuasão. Os dois primeiros pontos da lista são o objeto da seção na qual nos encontramos e foram identificados por Bronowski (1979, p.53), quando ele nos diz que:

As abelhas e outros animais usam a linguagem para informar e instruir, ou seja, como meio de comunicação pública. O homem desenvolveu o uso particular da linguagem para manipular idéias na sua cabeça. Neste dote, tal como noutros, o homem constitui uma criatura dupla: é o solitário social que necessita estar apoiado nos companheiros, ainda que para pensar sozinho.

A dupla função da linguagem como instrumento de comunicação e estruturação do pensamento pode ser compreendida mediante uma análise do processo de cognição. As leituras que tive oportunidade de fazer para produzir esta tese me levaram a conceber o processo de cognição a partir da interação entre essas duas funções da linguagem. Uma síntese desse esforço intelectual encontra-se representado na figura III.1.

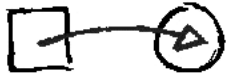


LEGENDA:
S1, S2, S3- sujeitos 1, 2 e 3.
L&E.C.- Abreviatura de “Linguagem & Ecologia Conceitual”
O1, O2, O3 e etc.- objetos 1, 2, 3 e etc.

Nesta figura nota-se o caráter necessariamente mediado das interações entre o sujeito cognoscente e o objeto do conhecimento. As elipses S1, S2 e S3 - que aparecem no lado esquerdo da figura - representam outros sujeitos com os quais o sujeito cognoscente interage ou interagiu, antes de voltar-se para o objeto do conhecimento, com a intenção de conhecer suas propriedades e estabelecer relações entre ele e outros objetos já conhecidos, ou que compõem uma mesma realidade. Esses outros objetos são representados no lado direito da figura por meio de discos identificados pelos símbolos O1, O2, O3, etc. A presença das elipses S1, S2 e S3 na figura mostra que a cognição não pode ser entendida como uma interação restrita a dois elementos: o sujeito cognoscente e o objeto do conhecimento. Afinal, os conceitos que o sujeito utiliza para conhecer o objeto não nascem com ele. Tais conceitos fazem parte de uma herança cultural da qual ele se apropria mediante sua interação com outros sujeitos.

A linguagem permite o desenvolvimento do pensamento lógico, bem como a criação e o compartilhamento de um conjunto de elementos culturais que incluem os sistemas conceituais, mas não se limitam a eles. Este conjunto de elementos está reunido na figura sob o rótulo de *ecologia conceitual*, termo que eu utilizei anteriormente quando discuti a idéia de que as ciências pressupõem a coordenação entre teorias e evidências.

Os elementos que compõem a ecologia conceitual funcionam como mediações no processo de assimilação-acomodação mediante o qual o sujeito modifica o objeto do conhecimento



atribuindo-lhe novas propriedades, significados ou estabelecendo relações entre ele e outros objetos. Pode-se dizer também que a linguagem e a ecologia conceitual constituem os instrumentos a partir dos quais se dá a ação do sujeito cognoscente sobre o objeto do conhecimento.

Em contrapartida, o objeto também age sobre a estrutura cognitiva do sujeito, seja pela mera ampliação daquilo que tal estrutura permite considerar como real ou possível, seja pela alteração de significados, conceitos e relações produzidas pelo processo de acomodação²⁶. Essa descrição do processo e, principalmente, o uso dos termos assimilação e acomodação mostra que eu estou utilizando aqui parte das contribuições da teoria da equilibração das estruturas cognitivas de Piaget (1976). Desse modo, tais estruturas cognitivas podem ser parcialmente identificadas com aquilo que a figura III.1 apresenta sob a denominação de linguagem e ecologia conceitual.

A característica que mais se destaca na representação do processo cognitivo sintetizada através da figura III.1 é o fato de que os dois pólos do processo são vistos como elementos de teias complexas. O sujeito cognoscente é um ser histórico-social e os recursos de que dispõe para agir cognitivamente sobre o objeto são apropriados da cultura a que ele pertence e com a qual também pode contribuir. O objeto da cognição, por sua vez, é representado por meio de palavras ou outras formas de expressão que têm conceitos por trás de si. Os conceitos, por sua vez, fazem parte de

²⁶ Para Piaget (1976), **assimilação** e **acomodação** são os processos elementares que permitem aos sujeitos interagirem com a realidade ou com um objeto de conhecimento. A assimilação é o processo pelo qual o sujeito incorpora o objeto às suas estruturas cognitivas. Pegar, denominar, ordenar, classificar, assim como qualquer outra ação dirigida ao objeto são esquemas ou formas de assimilar. Os esquemas assimilam os objetos às estruturas cognitivas, porque permitem a representação mental ou a incorporação dos objetos aos sistemas de significação já construídos pelo sujeito. Ocorre que, em maior ou menor grau, assimilar adaptar a ação às características dos objetos. Este ajuste acontece por que os objetos podem "resistir", ou não se ajustar aos esquemas assimiladores, tal como esses estavam constituídos anteriormente. O ajustamento dos esquemas, necessário à assimilação, é conhecido como acomodação. A acomodação é, portanto, um processo complementar ao da assimilação e indica que, da mesma forma que o sujeito incorpora o objeto às suas estruturas, essas se modificam em função das características do objeto. Assim, por exemplo, quando um sujeito precisa modificar o significado que ele atribui à palavra mamífero a fim de relacioná-la a um novo objeto (uma baleia, por exemplo), pode-se dizer que ocorreu um processo de acomodação no significado da palavra e no conceito a ela associada.



uma rede de generalizações constituída através da linguagem e da ecologia conceitual do sujeito²⁷.

O objeto de conhecimento nesta figura não pertence ao primeiro mundo de Popper. O mundo representado à direita da figura não é o mundo natural, mas o mundo real concebido pelo sujeito. O mundo concebido – ou mundo real – também não equivale ao terceiro mundo de Popper, pois ele não é autônomo e independente do sujeito cognoscente ou da cultura em que esse está inserido. Ao contrário, o mundo concebido possui estreita relação com o mundo cultural, sendo por isso provisório e dinâmico, tal como a linguagem e os conceitos que o constituem.

Tendo realizado um esforço de esboçar algumas contribuições para compreender as relações entre linguagem, cultura e cognição, acionadas para responder parcialmente as questões formuladas por Thomas Kuhn no início desta seção, passarei agora a fazer brevíssimas considerações gerais sobre as linguagens artificiais ou especializadas das ciências. Em primeiro lugar, vale a pena justificar porque o termo linguagens especializadas aparece aqui sempre no plural, nunca no singular. Haveria sentido em se falar em uma linguagem universal das ciências, no singular?

É ponto pacífico que empreendimentos coletivos levados adiante por comunidades de especialistas acabam por constituir linguagens especializadas, normalmente identificadas por um conjunto de termos técnicos. Para Bakhtin (1999), termos técnicos e suas significações surgem de práticas sociais. Por sua vez, as práticas sociais e as interações verbais que nelas ocorrem dão origem a inúmeros gêneros de discurso. Cada época e cada grupo social têm seu repertório de formas e gêneros de discurso e é isso que constitui as linguagens especializadas de uma determinada comunidade.

Mesmo uma única ciência como a física, por exemplo, utiliza várias linguagens que se inter-relacionam. A física utiliza a linguagem verbal, mas nesta se verifica a presença de muitos

²⁷ Sob o ponto de vista de Jean Piaget (PIAGET, 1976) os conceitos correspondem a esquemas de assimilação (constituídos a partir da equilíbrio esquema-objeto ou 1ª forma de equilíbrio). Além disso, os conceitos não têm existência independente. Eles tendem a ser assimilados e acomodados a outros conceitos (equilíbrio esquema-esquema ou 2ª forma de equilíbrio), bem como à estrutura cognitiva (equilíbrio esquema-estrutura ou 3ª forma de equilíbrio).



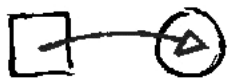
conceitos ou “termos técnicos” que praticamente excluem os não especialistas da lista de interlocutores ou usuários desta linguagem. Por sua vez, a linguagem verbal especializada da física interage com a linguagem algébrica, geométrica, gráfica, iconográfica, dentre outras (LEMKE, 2002).

Se, por um lado, existem múltiplas linguagens especializadas no interior de uma única e mesma ciência, há, por outro lado, um grande número de ciências naturais. A física e a astronomia, por exemplo, fazem uso das linguagens da matemática, de modo muito diferente do que acontece na biologia ou nas ciências sociais, nas quais o papel da matemática é mais instrumental do que estrutural.

Apesar de possuírem suas próprias linguagens, ou se quisermos, seus próprios gêneros de discurso, as ciências cumprem uma função social e lidam com problemas e necessidades preliminarmente interpretados a partir dos conceitos e proposições oriundas da linguagem comum, não especializada. Isso nos conduz, portanto, ao problema da necessidade de tradução entre a linguagem cotidiana e as diversas linguagens especializadas compartilhadas pelas comunidades de especialistas.

A tradução precisa ocorrer. As ciências não podem se constituir sem linguagens especializadas, mas também não podem abandonar, de vez, a linguagem cotidiana, pois isso significaria romper os laços que as unem à sociedade. Mas, a tradução apresenta aspectos problemáticos associados às rupturas semânticas e sintáticas que marcam as diferenças entre a linguagem cotidiana e as linguagens especializadas.

Nesta seção, abordarei o problema das diferenças entre as linguagens científica e cotidiana a partir do conceito de rupturas epistemológicas proposto por Bachelard (1972 e 1996). É preciso ressaltar, entretanto, que muitas outras abordagens podem ser adotadas para lidar com essa diferença. Uma delas, que eu considero particularmente importante quando consideramos os processos de apropriação de aspectos da linguagem científica na educação escolar, nos é apresentada pelo trabalho de Halliday e Martin (1993), cujas implicações para a educação em ciências foram analisadas em Mortimer (1998). Esses autores destacam as diferenças sintáticas entre a linguagem cotidiana e a linguagem científica. A segunda está mais próxima da linguagem



escrita, estruturada e reflexiva. A primeira possui uma gramática mais complexa e diversificada, está mais próxima da linguagem falada, é espontânea e menos dependente da capacidade do falante em refletir ou tomar consciência daquilo que pretende dizer e dos argumentos que planeja apresentar.

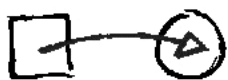
Segundo Bachelard (1972, p. 27), o espírito científico contemporâneo não pode ser colocado em continuidade com o simples bom senso. O novo espírito científico representa um jogo mais arriscado. Ele formula teses que, inicialmente, podem chocar o senso comum.

Nós acreditamos, com efeito, que o progresso científico manifesta sempre uma ruptura, perpétuas rupturas, entre conhecimento comum e conhecimento científico, desde que se aborde uma ciência evoluída, uma ciência que, pelo fato mesmo de suas rupturas, traga a marca da modernidade.

No mesmo trabalho, Gaston Bachelard nos diz, ainda, que a linguagem científica é, por princípio, uma neo-linguagem. Para ser entendido na cidade científica é preciso falar cientificamente, traduzindo os termos da linguagem comum em linguagem científica. Se fosse dada atenção a esta atividade de tradução frequentemente mascarada, perceber-se-ia que há na linguagem da ciência, um grande número de “*termos entre aspas*” (BACHELARD, 1972, p. 37).

Bachelard nos dá um exemplo de “*termo entre aspas*” para ilustrar sua afirmação de que a linguagem científica é um neo-linguagem. Trata-se do uso do termo “*temperatura*” para interpretar o aumento da energia interna de um único núcleo atômico. Como não há sentido em se usar esse conceito - que é de natureza estatística - para predicar sobre um fenômeno que ocorre no interior de um único núcleo, fica estabelecido, neste exemplo, o uso do termo “*temperatura do núcleo*” como o resultado de uma analogia.

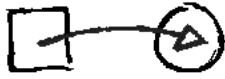
O uso de metáforas e analogias e a consciência que os cientistas têm do caráter metafórico e analógico das imagens e palavras usadas por eles são identificados por Bachelard como marcas da ruptura cultural e epistemológica empreendida pela linguagem científica em relação à linguagem cotidiana. Podemos generalizar esse ponto de vista dizendo que o uso e o controle conscientes de conceitos e teorias explícitas são marcos distintivos da cultura científica em relação à cultura de senso comum. Desde esse ponto de vista, a falta de consciência do caráter



analógico, metafórico e teórico da linguagem científica impede o acesso de qualquer sujeito a essa forma cultural específica.

Quadro III.3- Os três conteúdos do currículo para as múltiplas linguagens das ciências

APECTOS OU DIMENSÕES DAS CIÊNCIAS	Múltiplas Linguagens
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS	Palavras só se tornam significativas em contextos significativos. Portanto, a aprendizagem da linguagem científica implica na criação de contextos de investigação e reflexão que se aproximem das práticas das ciências. Nesse processo, é importante dar oportunidade para os estudantes falarem, apresentarem seus próprios pontos de vista, tomarem consciência dos significados das palavras que utilizam e comparar tais significados com o das palavras e dos conceitos científicos.
Aprender as idéias das ciências	As diversas ciências naturais produzem diferentes formas de linguagens especializadas. Em geral, textos dirigidos aos membros das comunidades de especialistas envolvem o uso de termos muito técnicos, além de tratarem de problemas e questões muito específicas. Por isso, é muito difícil para pessoas fora de uma determinada área de especialidade, ainda que sejam cientistas, utilizar este tipo de literatura especializada. Alguns cientistas produzem textos de divulgação no qual lançam mão de comparações e analogias. Isso nos dá um acesso parcial aos conhecimentos desenvolvidos em suas pesquisas.
Aprender a fazer ciências	Ao produzir trabalhos escolares, é importante redigi-los de modo o mais claro possível. Grande destaque deve ser dado ao problema do qual o trabalho trata. Além disso, é fundamental: (a) citar corretamente as fontes de pesquisa, de modo a orientar sua consulta por outras pessoas; (b) usar mais de uma fonte de pesquisa sobre o mesmo tema, de modo a comparar opiniões de diferentes autores; (c) expressar suas próprias opiniões de modo claro e coerente, quando for adequado.



III.5- Autoridade, reificação e produção de fatos

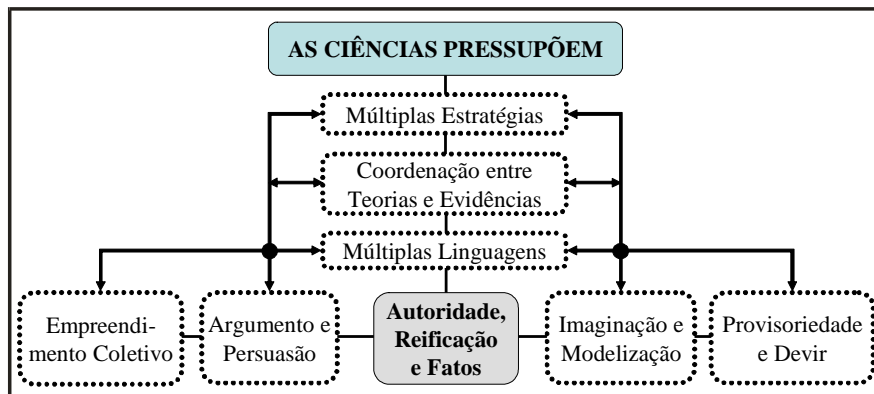
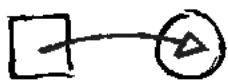


Diagrama III.5

Assim como no caso das dimensões citadas anteriormente, a afirmação de que todas as ciências pressupõem *Autoridade, Reificação e Produção de Fatos* está no âmago das questões a serem consideradas quando desejamos construir uma imagem mais completa da atividade científica. Na atualidade, o que parece distinguir a atividade científica de outros empreendimentos humanos e outras formas de interagir e compreender a realidade é justamente a autoridade que se confere às ciências. Mas, afinal, o que as ciências têm de especial em relação a outras formas de conhecimento humano?

Uma resposta a essa questão aponta as ciências como atividades destinadas à produção de conhecimentos de maior status epistemológico em relação àqueles que predominam no senso comum. Essa seria a função social das ciências, uma função que remonta ao sonho grego de distinguir *doxa*, ou conhecimento comum, de *episteme*, ou conhecimento elaborado e confiável. Esse lugar social das ciências faz com que toda e qualquer ciência reivindique sua autoridade ao apresentar afirmações ou proposições postulando-as como fatos em virtude de já terem, supostamente, resistido a todos os testes e críticas disponíveis com os recursos intelectuais, metodológicos e tecnológicos conhecidos.

Na história da epistemologia a discussão sobre a utilização do conhecimento científico para demarcar um limite entre *doxa* e *episteme* é conhecida como o “problema da demarcação”. Esse é um dos problemas clássicos e mais fundamentais da epistemologia ou, como sustenta Popper



(1972) a fonte de quase todos os outros problemas da teoria do conhecimento. Popper discute o problema da demarcação com a intenção de construir uma base racional para a ciência empírica de modo a superar a inconsistência da lógica indutiva que sustentou o empirismo e abandonar a estratégia positivista de fundamentar a atividade científica afirmando tal atividade como uma espécie de “terreno livre” da influência nefasta da metafísica.

A dimensão ideológica do problema da demarcação me foi apresentada, entre outras leituras, por uma citação de Imre Lakatos encontrada em Chalmers (1995). Nesta citação, Lakatos apresenta um argumento crucial a favor da relevância do problema. Ele menciona uma série de momentos da história nos quais as autoridades instituídas definiram o que era e o que não era legítimo ao atribuir idéias, teorias ou afirmações ao senso comum ou a alguma “pseudociência”. Deste modo, argumenta Lakatos, o problema de definir limites entre ciência e pseudociência tem sérias implicações éticas e políticas. Ocorre, porém, que a demarcação desses limites não é uma tarefa simples e tem sido sustentada sobre mitos.

Superar esses mitos é um dos objetivos de Latour e Woolgar (1997) e Latour (2000). A proximidade de algumas das teses centrais destes autores com minhas próprias imagens acerca da natureza das ciências me levaram a privilegiar suas contribuições para a discussão acerca dos processos de reificação e produção de fatos nas ciências naturais²⁸. Uma das primeiras contribuições importantes desses autores é a afirmação de que a avaliação dos argumentos produzidos a favor de determinadas proposições não é independente de quais são seus autores. Assim, a autoridade atribuída a uma idéia ou afirmação depende do “capital de credibilidade” daqueles que a defendem.

O máximo de credibilidade que uma afirmação pode alcançar é ser identificada como um fato. A palavra fato tem duas acepções contraditórias. De um lado, há o sentido etimológico derivado da raiz *facere* ou *factum* que significa fazer. De outro lado, um fato costuma ser considerado proveniente de uma entidade objetiva independente, que, por conta de sua exterioridade, não

²⁸ Um par de óculos pode ser considerado uma **reificação** das ciências óticas (ótica geométrica e fisiologia da visão). Por sua vez, considera-se geralmente incontestável o **fato** de que o uso de óculos beneficia pessoas com problemas de visão tais como a miopia, a hipermetropia e o astigmatismo.



pode ter sido humanamente produzido e não pode ser mudado. Existe, portanto, uma tensão entre um saber existente a priori e um saber criado, o que leva à discussão sobre se os fatos atribuídos ao mundo natural são produzidos ou “descobertos” pelas ciências.

O mito da pré-existência dos fatos é explicado por Latour (2000) como o resultado de uma análise enviesada das ciências que fica centrada exclusivamente nos produtos do conhecimento científico, ignorando seu processo de produção. Para dialogar simultaneamente com os produtos e com o processo de produção do conhecimento Latour (ibidem) propõe a imagem de um Janus bifronte, cujas faces produzem afirmações geralmente contraditórias sobre os fatos produzidos pela ciência. Uma das faces, a da esquerda, tem em mente o conhecimento científico já produzido e validado, enquanto ignora que muitas proposições interpretadas como fatos durante séculos deixam de sê-lo em um determinado momento histórico. A outra face, a da direita, fala sobre o processo de produção de “fatos”, quando eles ainda não estão plenamente estabelecidos (veja a figura III.2).

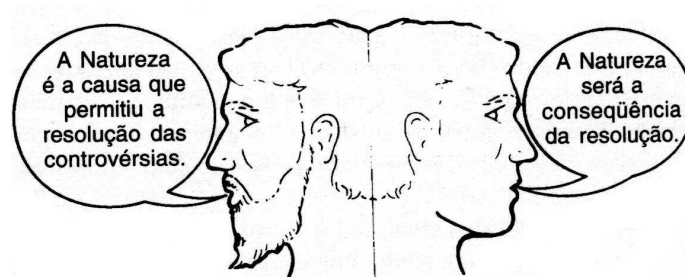
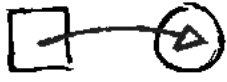


Figura III. 2-LATOUR (2000:164)

Na figura III.2, o rosto do jovem Janus representa o momento em que se considera controverso o conteúdo de proposições que tentam interpretar o comportamento do mundo natural. Uma proposição que se estabiliza e alcança o status de “fato”, supostamente aumenta nosso conhecimento sobre a natureza. Tal proposição passa a ser identificada com a própria natureza, na medida em que esquecemos quantas suposições criativas, e quanta teoria está envolvida em sua construção. Enquanto esse processo de esquecimento ainda não está consolidado, a “natureza” e o conhecimento do mundo natural são encarados como uma consequência da resolução das controvérsias nas ciências.



Ocorre, muitas vezes, que o conhecimento teórico que participa da resolução de uma controvérsia e da produção de um fato, passa a fazer parte de teorias implícitas, ou de um conhecimento de fundo já não mais questionado ou avaliado. Quando isso ocorre, a consciência dos cientistas de que um determinado fato ou afirmação sobre o mundo natural envolveu ardentes controvérsias em sua origem desaparece. Os cientistas, nesse ponto, não serão mais relativistas como na época da produção do fato. Transformar-se-ão em realistas empedernidos e afirmarão que o fato se estabeleceu porque pré-existia na natureza, tendo sido apenas “descoberto”. A barba dos cientistas terá, então, crescido e eles agora se parecerão com o velho Janus.

Um conceito central na análise feita por Latour e Woolgar (ibidem) e Latour (ibidem) sobre a origem do mito da pré-existência dos fatos é o conceito de reificação. Esse termo denomina o processo de esquecimento acerca da transformação que leva uma proposição ou enunciado à condição de um fato. Em outras palavras, a reificação marca o esquecimento de como o fato foi construído e nos conduz a ignorar como sabemos o que sabemos a respeito da realidade que o fato aprisiona ou descreve. Um fato não precisa de autor e nem de história porque é, supostamente, objetivo. Em outras palavras, o fato se situa além da subjetividade, de sujeitos particulares e da história. Mas, na educação em ciências, os fatos científicos não devem ser considerados desse modo, pois eles são geralmente estranhos à cultura dos estudantes e, nesse sentido, precisam ser reconstruídos.

Os autores aos quais eu estou me referindo explicam o conceito de reificação dos fatos através de outro conceito: a noção de “inscrições” ou de “aparelhos inscritores”. O termo inscrição é usado para identificar uma operação anterior à escrita, visto ser a escrita o meio através do qual os cientistas divulgam os resultados de suas pesquisas ao proporem novos fatos. A escrita, neste sentido, não é propriamente um método de transferência de informação, mas uma operação material de criação de ordem em um universo caótico de acontecimentos que, sem o auxílio de conceitos e teorias, não seria nada mais que um amontoado de sensações desordenadas e desprovidas de significado.

Os aparelhos inscritores são as máquinas e aparatos experimentais que permitem a realização de medidas ou a produção de gráficos que carregam um significado especial dentro da pesquisa que está sendo conduzida pelo laboratório. Essas medidas e gráficos são respostas esperadas ou



desdobramentos inesperados em relação às previsões das teorias explícitas formuladas por aqueles que estão conduzindo as pesquisas com o auxílio dos aparatos experimentais. Latour e Woolgar (ibidem), inspirados em Bachelard, recorrem ao conceito de fenomenotécnica para nos dizer que os próprios aparelhos inscritesores são o resultado de teorias e conhecimentos técnicos reificados²⁹. Dito de outro modo, os aparelhos inscritesores contêm teorias observacionais.

Lembremo-nos de que eu já fiz referência ao conceito bachelardiano de fenomenotécnica quando discuti a experimentação na seção “As múltiplas estratégias das ciências”. Reproduzo a seguir uma outra citação de Bachelard relacionada a esse conceito que muito lembra a discussão que eu fiz na seção “As ciências pressupõem a coordenação entre teorias e evidências”, ao tratar do conceito de teorias observacionais e da idéia vygotskyana de percepção mediada por conceitos. Bachelard (1993, p. 17) nos diz que:

[Um] Longo circuito na ciência teórica é necessário para compreendermos os dados que ela oferece. De fato, no caso, os dados são resultados. Alguém poderá objetar que estamos propondo uma distinção muito sutil para distinguir o conhecimento vulgar do conhecimento científico. Mas é necessário compreender que os matizes são filosoficamente decisivos nesse caso. Trata-se nada menos do que do primado da reflexão sobre a percepção... (...) As trajetórias que permitem isolar os isótopos no espectrômetro de massa não existem na natureza; é preciso construí-las tecnicamente. Elas são teoremas transformados em coisas. Iremos mostrar que aquilo que o homem faz numa técnica científica não existe na natureza, e nem mesmo constitui uma seqüência natural de fenômenos naturais.

²⁹ Posso fornecer um exemplo ilustrativo para explicar como aparelhos inscritesores e quaisquer outros aparelhos científico-tecnológicos são o resultado de teorias científicas abstratas e conhecimentos técnicos reificados. Como nos lembra uma certa vertente do cinema catástrofe norte-americano, típico dos tempos da guerra fria, civilizações humanas no futuro poderiam habitar um mundo repleto de escombros, resíduos e resultados dos avanços tecnológicos atuais, lidando com esses objetos de modo completamente apartado do saber reificado que hoje eles contêm. Nesse cenário, tal como no caso do paciente com lesão cerebral a que se refere Vygotsky em uma citação reproduzida na terceira seção deste capítulo, um relógio poderia voltar a ser apenas um disco branco a apresentar duas pequenas hastes de comprimentos diferentes com extremidades unidas em seu centro. Com o exemplo que produzi sob a inspiração do cinema catástrofe, vemos que o termo “conhecimento reificado” pode ser útil, mas não é de todo adequado. Não existe, em verdade, reificação isolada de práticas culturais destinadas a transmitir o conhecimento de uma geração à outra. Isso nos leva à conclusão de que o conhecimento – seja ele técnico ou científico – jamais pode ser completamente reificado. Ele não é apenas mutante e provisório: é também volátil e etéreo.



O espectrômetro de massa a que Bachelard se refere nesta citação é um dos aparelhos inscritesores mais importantes utilizados no laboratório pesquisado por Latour e Woolgar (ibidem). Na página 65 do texto desses autores há um quadro que traz o histórico dos aparelhos inscritesores utilizados naquele laboratório. Todos esses aparelhos e os testes experimentais nos quais eles são utilizados geram dados não questionados pelos cientistas do laboratório. Todavia, as teorias reificadas nesses mesmos aparelhos foram, no passado, objetos de intensos debates que deram origem a um grande número de publicações e controvérsias.

Na primeira fase do processo de esquecimento de “como sabemos o que sabemos” - que leva à reificação de um fato - as inscrições acabam se confundindo com o próprio fenômeno que representam. Desse modo, por exemplo, quando se utiliza um espectrômetro de massa para se produzir o espectro de uma determinada substância material, esquece-se que o espectro não existiria sem o espectrômetro. Esquece-se, portanto, que o espectro é, em última instância, o produto da interação entre as teorias reificadas no espectrômetro e a substância material perscrutada pelo aparelho. Para Latour e Woolgar (ibidem), o espectro passa, assim, a ser interpretado erroneamente como algo que pertence ao mundo objetivo.

Do meu ponto de vista, o espectro pertence à nossa interação com o mundo objetivo e, por essa razão, nos liga a esse mundo de algum modo. Considero equivocada, por conseguinte, a idéia de Latour e Woolgar (ibidem) de que se possa ou se deva evitar a fusão entre as inscrições produzidas pelos aparatos experimentais e os fenômenos que tais inscrições representam. Além disso, discordo frontalmente da afirmação de que a objetividade da ciência é apenas um mito que compõe os instrumentos de persuasão dos cientistas.

Para desenvolver meu ponto de vista irei recuperar o uso que fiz anteriormente do termo ecologia conceitual, de modo a apresentar um termo análogo: a ecologia factual. Os próprios autores cujo trabalho estou a comentar me inspiraram a propor a utilização deste termo, ao nos dizer que os enunciados que alcançam o status de fatos são raros e emergem de uma espécie de limbo onde incontáveis outros enunciados permanecem na condição de meros artefatos natimortos que ficam estagnados, à maneira de “uma gigantesca nódoa de poluição”:

Uma das operações efetuadas aniquila irrevogavelmente um enunciado, que nunca mais será levado em consideração. Em contrapartida, quando um enunciado é



imediatamente tomado de empréstimo, utilizado e reutilizado, chega-se logo ao estágio em que ele não é mais objeto de contestação. No centro desse movimento browniano, constitui-se um fato. Este acontecimento é relativamente raro. Mas quando ele se produz, o enunciado integra-se ao estoque das aquisições científicas, desaparecendo silenciosamente das preocupações da atividade cotidiana dos pesquisadores. O fato é incorporado aos manuais universitários, ou, por vezes, torna-se a ossatura de um novo aparelho (LATOUR e WOOLGAR, 1997, p. 90).

Parece, portanto, que existe um processo de seleção ou uma “ecologia” que distingue as proposições factuais entre si. É claro que esta ecologia não é natural. Ela é cultural e dependente das teorias que conformam o nosso conhecimento acerca do mundo natural em uma determinada época do desenvolvimento de nossa civilização. Na verdade, a separação entre uma ecologia conceitual e uma ecologia factual é um mero artifício de abstração.

Voltando ao exemplo do espectrômetro e dos enunciados factuais produzidos a partir deste aparelho, proponho que o espectro seja considerado como uma resposta da natureza aos fenômenos controlados e desencadeados pelo espectrômetro. Através desse aparelho, os cientistas podem “perguntar” ao mundo natural: quais são as respostas específicas apresentadas pela substância material que está sendo investigada ao conjunto padronizado de fenômenos desencadeados pelo espectrômetro?

As pesquisas com a espectrometria mostraram que as respostas de cada substância material ao espectrômetro são únicas, de modo que se pode afirmar que a mesma resposta sempre identifica a mesma substância material e que essa apresentará as mesmas propriedades toda vez que for submetida aos processos de transformação concebidos e controlados pelas ciências.

Note que essa descrição do processo não nos permite afirmar que o espectro é um fenômeno natural *strictu sensu* e nisso, portanto, eu concordo com o ponto de vista apresentado por Latour e Woolgar (ibidem). A produção do espectro é totalmente dirigida pelo conjunto de teorias que fundem sua criação e sua interpretação em um único processo. Ele é, portanto, um fenômeno que depende do aparato experimental que o criou. Ele pertence a uma realidade artificial que é produzida no interior do laboratório e é denominada por Bachelard (1996) como fenomenotécnica. Mas, a realidade artificial criada em um laboratório nunca poderá ser artificial o suficiente a ponto de não exibir qualquer correspondência com o mundo natural.



A objetividade das ciências não é um mito, e sim o resultado dos sucessos provisórios no esforço de estabelecer a correspondência entre os mundos possíveis concebidos por meio de nossas teorias sobre o mundo natural e o próprio mundo natural no interior do qual nós vivemos. Mas, os sucessos, assim como os próprios fatos, são provisórios, na medida em que as teorias que os criaram são também parciais e provisórias.

Apesar do caráter provisório do conhecimento científico, a reificação e a produção de fatos é uma tendência natural das ciências, sendo conseqüência do seu principal objetivo: conceber mundos possíveis ajustados da melhor forma possível, ou com o maior grau de correspondência possível, ao mundo natural, ao qual devemos nos adaptar e sobre o qual desejamos intervir, interferir e transformar. Como nos diz Bachelard (1993), a ciência não é objetiva, ela é projetiva. Ela é realização ou, em outras palavras, é uma ação capaz de produzir objetos e realidades ao transformar o mundo natural.

As ciências naturais não predicam diretamente sobre a natureza, mas sobre uma realidade que ela mesma constrói. Ainda assim, o caráter projetivo e realizador das ciências naturais explica seu sucesso ao guiar a atividade humana na produção de um mundo material objetivo (LEONTIEV, 1978). Há que se reconhecer que o sucesso das ciências e das tecnologias na produção de um mundo material objetivo é uma das principais fontes de autoridade das ciências e uma evidência a favor de sua objetividade.

Por conseguinte, um pesquisador comprovadamente envolvido na proposição de enunciados que se transformam em fatos passa a gozar de uma posição tal que, quando ele define um problema como importante quase ninguém se mostra disposto a contrariá-lo. Neste sentido, a reificação não conduz apenas a conhecimentos estáveis e confiáveis num determinado período histórico, mas também constrói carreiras, reputações e autoridades (LATOUR e WOOLGAR, *ibidem*).

Para ser projetiva e realizadora a ciência precisa recorrer à reificação de suas próprias idéias ao fundi-las com os processos e fenômenos naturais. Neste sentido, proposições que supostamente alcançam um nível de correspondência adequado precisam ser transformadas em fatos, isto é, em conhecimento seguro sobre o qual podemos operar através do uso da lógica, de modo a produzir previsões, expandir e tornar mais complexo e sofisticado nosso mundo teórico-empírico.



Ao se transformar em conhecimento seguro, toda proposição factual tende a perder seu vínculo com o processo de sua produção. É desse modo que desaparecem os traços que revelam ser todo fato, no fundo, um artefato. O processo de produção perde a importância e passa a ser considerado pelos cientistas como uma espécie de “lixo” a ocupar espaços importantes em sua memória. Assim, eles voltam toda sua capacidade intelectual para a exploração das consequências dos fatos-artefatos produzidos por meio de sua atividade de pesquisa. Por mais que esse *modus operandi* seja incorporado à cultura das ciências, há um grande interesse para a sociologia, a história, a epistemologia e a educação em ciências na investigação do processo de produção de fatos. Não é, portanto, dos cientistas que devemos cobrar uma atitude crítica e reflexiva em relação ao trabalho científico, mas das áreas do conhecimento que podem contribuir para a compreensão e para o controle social dessa forma especial de empreendimento cultural.

Quadro III.4- Os três conteúdos do currículo e a autoridade das ciências

APECTOS OU DIMEN- SÕES DAS CIÊNCIAS	Autoridade, Reificação e Produção de Fatos
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	Os conteúdos da ciência escolar constituem uma espécie de síntese e, as vezes, até uma “caricatura” de conhecimentos produzidos e sistematizados historicamente pelas ciências. No início, todos esses conhecimentos foram controversos. A interação entre os conhecimentos prévios dos estudantes é muitas vezes conflituosa e, nesse caso, também há controvérsias que precisam ser “resolvidas”. Mas, a resolução das controvérsias não pode ocorrer, única e exclusivamente, a partir da autoridade do professor ou dos livros texto. Os fatos das ciências não devem meramente ser reafirmados sob a luz dessa autoridade. Tais fatos precisam ser novamente produzidos e reificados.
Aprender sobre ciências	A realidade extra-laboratório é sempre mais complexa. No laboratório as situações são simplificadas para que se possa produzir novas realidades. Nesse território só se pode questionar a autoridade das ciências a partir de pontos de vista, idéias, teorias ou conhecimentos empíricos também desenvolvidos no interior das próprias ciências. Todavia, ao aplicar as ciências à realidade, os “fatos científicos” tornam-se, diversas vezes, meras “hipóteses de trabalho” e dados a se considerar quando é necessário tomar decisões que envolvem aspectos éticos, econômicos e muitos outros em relação as quais as ciências naturais não têm uma contribuição específica a oferecer.



<p>Aprender a fazer ciências</p>	<p>Os estudantes não são pequenos cientistas e, portanto, não há sentido em esperar que eles sejam capazes de produzir e reificar “fatos” com valor científico. Sendo assim o aprender a “fazer ciências” é mais adequadamente compreendido como um aprender a valorizar o conhecimento especializado sem ignorar que, às vezes, é possível e necessário questionar sua validade em um contexto específico. Não se pode super valorizar as ciências, os cientistas ou os tecnólogos e nem, tampouco, desconsiderar as contribuições que eles têm a nos oferecer para lidar com a complexidade da realidade natural e social que o desenvolvimento histórico da sociedade produziu.</p>
---	--

III.6- Imaginação e modelização

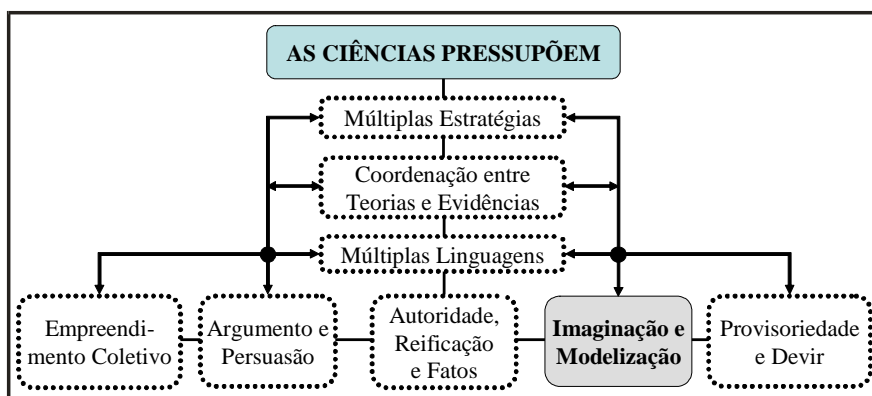


Diagrama III.6

Como verdadeiros aprendizes de feiticeiro, os cientistas muitas vezes apresentam uma capacidade de intervir e “realizar teorias” sobre o mundo natural, que não vem acompanhada da compreensão da natureza dessas teorias ou das conseqüências de sua realização ou objetivação. Além disso, muitos cientistas são ingênuos quando se trata de representar ou conceber sua própria atividade. Tal ingenuidade pode ser interpretada como uma conseqüência da diferença que existe entre o fazer e o compreender, assim como da complexidade da atividade científica.

Há séculos se procura estabelecer bases ou critérios para definir o que seria conhecimento confiável. Duas grandes correntes alternaram-se nessa busca: o empirismo e o racionalismo. O empirismo estabeleceu como **origem** e **fonte** de validação do conhecimento as sensações que



supostamente permitem acesso direto ao mundo natural, enquanto o racionalismo deslocou a origem e validade do conhecimento para as “estruturas da razão”.

No século XX, as versões mais radicais dessas duas epistemologias se tornaram insustentáveis. Depois que a física demonstrou sucessos teórico-empíricos cada vez mais convincentes partindo de teorias por demais abstratas para serem apartadas do “reino da imaginação”, o empirismo-indutivismo perdeu sua credibilidade. Mas, a compreensão do papel da imaginação nas ciências ainda estava longe de ser alcançada e foi mais uma vez adiada com o surgimento e o fortalecimento da epistemologia construída pelos positivistas lógicos do círculo de Viena.

Essa foi a corrente epistemológica de maior difusão e repercussão na primeira metade do século XX. Nela se reconhecia e se valorizava o papel da imaginação na produção do conhecimento científico. No entanto, esse papel permanecia restrito a uma fase específica da atividade científica denominada “contexto da descoberta”. O contexto da descoberta era, a princípio, inexpugnável estando excluído dos objetos de estudo da epistemologia. De acordo com os positivistas lógicos, o interesse da epistemologia deveria se concentrar no “contexto da justificação”, encarado como a fase da fundamentação ou da “prova científica”, cuja função era a de separar os bons e os maus frutos da imaginação.

Embora continue sendo difícil perscrutar a “mente” e até mesmo a atividade de cientistas ou comunidades de cientistas, posso citar três fontes diferentes que nos permitem aumentar nossa compreensão sobre o papel da imaginação e superar a perspectiva estreita oferecida pelo positivismo lógico.

Em primeiro lugar, existem as abordagens cognitivas da atividade científica (NERSESSIAN, 1987; CLEMENT, 1989). Há, também, obras que se identificam, ao menos parcialmente, com esse enfoque e que foram produzidas por cientistas que passaram a se dedicar à investigação sobre a natureza das ciências (KUHN, 1977, 1979 e 1998; BEN-DOV, 1996). Por fim, há que se reconhecer as contribuições de textos produzidos por cientistas ainda em atividade, cuja capacidade metacognitiva alcançou o mesmo brilhantismo de suas habilidades cognitivas dedicadas à produção das ciências. Neste último grupo de contribuições encontramos trabalhos como os de Einstein (1981) e Bohm e Peat (1989).



A afirmação de que todas as ciências pressupõem *Imaginação e Modelização* pode ser derivada da idéia de que as ciências pressupõem a *Coordenação entre Teorias e Evidências*. Essas duas dimensões são estreitamente relacionadas já que a coordenação entre teorias e evidências é uma atividade cujo principal objetivo é produzir explicações e modelos sobre os fenômenos do mundo natural³⁰. As explicações são constituídas por idéias, conceitos e argumentos de natureza teórica que são destinados a estabelecer nexos causais entre dois ou mais acontecimentos. É justamente no estabelecimento de nexos causais - que perpassa todos os contextos e fases da atividade científica - é que se encontra a chave para compreendermos o papel da imaginação nas ciências.

Como nos lembra Lakatos (1979, p. 124), o conhecimento científico é conhecimento causal e não conhecimento meramente factual, no sentido de puramente empírico. Assim, o que as ciências produzem não é mera descrição daquilo que se supõe observar. Restringir-se a tal descrição é permanecer em um plano no qual não é possível estabelecer relações entre os fenômenos, a não ser relações de mera semelhança, diferença ou antecedência. Nenhuma dessas relações sustenta nexos causais entre dois fenômenos.

O conhecimento obtido por mera indução é apenas provável e não possui excedente empírico, no sentido em que não é possível sustentar a partir dele previsões e antecipações de novos acontecimentos. Para explicar melhor este ponto de vista, bastante explorado em Chalmers (1994), vamos reproduzir aqui uma fábula cuja autoria é atribuída a Popper:

Suponhamos que uma pessoa desejasse dedicar a sua vida à ciência. Suponhamos, pois, que ela se sentasse de lápis na mão, e que durante os vinte, trinta, quarenta anos seguintes registrasse no seu livro de notas tudo quanto tinha conseguido observar. Desde já se supõe que não deixou nada em branco: a umidade de hoje, os resultados das corridas, o nível da radiação cósmica, os preços do comércio de gado, o aspecto de Marte, tudo se encontraria registrado. Essa pessoa teria compilado o registro mais cuidadoso e completo da natureza até agora realizado, e ao morrer, na calma certeza duma vida bem passada, evidentemente, deixaria todos os seus apontamentos para a Royal Society. Será que esta lhe agradecerá a dívida

³⁰ Utilizo aqui o termo fenômenos naturais para designar também os fenômenos criados por aparatos tecnológicos. Por essa razão, evitarei o uso do termo “fenômenos natural-tecnológicos” que eu utilizava há alguns anos, mas que ainda mantém uma tentativa de distinção entre uma natureza que independe da ação humana e outra natureza transformada pelo uso das tecnologias.



do tesouro duma vida inteira de observações? Com certeza, não. A Royal Society trataria os seus apontamentos exatamente como os bispos ingleses trataram a caixa de Joanna Southcott. Recusar-se-ia a consultá-los porquanto saberia, sem olhar, que os apontamentos conteriam apenas uma amálgama de artigos sem ordem e sem significado (BRONOWSKI, 1979, p. 20).

Toda explicação científica transcende a observação e o conhecimento factual, sendo povoada por elementos não factuais como crenças ontológicas e entidades inobserváveis. A restrição aos observáveis permite descrever, não explicar. Em outras palavras é preciso atribuir propriedades e ações aos elementos do mundo natural e não simplesmente aplicar operações lógicas que permitam compô-los e associá-los numa totalidade coerente de relações.

Irei começar a explorar essa afirmação dando um exemplo extraído de Kuhn (1977) sobre a importância do abandono da ontologia aristotélica e da adesão a uma ontologia corpuscular para a mudança de atitude em relação à experimentação, que ocorreu a partir do século XVI. Esse autor nos diz que, enquanto prevaleceu a ontologia aristotélica de que o universo era constituído por terra, fogo, água e ar, distribuídos cada um em seu “lugar natural”, a explicação científica foi encarada como o estabelecimento de causas formais ou essenciais. Dentro dessa concepção de causalidade, só os dados fornecidos pelo curso natural dos acontecimentos podiam ser importantes.

Conceber experimentos, do modo como hoje os fazemos, implicaria, por conseguinte, em constranger o mundo natural, o que só poderia esconder o papel das “naturezas” ou formas que, supostamente, faziam das coisas o que elas eram. Uma ontologia atomística ou corpuscular, por outro lado, trazia para a experimentação moderna uma relevância óbvia. A experimentação já não mais era vista como algo a mudar ou subverter o natural, mas como um meio para esclarecer as condições e leis mecânicas de onde derivavam os fenômenos naturais.

Vejamos, agora, um exemplo de entidade inobservável e de sua importância no interior das explicações e do conhecimento científico. Considero a energia um bom exemplo de entidade inobservável amplamente utilizada para explicar transformações e fenômenos naturais. A energia



é uma grandeza³¹ a que se costuma atribuir o status ontológico de *entidade real*, no interior das ciências físicas, químicas e biológicas.

A energia, entretanto, não pode ser observada, nem medida de modo direto. A *realidade* associada à idéia de energia deriva da grande utilidade que este conceito desempenha nas ciências naturais. Supõe-se que a quantidade de energia em um sistema fechado se conserva, quando os elementos que compõem esse sistema experimentam processos de transformação. A hipótese da conservação sugere uma série de observações e acontecimentos empíricos que retratam o comportamento do mundo natural, do modo como nós o conhecemos e concebemos atualmente.

O conhecimento teórico gerado a partir de entidades inobserváveis é virtualmente mais útil que o conhecimento factual generalizado por indução, mesmo quando dá origem a previsões que, posteriormente, não se verificam. Nesse caso, não se abandona a perspectiva teórica para começar a fazer observações sistemáticas e cuidadosas, como o fez o personagem da fábula de Popper. Ao invés disso, a teoria é reavaliada para que sejam produzidas novas teorias e previsões mais ajustadas ao comportamento do mundo natural sejam finalmente alcançadas.

A produção e a adaptação de conhecimentos teóricos mobilizam nossas funções intelectuais superiores mais criativas. Com o auxílio de teorias, superamos os débeis vínculos entre os fenômenos, que se pode estabelecer através de sua mera “observação direta”³². Ao abandonar o indutivismo e aceitar a natureza eminentemente teórica do conhecimento científico, passamos de *vínculos meramente prováveis* a *vínculos logicamente necessários*. Essa segunda postura epistemológica reconhece que a produção do conhecimento científico mobiliza o pensamento lógico-matemático e outros processos de abstração que constituem as bases da criatividade humana. Como nos diz Bachelard (1996), a abstração desobstrui o espírito, tornando-o mais leve e mais dinâmico.

³¹ Nas ciências naturais, dá-se o nome de “grandeza” a todas as entidades que podem ser medidas com instrumentos e técnicas adequadas. A cor, por exemplo, não é uma grandeza física, mas apenas uma qualidade ou característica dos objetos que depende da luz com a qual eles são iluminados. As grandezas associadas à cor e que podem ser efetivamente medidas são o comprimento de onda e a frequência.

³² As aspas se justificam, pois acreditamos que não existem observações “diretas”, “puras” ou isentas de teoria. A própria linguagem cotidiana que pode ser usada para relatar e registrar nossas observações, na tentativa vã de se evitar a “contaminação teórica” das linguagens especializadas das ciências, também está carregada de teorias implícitas e de crenças do senso comum.



Passarei agora a falar um pouco sobre os processos de abstração e imaginação utilizados nas ciências. Sem dúvida alguma, o processo mais citado na literatura que eu consultei é o do pensamento analógico. Bronowski (1979, p. 19) nos dá um exemplo muito claro do uso desse recurso:

Em 1935, o físico japonês Hideki Yukawa escreveu um ensaio que pode contribuir, muito ainda, para a bagagem dum jovem cientista. Tomou como ponto de partida o fato conhecido de as ondas de luz poderem algumas vezes comportar-se como se fossem pequenos grãos separados. A partir deste ponto, raciocinou que as forças que mantêm juntas o núcleo dum átomo podiam, algumas vezes, ser também observadas como se fossem grãos separados. Um estudante poderia ver como é débil a analogia de Yukawa e o professor poderia ser severo para com ela. Todavia, Yukawa, sem se envergonhar, calculou a massa do grão que contava ver e aguardou. Tinha razão, pois encontrou o seu meson e uma gama de outros mesons sobre cuja existência, ou de cuja natureza não havia qualquer suspeita anterior. A semelhança tinha produzido frutos.

Neste exemplo torna-se claro que, nas ciências naturais, o recurso ao pensamento analógico não encerra a tarefa do cientista. O pensamento analógico está igualmente presente nas ciências e em atividades não científicas. O que distingue a analogia no caso das ciências naturais é que ela é apenas uma etapa de um processo mais sofisticado que está comprometido com a coordenação entre teorias e evidências. No exemplo acima, Hideki Yukawa não se restringiu a fazer uso do pensamento analógico. Ele foi capaz de manipular de modo conseqüente as teorias existentes e aceitas em sua época para, através da analogia e da matemática, derivar conseqüências imprevistas destas mesmas teorias. Tais conseqüências, por sua vez, mostraram-se coerentes com experimentos que permitiram a postulação da existência dos mesons.

Para Bronowski (ibidem) o ato da criação nas ciências reside na proposição de uma semelhança oculta ou de uma unidade entre situações ou experiências cuja relação ainda não havia sido imaginada. Kuhn (1979b) também acredita que o fundamento da atividade científica reside na aproximação de problemas, de modo a aplicar sobre eles conceitos e técnicas similares. Para ilustrar esse ponto de vista, Kuhn (ibidem) nos dá um exemplo de como esse processo pode promover o desenvolvimento do conhecimento científico ao longo da história. A história que ele nos conta começa com a analogia feita por Galileu entre a oscilação de um pêndulo e o



movimento de vai e vem de uma esfera que desce um plano inclinado. Ao descer o primeiro plano inclinado, a bola rola sobre um trecho horizontal e sobe em outro plano inclinado situado do lado oposto ao primeiro. De acordo com Kuhn, Huygens teria se utilizado das técnicas de raciocínio usadas por Galileu nessa analogia para resolver o problema da identificação do centro de oscilação de um pêndulo físico³³. Por fim, Daniel Bernoulli teria estendido, ainda mais, a primeira analogia concebida por Galileu, ao mostrar que o fluxo de água de um orifício situado em um tanque de armazenagem apresentava um comportamento semelhante ao do pêndulo de Huygens.

Bohm e Peat (1989) também nos dão vários exemplos do uso do pensamento analógico nas ciências, que eles preferem chamar de pensamento metafórico. A preferência desses autores pelo termo metáfora deve-se ao paralelo que estabelecem entre a descoberta científica e a metáfora poética. De acordo com esse ponto de vista, a mente de um cientista que faz uso de uma analogia (ou metáfora) e a mente de um poeta experimentariam processos semelhantes. A diferença entre esses dois casos seria, então, associada ao fato de que o significado da metáfora precisa ser explorado no caso das ciências, enquanto na poesia ele poderia permanecer relativamente implícito.

A distinção entre metáfora e analogia não é de todo clara e considero ser virtualmente impossível distinguir o uso que Bohm e Peat (ibidem) fazem do primeiro termo do uso que Bronowski (ibidem) faz do segundo. Contenças (1999) define o termo analogia como uma comparação explícita baseada na proposição de uma semelhança entre duas estruturas. Diferentemente da analogia, a metáfora seria o resultado de uma comparação implícita que se manifestaria no uso figurado de um determinado termo. Além de diferenciar analogia e metáfora, Contenças (ibidem) tenta elucidar o significado do termo modelo, mas nesse caso se limita a fazer um apanhado de diferentes sentidos atribuídos a ele por autores distintos. Considero oportuno mencionar o modo como ela aproxima os conceitos de modelo e modelização.

³³ Pêndulo físico é o nome que se dá a um objeto que é posto a oscilar em torno de uma de suas extremidades. O estudo do movimento desse tipo de pêndulo impõe dificuldades maiores do que as que são encontradas no caso de um “pêndulo simples”, constituído por uma pequena esfera suspensa por um fio.



Em verdade, essa autora não utiliza o termo modelização. Todavia o conceito de modelização está contido em sua tentativa de descrever o que seriam modelos quando ela nos diz que o modelo nas ciências é um termo que vai além da referência àquilo que se copia, isto é, que a idéia de modelo não se restringe à cópia. A noção de modelo também é aplicada “àquilo que se realiza para representar alguma coisa” (ibidem, p. 158).

Essa descrição vincula o conceito de modelo não a um objeto, seja ele concreto ou abstrato, mas a um processo. A metáfora e a analogia são também processos de pensamento e ninguém que conheça o significado desses termos ousaria considerar analogias e metáforas como “objetos”. Tal consenso, infelizmente, ainda não foi alcançado em relação ao termo modelo. Essa é a razão pela qual eu acrescentei o sufixo “ação” ao termo modelo, adotando o termo modelização.

Ziman (1996, p. 40), afirma que um modelo é uma construção teórica sabidamente provisória e que é produzida como uma simplificação da teoria e como um guia para a investigação do mundo natural. Assim, o modelo é assumido como um recurso para aproximar teoria e realidade em um conjunto de contextos bem específicos, e essa é a razão pela qual se sabe que o modelo está condenado a ser substituído em função do desenvolvimento do conhecimento sobre o mundo natural que o próprio modelo ajudou a alcançar. Nesta tese, eu escolho os conceitos de modelo e modelização como uma espécie de “representantes” de todos os gêneros de pensamento abstrato que promovem a coordenação entre teorias e evidências. Essa escolha decorre da pesquisa em educação (ver, por exemplo, CLEMENT, 2000 ou BORGES, 1996) não estando diretamente subsidiada por contribuições da historiografia, sociologia ou epistemologia das ciências.

**Quadro III.5- Os três conteúdos do currículo, a imaginação e a modelização nas ciências**

APECTOS OU DIMENSÕES DAS CIÊNCIAS	Imaginação e modelização
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	As idéias das ciências surgem para fornecer explicações ou, no mínimo, estabelecer correlações entre fenômenos. Nos casos em que existem explicações de natureza teórica, é importante “traduzir” ou “re-presentar” tais explicações através de modelos explicativos. Focar o ensino na aprendizagem de modelos dessa natureza permite privilegiar a compreensão das idéias das ciências caracterizando-as como instrumentos para investigar e compreender o mundo natural. Permite, ainda, superar o foco do ensino na simples memorização de “fatos científicos”, muitas vezes considerados estranhos e facilmente esquecidos pelos estudantes.
Aprender sobre ciências	Leis empíricas e correlações fornecem conhecimentos importantes, mas de menor status que aqueles integrados por meio de explicações produzidas por teorias e modelos. Modelos e teorias supõem a existência de mecanismos ou processos não diretamente observados. Se ficamos restritos apenas àquilo que podemos observar, não explicamos nada, apenas descrevemos o que vemos. Por isso, o conhecimento teórico das ciências envolve, necessariamente, o uso da criatividade e da imaginação.
Aprender a fazer ciências	Aprender a identificar e a avaliar correlações, bem como a utilizar modelos para interpretar fenômenos naturais. Desenvolver novos padrões de raciocínio que permitam expandir os tipos de relações causais que estruturam tipos diferentes de explicações científicas. Saber interpretar e produzir esquemas e representações para descrever e comunicar raciocínios e explicações sobre fenômenos naturais ou tecnológicos.

III.7- Argumento e persuasão

Dizer que os fatos científicos são construídos no interior de comunidades de especialistas não implica em afirmar que as ciências pressupõem, necessariamente, argumento e persuasão. Não do ponto de vista de quem aceita o mito segundo o qual os fatos são “descobertos”, ou valoriza a máxima popular de que “contra fatos não há argumentos”. Esse mito é tão difundido que alguns estudiosos das ciências sentem que estão a desafiar o senso comum quando afirmam que a retórica tem contribuições importantes para a compreensão desse empreendimento cultural. A esse respeito Ziman (1979, p. 47) nos diz que:



O termo retórica pode parecer fora de lugar aqui, pois sugere vagamente uma tentativa de se reforçar um mau argumento apelando-se para as emoções e não para o intelecto. Mas não há dúvida de que essa é a única palavra que podemos usar, já que banimos o termo ‘positivismo’ e questionamos o absolutismo da prova científica.

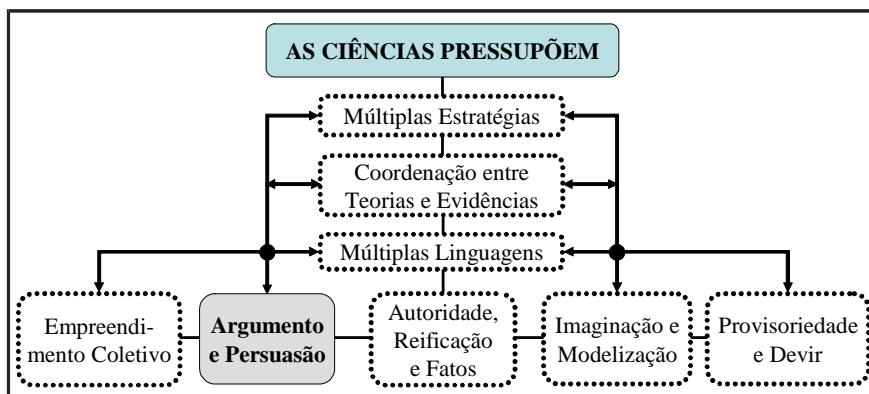


Diagrama III.7

O questionamento do absolutismo da prova científica experimental, feito por Ziman (ibidem), já foi suficientemente desenvolvido nas seções anteriores deste capítulo. Nelas, apresentei e defendi o ponto de vista segundo o qual pode haver mais de um modo de interpretar uma evidência empírica, o que exige o estabelecimento de acordos tácitos entre os cientistas sobre quais são as teorias a serem mantidas longe das críticas, ou como as evidências empíricas devem ser interpretadas. Sendo assim, o que posso ter mais a dizer para defender a idéia de que as ciências pressupõem argumento e persuasão, ou que a retórica tem contribuições para a compreensão das ciências?

Meu objetivo agora não é mais defender essa idéia. Considero que o leitor cuja paciência permitiu acompanhar o texto até aqui já compreendeu meu ponto de vista ou, talvez, já compartilhasse dele há muito tempo. Ainda assim, julgo que a adoção de um ponto de vista como esse não encerra o problema. Há questões importantes que merecem ser destacadas. Escolhi duas delas e me proponho a discuti-las, brevemente, a seguir.

Vale a pena perguntar, em primeiro lugar, qual o papel ou a importância relativa dos processos de argumentação na produção do conhecimento científico. Essa pergunta é pertinente, pois o



processo de produção do conhecimento científico não se restringe às dinâmicas de argumentação. Há outros aspectos a considerar, como bem nos lembra o diagrama III.7.

A pergunta seguinte seria: existem formas de argumentação específicas que compõe a retórica das ciências? Essa pergunta torna-se importante desde o momento em que autores como Emeren, Grootendorst, Kuiger (1987) ou Perelman e Olbrechts-Tyteca (1999) nos ajudam a compreender que existem muitas e diferentes formas e recursos de retórica.

Começarei pelo exame da primeira questão. Para isso, considero necessário introduzir os conceitos de ciência normal e ciência revolucionária propostos por Kuhn (1977, 1979 e 1998). Afinal, se dermos ouvidos a Kuhn e admitirmos a existência desses dois modos diferentes de funcionamento das ciências, teremos que atribuir pesos muito distintos à importância da argumentação em cada um deles.

Ciência normal é o termo que Kuhn utiliza para designar os períodos nos quais uma ciência madura é praticada sob a égide de uma cultura técnica e um referencial teórico, ambos bem estabelecidos. O termo normal não possui, necessariamente, qualquer conotação pejorativa. A “normalidade”, que se opõe às idéias de “crise” e “conturbação”, sinaliza a existência de grandes consensos, tanto tácitos, quanto explícitos, entre os membros de uma determinada comunidade de especialistas. O lado positivo e desejável da prática normal das ciências, que vincula os conceitos de ciência normal e ciência madura, surge como decorrência desses consensos.

Os acordos não são o resultado de uma autoridade despótica, que impõe padrões de pesquisa “goela abaixo” aos membros da comunidade. Ao invés disso, são decorrentes do sucesso teórico-empírico alcançado por um conjunto de teorias articuladas em torno de uma matriz disciplinar³⁴.

³⁴ Grosso modo, as propriedades de uma matriz disciplinar são semelhantes àquelas que eu utilizei na terceira seção deste capítulo quando defini o significado do termo teoria com a intenção de explicar a idéia de que as ciências pressupõem a coordenação entre teorias e evidências. Matriz disciplinar é um dos dois termos criados por KUHN (1979b) para substituir a noção de “paradigma”. Neste seu trabalho de 1979 e no posfácio das várias edições seguintes à primeira edição de sua obra mais conhecida, “A Estrutura das Revoluções Científicas”, Kuhn substituiu o termo paradigma, ora pelo conceito de “matriz disciplinar”, ora pelo conceito de “exemplares” ou “problemas exemplares”, ao qual eu já fiz alusão na segunda seção deste capítulo. Com isso, Kuhn separou os dois principais e diferentes sentidos que MASTERMAM (1979) havia identificado no uso original da noção de “paradigma”. Kuhn justifica a necessidade de abandonar a noção de paradigma ao reconhecer a validade das críticas de MASTERMAM (ibidem). Curiosamente, e talvez em função da imensa repercussão da “Estrutura das Revoluções



A adoção de uma matriz disciplinar madura e bem estruturada pela maioria daqueles que pertencem a uma dada comunidade permite a concentração de esforços e talentos na resolução de minúsculos enigmas ou “quebra-cabeças”. Essa é uma atividade considerada essencial ao processo de coordenação entre teorias e evidências. Tal prática conduz a um rigoroso ajustamento da matriz disciplinar à realidade, o que precipita o desenvolvimento do conhecimento científico.

Uma das conseqüências atribuídas à hipótese da existência da ciência normal é a de que, nesse tipo de prática, o cientista deixa de ser um explorador do desconhecido para articular e concretizar aquilo é virtualmente conhecido ou previsto pela matriz disciplinar, de cujo desenvolvimento e amadurecimento ele participa. A outra conseqüência, e a que mais interessa ao tema desta seção, é a idéia de que a adesão maciça a uma matriz disciplinar impede a proliferação de teorias alternativas.

A idéia de que a proliferação de teorias alternativas é o motor do desenvolvimento das ciências foi chamada de “princípio da proliferação” por Feyrabend (1979). Tal princípio é atribuído por esse autor a Karl Popper e Imre Lakatos, para quem a proliferação de teorias diferentes, destinadas à investigação de um mesmo conjunto de problemas, é a marca do espírito criativo e crítico dos cientistas.

Na perspectiva de Thomas Kuhn, apenas nos períodos de crises é que proliferam teorias diferentes em um campo de pesquisa. Nesses períodos, o poder heurístico das matrizes disciplinares começa a ser posto em dúvida. Isso dá origem à crise e, posteriormente, ao surgimento de novas matrizes em relação às quais são formados novos consensos. O estabelecimento de uma nova matriz disciplinar hegemônica, por sua vez, inaugura um novo período de ciência normal.

Não tenho a intenção de defender a posição de Kuhn (1998) quando ele denomina como pré-científicas as áreas nas quais não se identifica a adoção majoritária de uma matriz disciplinar.

Científicas”, o termo “paradigma” caiu no gosto popular e até mesmo no gosto acadêmico. Embora seu próprio criador tenha parado de utilizá-lo, o termo “paradigma” - que já não continha um significado preciso quando foi criado - passou a ser utilizado nas mais diversas formas, contextos e culturas.



Reconheço, todavia, que ciência normal e proliferação são imagens conflitantes acerca da prática científica.

Nas ciências naturais, acredito ser difícil admitir que - dentro de cada comunidade de especialistas - exista espaço para o surgimento de críticas freqüentes que contestem as teorias observacionais de base e as crenças metafísicas fundamentais que estruturam uma matriz disciplinar promissora. Se isso acontecesse, o trabalho científico se tornaria muito pouco produtivo.

Creio que a tendência ao consenso - que Thomas Kuhn atribui à prática normal das ciências - é realmente um efeito da intensificação da comunicação e até da competição entre grupos de cientistas que lidam com a mesma classe de problemas, no mesmo campo de pesquisa. A esse respeito o físico David Bohm nos diz que:

Por tradição, os cientistas consideram que quando várias teorias parecem dar conta de um mesmo fenômeno só uma delas pode ser correta, o que implica a eliminação das outras ou, quando muito, como aconteceu com a teoria de Hamilton-Jacobi, a colocação de uma delas em posição de subserviência, prestável somente no contexto de certos cálculos (BOHM e PEAT, 1989, p. 78).

A idéia importante que eu defendo aqui é a de que, independentemente da extensão na qual possa se identificar uma prática de ciência normal, não há como descartar sua existência. Nesse tipo de prática ainda existirão processos de argumentação e persuasão, mas eles terão naturezas muito distintas daqueles que se pode conceber e experimentar em períodos de crise ou nas áreas das ciências que se caracterizem pela inexistência de matrizes disciplinares majoritariamente adotadas.

Os processos de argumentação e persuasão tendem a se tornar mais intensos, ou como diz Feyrabend (1979) mais “filosóficos”, quando há várias teorias distintas em competição. Por outro lado, na ciência normal, os argumentos em defesa de proposições factuais, ou de implicações e desdobramentos atribuídos às teorias, girarão em torno de sua coerência com os preceitos que fundamentam a matriz disciplinar.

Latour e Woolgar (1997) não usam o termo matriz disciplinar em sua análise e nem sequer fazem referência ao trabalho de Thomas Kuhn. Ainda assim, vou retomar informações da pesquisa



etnográfica desses autores para caracterizar como ocorrem dinâmicas de persuasão dentro de uma prática normal das ciências. Eles descrevem os cientistas como uma estranha tribo que gasta grande parte de seu tempo em uma frenética atividade literária dividida entre a leitura de artigos de outros autores e a produção dos próprios artigos, que são estruturados em torno dos dados construídos no laboratório pelos aparelhos inscritores³⁵.

Os procedimentos de escrita e leitura dos artigos são caracterizados como operações que mudam o status epistemológico dos enunciados levando-os entre dois extremos: dos fatos aos artefatos, ou vice-versa. Os fatos são tidos como expressões de conhecimento objetivo, enquanto os artefatos reúnem conjecturas já refutadas ou ainda não estabelecidas. As operações de retórica envolvem o uso de expressões qualificadoras para elevar o status epistemológico de um enunciado. Por conseguinte:

A frase que ameaça destruir todos os enunciados (e as carreiras) assume a forma condicional, ‘você também poderia dizer que...’. E segue-se uma lista de enunciados igualmente prováveis. O resultado dessa formulação é muitas vezes a dissolução do enunciado em ruído. Desse modo, a finalidade do jogo é manobrar para obrigar o pesquisador (ou seus colegas) a admitir que os enunciados alternativos não são plausíveis na mesma medida.....(...) Em lugar de ser o puro produto da imaginação (subjetiva), ele se tornará uma ‘coisa objetiva real’, cuja existência não poderá mais ser posta em dúvida (LATOIR e WOOLGAR, 1997, p. 274-275).

No processo de produção de novos conhecimentos dentro de uma “prática normal” das ciências não é apenas a partir do campo da retórica que se pode explicar como se introduzem desigualdades em um conjunto de enunciados, fazendo com que um deles seja considerado mais factual que os outros. A principal “técnica” usada para persuadir a comunidade de especialistas, de acordo com Latour e Woolgar (ibidem), seria a de aumentar o custo, para os outros, da sustentação de enunciados alternativos. Esse aumento de custo, tomado no sentido literal da palavra, envolveria o uso de equipamentos cada vez caros e sofisticados para gerar dados que sustentem supostos enunciados alternativos.

³⁵ Ver definição do conceito de aparelhos inscritores na terceira seção deste capítulo.



Além disso, é fundamental que os equipamentos utilizados na produção desses dados sejam reificações de teorias amplamente assumidas pela comunidade de especialistas. Em outras palavras, dados confiáveis dependem do uso de aparelhos inscrites sustentados por teorias observacionais bem corroboradas. No caso específico da comunidade de especialistas em neuroendocrinologia pesquisada por Latour e Woolgar (ibidem), um espectrômetro de massa foi utilizado para postular a existência de uma substância específica, posteriormente denominada TRF, que passou a ser interpretada como responsável pelo processo de liberação de determinados hormônios.

Outros modos de conceber o processo de liberação ou outros fatores responsáveis por esse processo haviam sido postulados como enunciados igualmente prováveis. Mas, não é fácil pôr em dúvida dados gerados por um espectrômetro de massa. Não se trata de dizer que, por princípio, é impossível contestar uma medida obtida por meio desse tipo de aparelho. O problema é que tal aparelho tem por trás de si uma teoria reificada após décadas de pesquisas básicas em física cuja validade não é colocada em dúvida desde uma longa data.

A possibilidade de questionar o enunciado que afirma a existência do TRF, a tal substância liberadora de hormônios, passa a implicar na contestação da teoria reificada no espectrômetro de massa ou, o que poderia ser ainda mais caro, no desenvolvimento de uma linha totalmente alternativa de pesquisa que implica em conceber e montar laboratórios talvez ainda mais sofisticados do aquele de onde saiu o enunciado que se poderia querer contestar. Na história específica da pesquisa sobre o TRF, o nível de investimento chegou a um ponto que inviabilizou os esforços de grupos rivais em persistir na pesquisa de enunciados alternativos:

Comparada ao que valem oito anos de documentos e um material de um milhão de dólares, a gama dos enunciados possíveis sobre a estrutura do TRF é restrita. O custo da seleção de um enunciado fora dessa gama é proibitivo (LATOUR e WOOLGAR, ibidem, p. 152).

Depois de longos processos de pesquisa empírica, a ausência de qualificadores e recursos de argumentação associados a uma proposição específica é o que eleva seu status, dando a ela o caráter de um fato. De modo simétrico, a existência de operações de argumentação e persuasão indica que um determinado enunciado não corresponde a um fato. Deste modo, um texto ou um



enunciado podem ser lidos como contendo um fato, ou estando submetidos a um fato, quando os leitores têm a convicção de que não há debate a respeito deles. Para se chegar a este ponto, no entanto, “muita água deve passar por debaixo da ponte”.

Até o presente momento, nesta seção, utilizei os conceitos de ciência normal e revolucionária para refletir sobre possíveis diferenças na intensidade com que os cientistas se envolvem em controvérsias. Também procurei assinalar a importância de fatores técnicos que compõem os processos de argumentação e que estão associados à adoção de teorias compartilhadas ou a necessidade de sustentar argumentos em dados de laboratório cuja produção envolve custos e investimentos. Assim, acredito ter me posicionado, minimamente, diante da questão que levantei no início da seção sobre o papel ou a importância relativa dos processos de argumentação na produção do conhecimento científico.

A partir de agora, passarei a me posicionar sobre a possível existência de formas de argumentação específicas da retórica das ciências. Latour e Woolgar (ibidem, p. 222-223) nos oferecem uma série de exemplos de diálogos entre pesquisadores registrados durante suas atividades rotineiras de trabalho. Reproduzirei aqui apenas um dos vários exemplos, que envolve uma conversa entre um cientista mais experiente, Scott, e outro quinze anos mais moço, Jürgen:

Jürgen: Olhe esses números, não está nada mal.

Scott: Hum... Acredite em minha experiência, quando não ultrapassa 100 não é nada bom, é ruído de fundo.

Jürgen: E, no entanto, o ruído parece quase consistente.

*Scott: Ele não varia muito, mas **com esse ruído não conseguiremos convencer as pessoas, quero dizer, as pessoas importantes** (grifo meu).*

O trecho que eu mesmo grifei é uma evidência de que a avaliação dos dados está diretamente ligada a uma operação retórica de persuasão, além de variar com o indivíduo que o interpreta ou com o público para o qual se dirigem os resultados. Mas, também existem aí parâmetros técnicos que fazem parte do conhecimento tácito que se adquire com a prática dentro de uma matriz disciplinar. Desse modo, juntam-se em um único processo, a avaliação da qualidade dos dados estabelecida pela matriz disciplinar e o nível do público para o qual os dados serão destinados



como base de operações de argumentação. Essas são, basicamente, as especificidades dos processos de retórica e argumentação nas ciências.

Na análise que Latour e Woolgar (ibidem) fazem do uso da retórica na interação verbal entre cientistas eles constataam que há similitudes entre as trocas que tomam a forma de conversas no laboratório e aquelas que se passam no exterior. Nada indica que esses intercâmbios ou trocas integrem um tipo de processo de raciocínio radicalmente diferente daqueles que caracterizam os intercâmbios em ambientes não científicos.

Não constitui surpresa a existência de similaridades entre padrões de raciocínio e recursos de retórica utilizados nos empreendimentos científicos e não científicos. Afinal, todos esses empreendimentos são conduzidos por seres humanos, muitas vezes perspicazes e inteligentes. Pensar de outra forma seria dar crédito ao mito que caracteriza o cientista como um indivíduo genial e visionário, com extrema capacidade de raciocínio, muito além daquela dos humanos comuns. De acordo com Perelman e Olbrechts-Tyteca (1999, p. 08):

As mesmas técnicas de argumentação se encontram em todos os níveis, tanto no da discussão ao redor da mesa familiar como no do debate num meio muito especializado. Se a qualidade dos espíritos que aderem a certos argumentos, em campos altamente especulativos, apresenta uma garantia do seu valor, a afinidade da sua estrutura com a dos argumentos utilizados nas discussões cotidianas explicará por que e como se chega a compreendê-los.

Segundo Emeren, Grootendorst, Kuiger (1987), todo processo de argumentação: (a) é uma atividade social, intelectual e verbal; (b) pressupõe a existência de opiniões divergentes acerca de um tema; (c) tem como propósito a justificação ou a refutação dessas opiniões; (d) coordena um conjunto de informações, questionamentos, proposições factuais e recursos explicativos destinados a fundamentá-los; (e) é dirigido para a obtenção de aprovação por uma determinada audiência.

É apenas essa última característica atribuída aos processos de argumentação que nos permite diferenciar a retórica científica da não científica. Em outras palavras, tal diferenciação não deve ser procurada nos padrões de raciocínio ou recursos de retórica, mas nos valores e na cultura que



distinguem as audiências formadas por cientistas de outras encontradas em outros setores da práxis social.

Isso nos conduz à seguinte questão: que características distintivas têm os valores e a cultura partilhada por especialistas que pertencem a uma mesma comunidade científica e, por essa razão, têm a necessidade e a oportunidade de recorrer à argumentação como recurso de retórica? Chauí (1997, p. 249), parte de um ponto de vista muito semelhante ao de Bachelard para estabelecer uma comparação ponto a ponto entre a “atitude científica” e as características das culturas de senso comum. Segundo essa autora:

Antes de tudo, a ciência desconfia da veracidade de nossas certezas, de nossa adesão imediata às coisas, da ausência de crítica e da falta de curiosidade. Por isso, ali onde vemos coisas, fatos e acontecimentos, a atitude científica vê problemas e obstáculos, aparências que precisam ser explicadas e, em certos casos, afastadas.

Apesar de interessante em seu conjunto, não é de todo correto o ponto de vista que Chauí apresenta no texto citado. Kuhn (1998), com seus conceitos de ciência normal e matriz disciplinar, nos mostra que a ciência não avançaria se a crítica, a curiosidade e a identificação de problemas e obstáculos promovessem um questionamento contínuo e incessante das teorias que permitem a produção do conhecimento científico. Os acordos tácitos e explícitos entre os membros da comunidade regulam o que pode ser questionado e o que deve ser assumido como verdade ou, pelo menos, como hipótese fundamental de trabalho.

Em minha opinião, o conceito que Thomas Kuhn denominou como matriz disciplinar é justamente aquilo que devemos investigar para delimitar a base da cultura científica que permite a um cientista individual, no interior de um laboratório, ou a um grupo de pesquisadores co-autores de um artigo, produzir recursos de retórica adequados à audiência formada pela comunidade de especialistas a que eles pertencem.

A matriz disciplinar inclui uma gama de estratégias concebidas para permitir a produção e a análise de evidências. Do modo como Kuhn (1977) as concebe, essas estratégias não podem ser interpretadas como um conjunto de prescrições metodológicas, sendo mais bem caracterizadas como um saber parcialmente tácito derivado de um conjunto de **valores cognitivos**.



Eu acredito que é no modo particular como uma determinada comunidade de especialistas aprende a compartilhar modos mais ou menos similares de interpretar e utilizar valores cognitivos é que devemos procurar a especificidade da retórica das ciências. Em linhas gerais, os valores cognitivos estão associados às características de uma boa teoria científica. Kuhn (1977, p. 385) apresenta exemplos de valores cognitivos, afirmando não ter a pretensão de produzir uma lista exaustiva³⁶. Para seguir a linha de raciocínio desse autor farei uma apresentação livre e comentada de alguns de seus exemplos de valores cognitivos.

Em primeiro lugar, para ser valorizada, uma teoria deve ser exata, o que quer dizer que suas previsões devem se ajustar àquilo que a comunidade determina como uma “concordância razoável” entre previsões e resultados de experimentações ou medições. O termo “razoável” aqui é importante, pois, nas ciências naturais não existem resultados exatos e não se espera uma concordância plena entre previsões e medições.

A concordância razoável não é algo que tenha uma definição absoluta ou generalizável, mas varia caso a caso, em função de acordos e critérios estipulados pela comunidade de especialistas. Já vimos um exemplo disso no trecho que transcrevi da pesquisa etnográfica de Latour e Woolgar (1997), no qual um cientista experiente e um novato discutem a diferença entre o que é um sinal significativo e o que é um mero ruído produzido por um aparelho inscitor. Vimos, no mesmo exemplo, que a definição de uma concordância razoável é o que torna um dado experimental parte legítima de um argumento construído para elevar o status epistemológico de uma proposição factual.

Em segundo lugar, uma teoria deve ser consistente, não só internamente, mas também com outras teorias aceitas pela comunidade. Apesar de ser um valor, a consistência entre teorias dá origem a uma regra que pode ser subvertida. A esse respeito, lembremo-nos, pois, da velha mecânica quântica de Bohr que, como nos diz Lakatos (1979), é um exemplo do desenvolvimento de um programa de pesquisas que coordena duas teorias nitidamente inconsistentes.

³⁶ Em LACEY (1998) encontramos um esforço de estender a lista de possíveis valores cognitivos característicos da atividade científica e outras implicações de seu uso.



A velha mecânica quântica de Bohr se apóia, por um lado, na teoria da radiação eletromagnética de Maxwell, segundo a qual partículas eletricamente carregadas emitem radiação, perdendo energia. Também se apóia na teoria da estrutura do átomo de Rutherford que nos propõe a existência de cargas elétricas negativas girando aceleradamente ao redor de um núcleo constituído por cargas elétricas positivas. As duas teorias de base da velha mecânica quântica são incompatíveis visto que, para a teoria eletromagnética as cargas negativas aceleradas do átomo de Rutherford deveriam irradiar energia, o átomo deveria perder energia e a matéria não poderia ser estável.

O terceiro valor cognitivo que eu irei comentar é estético e sugere que boas teorias exibam simplicidade, apesar de serem capazes de reunir fenômenos que, sem ela, seriam individualmente isolados, confusos ou até contraditórios. Outro valor cognitivo importante é a capacidade da teoria produzir um “excesso de conteúdo empírico” (nas palavras de LAKATOS, 1979).

Para produzir excessos de conteúdo empírico uma boa teoria deve desvendar relações imprevistas entre fenômenos já conhecidos e propor novos fenômenos oriundos dessas relações. Tais previsões empíricas se estendem muito além dos fenômenos particulares para cuja interpretação a teoria foi projetada, a princípio. A fecundidade teórico-empírica de uma teoria é vista por Kuhn como um critério diferenciado, pois tende a interferir diretamente nos critérios utilizados por cientistas individuais para aceitar as teorias e os argumentos que elas permitem produzir ou estruturar. De acordo com Kuhn (1977, p. 385, nota de rodapé):

Um cientista, ao escolher entre duas teorias, sabe habitualmente que a sua decisão terá uma relação com a seqüência da sua carreira de investigação. Naturalmente, está especialmente atraído por uma teoria que promete os êxitos concretos pelos quais os cientistas são em geral recompensados.

O aspecto mais importante do conceito de valores cognitivos, que nos permite diferenciá-los de regras metodológicas ou artifícios padronizados de retórica, é que eles são individualmente imprecisos e podem entrar em conflito entre si. A concordância razoável entre previsões e medições, por exemplo, pode apontar para a valorização de uma determinada teoria, enquanto a promessa de fecundidade pode apontar para uma teoria rival. Além disso, os valores cognitivos sempre estão sujeitos a interpretações diferentes. Como observa Kuhn (1977), tais características



não são exclusivas dos valores cognitivos partilhados entre cientistas. Os valores sociais e culturais, em geral, possuem a mesma função: influenciam nas decisões de indivíduos particulares e no mérito que atribuem a determinados argumentos, sem especificar quais devem ser exatamente as decisões ou os argumentos decisivos. Essa característica não diminui a importância, nem dos valores sociais mais gerais e nem dos valores cognitivos nas ciências.

Quadro III.6- Os três conteúdos do currículo, o argumento e a persuasão nas Ciências

APECTOS OU DIMENSÕES DAS CIÊNCIAS	Argumento e Persuasão
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	As ciências exibem um modo muito particular de compreender e interpretar o mundo. Por isso, aprender as idéias das ciências e aproximar-se do modo científico de conceber a realidade pode contribuir para aumentar a capacidade dos estudantes de coordenar diferentes pontos de vista, tornando-os mais críticos e argumentativos. Para fazer isso, é preciso dar voz aos estudantes, dar-lhes acesso às linguagens e pontos de vista utilizados pelas ciências, bem como deixá-los manifestar e refletir sobre seus próprios pontos de vista.
Aprender sobre ciências	O estudante deve compreender que, na produção e validação do conhecimento científico, o cientista precisa convencer seus pares, sustentar suas idéias mediante a apresentação de evidências e demonstrar que seu modo de interpretar os fenômenos é superior a outros modos possíveis. Estratégias políticas, aspectos culturais e pressões sociais participam desse processo de persuasão. A atividade científica pressupõe colaboração, crítica e competição .
Aprender a fazer ciências	Aprender a comunicar resultados de uma investigação e a justificar idéias e explicações criadas para interpretá-la. Aprender a criticar idéias ou afirmações a partir da apresentação de contra-evidências e contra-argumentos.



III.8- Provisoriedade e devir

Quando digo que todas as ciências pressupõem provisoriedade e devir quero afirmar que o conhecimento científico é sempre a resposta a um problema ou a um conjunto de problemas específicos. Assim, novos problemas tendem a exigir novos conhecimentos e, muitas vezes, a revisão de teorias e fatos antes estabelecidos. Pode-se dizer, por essa razão, que a ciência é uma aventura e um desenvolvimento no tempo. Como nos diz Bachelard (1996, p. 17):

O conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras. Nunca é imediato e pleno. As revelações do real são recorrentes. O real nunca é 'o que se poderia achar', mas é sempre o que se deveria ter pensado. O pensamento empírico torna-se claro depois, quando o conjunto de argumentos fica estabelecido. Ao retomar um passado cheio de erros, encontra-se a verdade num autêntico arrependimento intelectual. No fundo, o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos.

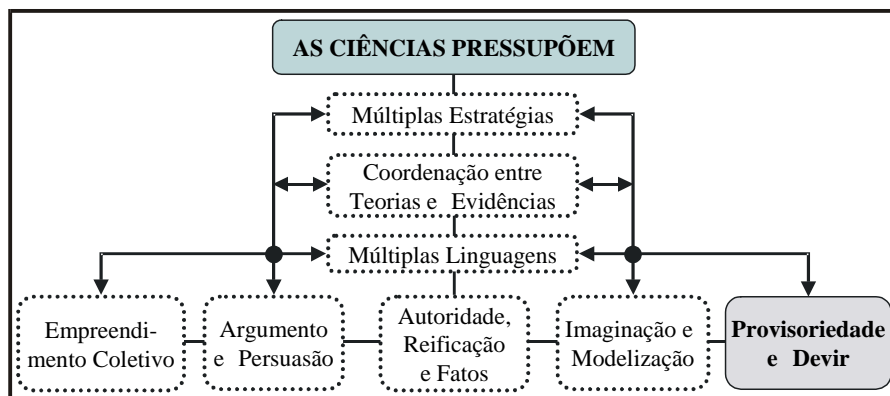


Diagrama III.8

O ponto de vista expresso no texto de Bachelard pode ser defendido desde múltiplas perspectivas. Bronowski (1979, p. 26), por exemplo, destaca o fato de que todo ato de conhecimento é também um ato de criação, para nos dizer que:

Se a tarefa do pintor fosse copiar para os homens aquilo que estes vêem, o crítico faria apenas um juízo: ou a cópia está ou não está conforme. Se a ciência fosse uma cópia do fato, então qualquer teoria estaria certa ou errada, e seria assim para sempre. Nada ficaria para nós dizermos senão: isto é assim ou não é assim. Ninguém que tenha lido uma página de um bom crítico ou de um cientista teórico pode tornar jamais a pensar que esta escolha estéril de sim ou não é tudo o que o espírito



oferece. A realidade não é uma exposição a ser vistoriada pelo homem, com o rótulo 'Não tocar'. Não há aspectos fotografados, experiências copiadas, em que não tomemos parte. A ciência, tal como a arte, não é uma cópia da natureza, mas uma recriação da mesma.

Pode-se dizer também, tal como Latour e Woolgar (1997) ou Latour (2000), que a realidade produzida pelas ciências é limitada a teias teórico-empíricas que as próprias ciências constroem. Esses autores comparam as ciências a locomotivas que podem percorrer grandes viagens, mas jamais são capazes de andar fora dos trilhos. Desde esse ponto de vista, a realidade extralaboratório é sempre mais complexa que a realidade produzida pelas ciências. Afinal, no laboratório as situações são simplificadas para que se possam produzir novas realidades. Assim, todas as realidades extralaboratório, nas quais o conhecimento científico se mostra efetivamente útil, podem ser concebidas como “anexos dos laboratórios”.

Esses diversos argumentos levam-nos à conclusão de que a única certeza que possuímos acerca do conhecimento científico é a de que ele é provisório ou, em outras palavras, de que a ciência é devir. Mas, admitindo este ponto de vista, é possível falar em progresso, desenvolvimento ou evolução do conhecimento humano sobre os fenômenos naturais? Os trilhos das ciências apenas se expandem para regiões diferentes ou eles nos levam a lugares melhores? O conhecimento científico progride ou ele simplesmente muda conforme mudam as questões de interesse e as teorias utilizadas para abordá-las?

À primeira vista, parece não haver dúvidas de que o conhecimento científico evolui. Afinal, a ciência é um empreendimento cultural. Alguém, em sã consciência, pode negar que, pelo menos desde a invenção da escrita, os sábios, pensadores e cientistas têm contato com as idéias de seus pares e antecessores ou as utilizam como ponto de partida de seus próprios trabalhos intelectuais? Isso por si só já não garantiria o “progresso” da cultura e do conhecimento científico?

Reflexões mais cuidadosas sobre esse problema sugerem que há mais aspectos a se considerar, além das possibilidades de acumulação de conhecimentos permitidas pelo acesso aos saberes de gerações anteriores que foram registrados através da escrita ou de outros objetos culturais. Vou iniciar uma incursão por essas reflexões a partir das idéias de alguns dos epistemólogos que mais se ocuparam da questão do desenvolvimento do conhecimento científico.



Popper (1975) aborda o desenvolvimento científico como um processo de aproximação da verdade. Ele não acredita que o conhecimento científico possa ser “provado”, alcançando o status de conhecimento definitivo. Em outras palavras, ele não acredita em um conhecimento científico estático. Apesar disso, seu ponto de vista é o de que a mudança científica é um processo racional, que nos leva a alcançar e a produzir teorias melhores.

Para Popper, se as teorias científicas não podem ser provadas, elas podem ser falseadas ou refutadas mediante o confronto com evidências experimentais ou observacionais. Quando isso acontece, são produzidas novas teorias, ainda especulativas e provisórias. Tais teorias precisam explicar o que as teorias anteriores explicavam, além de fazer novas previsões que poderão vir a ser, posteriormente, refutadas. Todavia, pelo menos enquanto tal refutação não ocorre, “o excedente empírico” associado às novas previsões indicará, ainda que virtualmente, para o avanço do conhecimento sobre o mundo natural.

Kuhn (1979a e 1979b) aborda o tema do desenvolvimento científico sob uma perspectiva muito diferente. Ele, como muitos outros epistemólogos que se seguiram a Popper, rejeita a idéia de que tal desenvolvimento possa vir a acontecer mediante um processo de substituição de teorias refutadas pela experiência. Em outras palavras, ele não acredita que teorias possam ser escolhidas mediante testes experimentais capazes de mostrar qual é a teoria mais adequada. Sua resposta ao problema da escolha entre teorias é a seguinte:

Tome-se um grupo das pessoas mais capazes com a motivação mais apropriada; adestrem-se essas pessoas em alguma ciência e nas especialidades pertinentes à escolha em perspectiva; inculca-se-lhes o sistema de valores e a ideologia vigentes em sua disciplina (e numa grande extensão em outros campos científicos também); e, finalmente, permita que eles façam a escolha. Se essa técnica não explicar o desenvolvimento científico como nós o conhecemos, nenhuma outra o fará. Não pode haver um conjunto de regras adequadas de escolha que se possam impor ao desejado comportamento individual nos casos concretos que os cientistas encontrarão no decorrer de suas carreiras. Seja o que for o processo científico, temos de explicá-lo examinando a natureza do grupo científico, descobrindo o que ele valoriza, o que ele tolera e o que ele desdenha (KUHN, 1979b, p. 294).

Apesar de usar o termo *técnica* na citação anterior, o texto de Kuhn é claro em apontar sua descrença na existência de regras metodológicas, a priori, para a escolha entre teorias. Lakatos



(1979) reconhece as críticas que Kuhn fez à visão do progresso científico proposta por Popper. Assim, ele admite que evidências experimentais não são capazes de refutar teorias. Além disso, Lakatos concorda com a postulação de Kuhn de que a tenacidade, isto é, a capacidade das teorias científicas em conviver com evidências, supostamente refutatórias, é um valor intrínseco às “boas teorias”.

A tenacidade é uma característica atribuída por Kuhn a todas as teorias. Por um lado, a tenacidade está relacionada ao fato de que as teorias sempre têm a chance de incorporar ou assimilar, posteriormente, evidências que se comportavam, a princípio, como anomalias³⁷. Por outro lado, a existência de anomalias só se torna perturbadora quando essas se mostram persistentes e quando novas teorias são postuladas para interpretá-las, colocando-se na perspectiva de teorias rivais àquela teoria, que antes convivía de modo não problemático com as anomalias.

Depois de aceitar as críticas de Kuhn e romper com as teses do refutacionismo ingênuo de Popper, Lakatos decide criticar o ponto de vista de Kuhn e, particularmente, a idéia de que não é possível estabelecer regras para a escolha de teorias. Ele encara a necessidade de estabelecer esse tipo de regras como a manutenção da perspectiva popperiana que crê na existência de um processo racional de desenvolvimento do conhecimento científico. Lakatos, então, se propõe a postular novos critérios que permitam abandonar ou “refutar” teorias, bem como promover a escolha entre teorias rivais, a ponto de afirmar que uma delas é mais promissora. O conjunto de critérios apresentados por Lakatos é designado por ele através do termo “convencionalismo revolucionário”.

Lakatos atribui os germes de seu convencionalismo revolucionário às idéias dos neokantianos, a Poincaré e, finalmente, ao próprio Popper. Os neokantianos são chamados por Lakatos de “ativistas revolucionários”. Ele utiliza o termo “ativistas” para denominar todos aqueles que, em alguma medida, partilham da tese racionalista de que a origem do conhecimento encontra-se no sujeito cognoscente e não no objeto do conhecimento. Segundo Lakatos, aos “ativistas” se contrapõem os “passivistas” que, a exemplo dos empiristas clássicos, acreditam que a origem do

³⁷ O termo anomalia designa de modo genérico as evidências supostamente falseadoras de uma teoria.



conhecimento é o objeto do conhecimento e não o sujeito cognoscente. Nas palavras do próprio autor:

Os Kantianos, ou ativistas conservadores sustentam que nós nascemos com nossas expectativas básicas; com elas transformamos o mundo em ‘nosso mundo’ mas, depois, temos de viver para sempre na prisão do nosso mundo.... (...) Mas os ativistas revolucionários acreditam que os referenciais conceituais podem ser desenvolvidos e também substituídos por novos e melhores referenciais; somos nós que criamos nossas ‘prisões’ e também podemos, com espírito crítico, demoli-las” (LAKATOS, 1979, p. 127).

Poincaré é identificado como um “convencionalista conservador”. Lakatos resume a concepção do convencionalismo conservador a partir de uma citação de Poincaré que diz que à proporção que a ciência cresce, a força da evidência empírica diminui. Segundo essa perspectiva, após um período considerável de êxito empírico inicial, os cientistas podem decidir não permitir que a teoria seja refutada. Uma vez tomada essa decisão, resolvem (ou dissolvem) as aparentes anomalias por meio de hipóteses auxiliares. A principal desvantagem desse convencionalismo conservador, segundo Lakatos, é a de nos incapacitar de *sair das prisões que nós mesmos nos impusemos*.

O convencionalista conservador torna não-falseáveis por decreto algumas teorias universais, que se distinguem por seu poder explanatório, sua simplicidade ou sua beleza. O convencionalista revolucionário toma decisões para demarcar a teoria que está sendo testada do conhecimento de fundo não-problemático. O elemento convencional concentra-se aqui na decisão de conceder – num dado contexto – um status metodologicamente ‘observacional’ ou inquestionável a uma teoria.

Além disso, o convencionalista revolucionário, também chamado por Lakatos de “falseacionista metodológico”, assinala que as convenções acerca do que se considera “teoria sob teste” e “teoria observacional inquestionável” devem ser endossadas pela comunidade científica. Do mesmo modo, a lista de evidências “falseadoras”, aceitas como anomalias, deve ser fornecida pelo veredicto dos cientistas experimentadores.



Todas essas convenções, ou decisões metodológicas, supostamente permitiriam o estabelecimento de uma ‘base empírica’ sobre a qual o conhecimento científico poderia ser erigido e o julgamento de progresso e avanço desse conhecimento poderia ser estabelecido. Se a ‘base empírica’ definida a partir de todos esses consensos colidir com uma teoria, a teoria poderia ser dita ‘falseada’, não no sentido de que está sendo “refutada”, mas no sentido de que será abandonada pelos cientistas.

Considero problemática a tentativa de Lakatos de reduzir à perspectiva metodológica toda a complexa rede de decisões que permitem aos cientistas estabelecer a base empírica das ciências e promover a avaliação de teorias. Esta atitude de Lakatos é decorrente de sua decisão de descartar as contribuições da sociologia da ciência que ele chama pejorativamente de “psicologia das multidões”.

Assim como Kuhn (1977, 1979 e 1998), Feysabend (1979), Ziman (1979, 1981 e 1996), Latour e Woolgar (1997), Latour (2000), Lacey (1998) e outros, não acredito que existam padrões atemporais e estritamente racionais para explicar a mudança de teorias e o desenvolvimento do conhecimento científico. Em uma nota de pé de página, mas não no texto principal, o próprio Lakatos reconhece as dificuldades práticas da aplicação de seu falseacionismo metodológico ou convencionalismo revolucionário³⁸:

Nossa exposição mostra claramente a complexidade das decisões necessárias à definição do ‘conteúdo empírico’ de uma teoria – isto é, o conjunto dos seus falseadores potenciais. O ‘conteúdo empírico’ depende da nossa decisão sobre as ‘teorias observacionais’ e as anomalias que devem ser promovidas a exemplos contrários. Se tentarmos comparar o conteúdo empírico de diferentes teorias científicas, a fim de verificar qual é o ‘mais científico’, ver-nos-emos envolvidos num sistema de decisões muito complexo e, portanto, irremediavelmente arbitrário a respeito de suas classes respectivas de ‘enunciados relativamente atômicos’ e seus ‘campos de aplicação’. Mas uma comparação dessa natureza só é possível quando uma teoria suplanta outra (cf. ‘A lógica da pesquisa Científica’, de Popper, 1959, p. 401, nota de rodapé nº 7). E mesmo assim pode haver dificuldades (as quais, todavia,

³⁸ Em minha opinião, a oscilação que se pode notar em Lakatos (1979) entre o uso desses dois nomes já é um sinal de inconsistência ou de movimento pendular entre a dimensão convencionalista e necessariamente sociológica de sua epistemologia e a dimensão metodológica e, portanto, “racional”.



não se somariam à irremediável ‘incomensurabilidade’ (LAKATOS, 1979, p. 135 e 136, nota de rodapé 79).

Utilizarei a crítica de Lakatos à idéia de incomensurabilidade – que aparece no final da citação anterior – como uma deixa para introduzir algumas novas contribuições de Thomas Kuhn para o tema que está em discussão. Kuhn é o principal defensor do conceito de incomensurabilidade, que já foi preliminarmente abordado no início da seção em que eu defendi a idéia de que as ciências pressupõem múltiplas linguagens. Naquela ocasião, afirmei que o conceito de incomensurabilidade foi um dos principais critérios utilizados por Popper e Lakatos para afirmar que a epistemologia de Kuhn instituíra uma visão irracional do processo de desenvolvimento científico.

Por essa razão, abordarei, num primeiro momento, a discussão sobre o lugar dos aspectos racionais e irracionais nas transformações do conhecimento científico que ocorreram ao longo da história. Para isso, resgatarei e discutirei um texto no qual Paul Feyrabend caracteriza esses aspectos, de modo muito semelhante àquele no qual eu mesmo acredito. Para Feyrabend (1979), pode-se considerar a ciência uma atividade racional no sentido de que somos capazes de explicar alguns dos seus traços em função de razões aceitas no tempo de sua ocorrência, ou inventadas no decurso de seu desenvolvimento. Por outro lado, também podemos considerar a ciência como uma atividade irracional porque:

(...) nem essas razões lógicas que mudam de uma idade para outra bastam para explicar todas as características importantes de determinado episódio. Precisamos acrescentar acidentes, preconceitos, condições materiais (como a existência de um tipo particular de vidro num país e não em outro), as vicissitudes da vida de casados, inadvertência, superficialidade, orgulho, e muitas outras coisas para se obter um quadro completo (Feyrabend, 1979, p. 267).

As tentativas de Popper e Lakatos de extirpar qualquer traço de irracionalidade da atividade científica, que são enfaticamente criticadas por Feyrabend, me fazem lembrar de uma série norte-americana produzida para a televisão, e que fez muito sucesso na minha época de menino, sendo reprisada até hoje. Trata-se da série *Star Trek* ou “Jornada nas estrelas”, na qual o cientista da expedição, chamado Dr. Spock é caracterizado como um personagem atormentado pela sua



herança humana materna - que o leva a ter, ocasionalmente, emoções, que interferem negativamente em sua capacidade de avaliação “puramente racional”. O tormento desse personagem é o de negar sua natureza parcialmente humana e se apegar a sua herança paterna e extraterrestre que, supostamente, lhe garantiria a capacidade de agir e julgar sob bases “puramente racionais”.

Embora Kuhn (1979b) rejeite veementemente a acusação de Lakatos (1979) e Popper (1979) de que sua concepção do desenvolvimento científico instaura o irracionalismo como base da epistemologia, eu, particularmente, não vejo razão para uma reação tão veemente contra esse tipo de “acusação”. Talvez ela se deva mais à surpresa ou à indignação de ver o princípio da incomensurabilidade ser utilizado como evidência da irracionalidade das ciências.

Em minha opinião, os cientistas não são seres puramente racionais, caso contrário, eles não seriam seres humanos, e nem sequer “meio humanos”, como o Dr. Spock da série *Star Trek*. Embora a ciência, vista como um todo, ou “vista de longe”, possa e deva parecer um empreendimento em que prevalecem atitudes racionais, isso não deveria nos levar à conclusão de que os cientistas como indivíduos agem de modo estritamente racional nos micro-processos de negociação e de condução da prática científica do dia a dia. Como nos mostram Latour e Woolgar (1997), os cientistas não agem racionalmente quando se trata de disputas entre teorias, carreiras, prestígio ou poder. David Bohm, um dos grandes físicos do século XX, nos apresenta uma contestação ainda mais veemente à tese ingênua que propõe a estrita racionalidade das ciências e dos cientistas. Ele, então, nos pergunta:

E como pode a ciência levar os seres humanos a controlarem-se a si mesmos? Como poderiam os cientistas moderar os ódios e aversões entre as nações, as religiões, as ideologias, se a própria ciência é fundamentalmente limitada e controlada por essas últimas? (BOHM e PEAT, 1989, p. 23).

Para encerrar essa discussão sobre racionalidade *versus* irracionalidade, eu gostaria de perguntar: Afinal, o que ganhamos ao extirpar todos os aspectos irracionais da atividade científica? Não seria suficiente afirmar que as ciências constituem um gênero da atividade humana, no qual a racionalidade é altamente valorizada, ou como diria Bachelard, exacerbada?



Como argumenta Kuhn (1977), o conceito de incomensurabilidade que passarei a discutir e caracterizar, agora com mais detalhes, não carrega nenhum traço de irracionalidade. Esse conceito, isso sim, liga-se diretamente à questão da continuidade *versus* ruptura, que está no seio da discussão sobre a evolução ou o desenvolvimento do conhecimento científico.

Quando mudanças radicais ocorrem nas teorias ou matrizes disciplinares utilizadas para guiar a pesquisa científica, fica difícil estabelecer critérios gerais a partir dos quais as teorias que se sucedem podem ser comparadas. Assim, por exemplo, é muito difícil comparar a física aristotélica à física newtoniana, no sentido de afirmar que a segunda destas teorias é superior ou explica todos os fenômenos que a primeira explicava, apresentando, além disso, um “excedente empírico”, ou corrigindo limitações ou “erros” contidos na teoria anterior. O mesmo pode-se dizer quando se compara a física newtoniana com a teoria da relatividade formulada por Einstein³⁹.

Considero correto dizer que a teoria newtoniana é melhor e mais minuciosa do que a teoria aristotélica, no que diz respeito à sua capacidade em responder os problemas para os quais ela foi formulada. A teoria relativística também merece a mesma avaliação quando comparada à mecânica newtoniana. Mas, já que essas três teorias respondem a problemas muito diferentes, pode-se afirmar que elas são, em certa medida, incomensuráveis. A incomensurabilidade é um conceito sutil e relativo. Não pode ser usado na perspectiva do “oito ou oitenta”. Por essa razão, vale a pena falar um pouco mais sobre ele.

Vejamos em primeiro lugar, a afirmação de que a mecânica newtoniana corrigiu “erros” contidos na física aristotélica. Uma das várias limitações da física aristotélica em relação às mecânicas newtoniana e relativística era o conceito de velocidade usado por Aristóteles. Kuhn (1977, p. 293-321) analisa as características desse conceito e descreve as experiências de pensamento formuladas por Galileu para mostrar sua inconsistência em relação à maneira como o próprio Galileu formulava as questões relativas ao movimento. A longa citação que reproduzo abaixo é

³⁹ Piaget e Garcia (1987) comparam as mecânicas aristotélica, newtoniana e relativista para apresentar evidências de evolução cultural e intelectual da primeira a última dessas teorias. Como não disponho de espaço, e tendo em vista o modo sofisticado como esses autores elaboram sua análise dessa suposta evolução, decidi não apresentar e nem comentar a comparação que eles realizam.

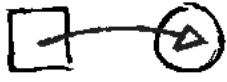


necessária, tendo em vista que eu dificilmente teria a mesma clareza que o autor para contrapor os conceitos de velocidade de Aristóteles e Galileu, de modo a contribuir para que possamos aprofundar nossa compreensão acerca do conceito de incomensurabilidade:

*O conceito de velocidade de Aristóteles, com seus dois critérios simultâneos, pode aplicar-se sem dificuldade à maior parte dos movimentos que vemos à nossa volta. Os problemas aparecem apenas para aquela classe de movimentos, também bastante raros, em que o critério de velocidade instantânea e o critério de velocidade média conduzem a respostas contraditórias em aplicações qualitativas. Em ambos os casos, os conceitos são contraditórios apenas no sentido de que o indivíduo que os emprega corre o risco de auto-contradição. Quer dizer que ele pode encontrar-se em situações onde pode ser forçado a dar respostas incompatíveis a uma e mesma questão. É claro que não é isto o que se quer habitualmente dizer quando o termo ‘auto-contraditório’ é aplicado a um conceito. Pode bem ser, contudo, o que temos no espírito quando descrevemos os conceitos examinados acima como ‘confusos’ ou ‘inadequados’ para o pensamento ‘claro’. Decerto, estes termos adaptam-se melhor à situação. No entanto, implicam em um padrão de clareza e adequação que podemos não ter o direito de aplicar. **Deveríamos exigir de nossos conceitos – o que não exigimos nem podemos exigir das nossas leis e teorias – que fossem aplicáveis a toda e qualquer situação que possa, aceitavelmente, apresentar-se em qualquer mundo possível? Não será suficiente exigir de um conceito, tal como exigimos de uma lei ou de uma teoria, que seja inequivocadamente aplicável em toda a situação que esperamos encontrar?** (KUHN, 1977, p. 309, grifo meu).*

O trecho da citação que eu destaquei em negrito é, para mim, uma excelente síntese da idéia de incomensurabilidade, pois nos leva a questionar diretamente a tese de que “limitações” da física aristotélica foram “superadas” pelo conceito galileano de velocidade, posteriormente, incorporado à mecânica newtoniana. Ainda assim, poder-se-ia objetar que a física aristotélica não é propriamente uma ciência, que se trata de um conjunto de crenças metafísicas instituídas sobre bases qualitativas, ou que ela não está inserida na tradição científica moderna.

Desde este ponto de vista, pode-se postular que, dentro da tradição da ciência moderna, a incomensurabilidade não poderia ser sustentada, nem sequer de modo sutil e relativo. Assim, por exemplo, poder-se-ia afirmar que somos capazes de derivar a mecânica newtoniana da mecânica relativística, ao nos restringirmos a fenômenos nos quais as velocidades envolvidas são muito menores do que a velocidade da luz. Tal posição, todavia, apenas reduz as mecânicas newtoniana



e relativística, aos seus aspectos estritamente matemáticos. Esse reducionismo entra em confronto com a definição - que eu utilizei na terceira seção deste capítulo - quando caracterizei o termo teoria.

Considero a postulação de que a mecânica newtoniana está plenamente contida na mecânica relativística o resultado de uma perspectiva reducionista do conceito de teoria. O que dizer, por exemplo, da diferença entre os conceitos de massa, nas mecânicas newtoniana e relativística? Tratam-se de conceitos radicalmente diferentes, orientados para lidar com concepções de movimento e do universo que são também muito diferentes.

As mecânicas newtoniana e relativística são teorias que concebem mundos diferentes e, por essa razão, são, ao menos ontologicamente, incomensuráveis. Além disso, apropriando-me do argumento que Kuhn utilizou na comparação entre os conceitos de velocidade em Aristóteles e Galileu, posso perguntar: seria sensato considerar o conceito de massa inercial da mecânica newtoniana “errado” ou “inferior” ao conceito de massa relativística? Ou seria melhor dizer que o conceito de massa newtoniano não é adequado ao tipo de problema concebido por Einstein e que, por isso, Einstein foi levado a formular um conceito de massa radicalmente diferente?

Compreender o significado do termo teoria de um modo mais rico e sofisticado é algo necessário para coordenar a questão da provisoriedade e do devir das ciências com as outras dimensões da natureza da atividade científica apresentadas no diagrama III.1. A necessidade de denominar de algum modo, o conjunto de imagens das ciências articuladas e sintetizadas por meio desse diagrama, me levou ao termo “epistemologia adaptativa”.

A escolha deste termo foi inspirada no trabalho de Arruda, Silva e Laború (2001) que sugere que a visão de Thomas Kuhn acerca do processo de coordenação entre teorias e evidências experimentais poderia ser caracterizada como um processo de “adaptação”. O trecho que eu transcrevo abaixo é, possivelmente, um dos pontos da argumentação de Thomas Kuhn que fizeram com que Arruda, Silva e Laború (ibidem) tomassem a decisão de atribuir o conceito de “adaptação” a este autor e passassem a adotar seu ponto de vista como parâmetro para repensar a educação em ciências no laboratório. Nas palavras do próprio Kuhn (1977, p. 317):



(...) o desenvolvimento de uma especialidade científica madura é normalmente determinada em grande medida pelo corpo estreitamente integrado de conceitos, leis, teorias e técnicas instrumentais, que o especialista adquire na educação profissional. Esse edifício, testado pelo tempo, de crenças e expectativas diz-lhe como é o mundo e, simultaneamente, define os problemas que exigem atenção profissional. São esses problemas que, quando resolvidos, alargarão a precisão e o alcance da adaptação entre a crença existente, por um lado, e a observação da natureza, por outro.

Considero que o uso do termo “adaptação” usado por Kuhn (ibidem) ou por Arruda, Silva e Laború (ibidem) torna adequado proceder a uma comparação entre o sentido que esse termo parece ter, nessas circunstâncias, e o sentido que tem o conceito biológico de adaptação. O conceito de adaptação é uma das idéias-chave que estruturam a teoria da evolução que consta nos currículos da educação básica na área de ciências naturais⁴⁰. Meu interesse particular em promover essa comparação pode ser também justificado em função da alusão que eu já havia feito à biologia quando utilizei, nas seções anteriores, os termos ecologia conceitual e ecologia factual.

Há diferenças importantes no sentido que os termos “adaptação”, “ecologia conceitual” ou “ecologia factual” têm na discussão sobre a natureza das ciências em relação aos conceitos de adaptação e ecologia da biologia. A tendência do pensamento analógico em ocultar as diferenças entre os dois sistemas colocados em analogia, que é denunciada por Bachelard (1996), é um risco que não se pode correr em uma tese que pretende ter entre seus leitores potenciais professores da área de ciências naturais da educação básica. Vejamos, pois, qual é a diferença mais importante a ser considerada. Discutirei-a concentrando-me no termo adaptação, cuja elucidação, acredito, contemplará uma discussão semelhante que eu poderia pretender fazer em relação ao termo ecologia.

A adaptação biológica não carrega nenhuma intencionalidade. Os organismos não sofrem transformações *para* se adaptar ao ambiente. Eles simplesmente sofrem transformações que podem, posteriormente, trazer vantagens adaptativas a um ambiente que, muitas vezes, também

⁴⁰ Junto com outros autores, expressei a centralidade do ensino-aprendizagem dos conceitos de adaptação e evolução biológicas na educação básica (APEC, 2003).



está se transformando. As ciências, entretanto, tendem a se adaptar intencionalmente aos interesses sociais e às transformações culturais. Embora não existam regras explícitas e atemporais que governem o processo de adaptação do conhecimento científico aos empreendimentos sociais vinculados às ciências, não há como negar que esse processo exhibe sim um aspecto de intencionalidade.

Neste sentido, existe “adaptação” entre teorias e evidências, ou entre o empreendimento científico e outros empreendimentos sociais, em uma perspectiva completamente diferente daquela que pressupõe o conceito de adaptação biológica. A “adaptação” das ciências aos objetivos dos empreendimentos sociais a elas relacionados é um fenômeno cultural e social. Como nos lembra Leontiev (1978), as dinâmicas do desenvolvimento cultural distinguem-se, radicalmente, daquelas que caracterizam a evolução biológica.

Quadro III.7- Os três conteúdos do currículo, a provisoriedade e o devir nas ciências

APECTOS OU DIMEN- SÕES DAS CIÊNCIAS	Provisoriade e Devir
CONTEÚDOS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS Aprender as idéias das ciências	As idéias das ciências são úteis e válidas no interior de “teias teórico-empíricas” produzidas pela atividade científica. Entender essas idéias implica em aprender a construir as próprias “teias”, a reconhecer o “domínio de validade” das idéias que constituem os próprios conhecimentos prévios e a formular questões que permitam a expansão e a complexificação desses conhecimentos. Para contribuir com esses processos é sumamente importante estabelecer o domínio de validade das idéias científicas apresentadas na educação básica.
Aprender sobre ciências	A ciência é uma aventura e um desenvolvimento no tempo. As teorias e os conhecimentos empíricos nascem de projetos delimitados por objetivos, questões ou problemas específicos. O mundo natural sempre pode ser “revisitado” e investigado a partir de outros objetivos e questões e, por isso, é sempre produzir novos conhecimentos e realidades quando interagimos com ele.
Aprender a fazer ciências	Aprender que, às vezes, é preciso reavaliar a adequação de idéias antigas a novos contextos e a construir (ou reconstruir) novas idéias, mesmo quando isso nos obriga a mudar nosso modo de pensar ou conceber a realidade. A “abertura para o novo” pressupõe, também, aprender a utilizar critérios e valores para comparar idéias e teorias “rivais” ou pontos de vista discrepantes.



III.9- Empreendimento coletivo

No final da seção anterior, sugeri que o empreendimento científico articula-se intencionalmente com outros empreendimentos sociais. A articulação mais óbvia se dá entre as ciências e as tecnologias, mas não devemos restringir a idéia de que as ciências pressupõem **Empreendimento Coletivo** à questão das relações e possíveis diferenças entre as ciências e as tecnologias.

Em primeiro lugar, pode-se justificar o adjetivo **coletivo** que aparece ao lado do substantivo **empreendimento**, resgatando a idéia de que a produção e a validação dos conhecimentos se faz no interior de comunidades de especialistas⁴¹. Mas, é aí que surgem as questões: Quem define as metas e objetos de estudo da investigação científica? Quem financia ou mantém as ciências?

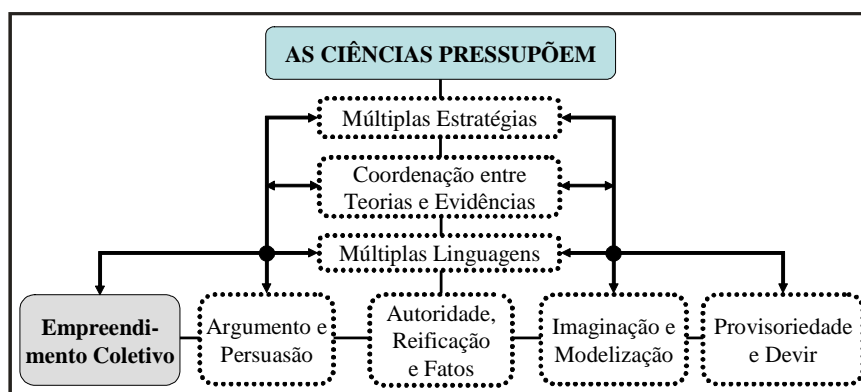


Diagrama III.9

De modo geral, o empreendimento científico tem três grandes objetivos: (a) responder a necessidades práticas, ajudando a gerar soluções tecnológicas; (b) atender à curiosidade humana; (c) sofisticar as teorias que são os instrumentos a partir dos quais todo o conhecimento científico é gerado.

Atualmente, a maioria das demandas sociais que mobilizam as comunidades de cientistas surge das áreas econômica e militar. As guerras sempre foram uma fonte de “inspiração” e financiamento da atividade científico-tecnológica (ZIMAN, 1981). Mas, também há questões e

⁴¹ Essas comunidades não estão restritas àqueles indivíduos que tiveram a oportunidade de viver em uma mesma geração. Afinal, os cientistas nutrem-se da cultura e do conhecimento acumulado pelas gerações que os antecederam.



focos de interesse derivados de demandas culturais sem impacto econômico imediato, como as questões existenciais ou cosmogônicas que movem ciências como a paleontologia e a astrofísica, por exemplo. Por fim, muitas das investigações associadas às ciências básicas têm motivações “internas”, isto é, têm por objetivo ampliar ou articular as teorias vigentes, derivar novas conseqüências delas, definir seu domínio de validade ou, excepcionalmente, modificá-las.

O domínio e o controle que o homem tornou-se capaz de exercer sobre a natureza dependem desta última motivação “interna”, visto que tal controle pode ser considerado um subproduto da capacidade humana de compreender o mundo natural. Em outras palavras, podemos dizer que o controle é o resultado da semelhança - que existe em muitos aspectos importantes - entre os mundos possíveis criados pelas teorias científicas e o mundo natural no interior do qual nossa espécie surgiu e evoluiu.

Como sugere a interdependência entre as motivações “internas” das ciências e a utilidade que costuma ser atribuída posteriormente ao conhecimento científico, a linha que separa os três grandes objetivos do empreendimento científico esboçados acima não é nítida, mas tênue e, em algumas vezes invisível.

Bronowski (1979) me alertou para isso quando disse que as descobertas práticas ou aquelas que, posteriormente, dão origem a coisas práticas, não são feitas apenas por homens práticos. Para sustentar esse argumento, este autor resgata a história de dois grandes cientistas: Newton e Faraday.

Segundo Bronowski, a atenção dada por Newton à astronomia não pode ser atribuída ao acaso ou a algum gesto desprezioso. Afinal, na época de Newton, a astronomia era um tema dotado de grande interesse prático, visto que havia sido responsável pelo aperfeiçoamento dos calendários e pela extensão da capacidade humana de empreender grandes viagens sobre a superfície da Terra. Por outro lado, havia um interesse teórico genuíno em explicar a estrutura do mundo e os movimentos dos corpos celestes, motivado pelos trabalhos de Galileu e Kepler em prol do sistema de Copérnico ou da enorme quantidade de novidades observacionais advindas da invenção e aperfeiçoamento de lunetas e telescópios. De modo semelhante, a dedicação de Faraday à investigação das relações existentes entre os fenômenos elétricos e magnéticos também



pode ser explicada pelo fato de que esse era um dos problemas centrais das ciências físicas de seu tempo, a ponto de tornar-se o tema central das pesquisas de vários cientistas naturais da época.

Sabemos hoje que a mecânica Newtoniana foi usada como base dos cálculos que permitiram ao homem ir até a Lua e que o trabalho de Faraday o levou a observar e a explicar o fenômeno da indução eletromagnética, atualmente responsável por toda a geração de energia elétrica em larga escala. Pode-se concluir, portanto, que tanto o trabalho de Newton, quanto o de Faraday têm relação com as necessidades sociais de suas épocas e geraram aplicações práticas de grande utilidade para a posteridade.

Bronowski sugere que a utilidade e a fruição se misturam, tanto no caso da relação entre comunicação e poesia, quanto no caso da relação entre os desdobramentos tecnológicos das ciências e sua característica como exercício da vontade e do prazer humano em conhecer. Mas, os exemplos que Bronowski escolheu levaram-no a considerar o cientista como um indivíduo aparentemente isolado, embora influenciado pelos interesses de sua época. Se isso já foi parcialmente verdadeiro, no tempo em que as ciências ainda eram conduzidas por membros da elite e seus apadrinhados, deixou de sê-lo depois da transformação das ciências em uma grande e cara máquina de produção de conhecimentos.

As informações apresentadas no trabalho de Ziman (1981), até pelo fato de estarem hoje desatualizadas, nos dão uma idéia de quão gigantesco, complexo e oneroso passou a ser o empreendimento científico ao longo do século XX. Mais do que nunca, as ciências são empreendimentos coletivos e instituições sociais. Assim como Ziman (*ibidem*), Latour (2000) nos mostra que os cientistas individuais submetem-se a formas de organização do processo de trabalho semelhantes aos existentes em outras empresas. Existem, assim, os chefes de laboratório, cuja imagem se aproxima um pouco mais daquela idealizada por Bronowski, mas também os cientistas “técnicos” encarregados de trabalhos mais monótonos e rotineiros.

Enquanto instituição social, as ciências desenvolveram relações complexas com o estado e com certos setores específicos da iniciativa privada que investem no desenvolvimento de pesquisa aplicada e até mesmo de pesquisa básica. Segundo Mayor (1998), os métodos de decisão política dependem cada vez mais de conhecimento técnico especializado. É essa a razão pela qual esse



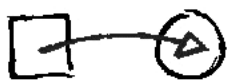
autor chega a lamentar que a complexidade das questões geradas pelo desenvolvimento científico-tecnológico leve os “conselheiros técnicos” a discordarem entre si, quando são forçados a sair do reino abstrato da ciência dura e enxergar as relações que as ciências necessariamente estabelecem com áreas que estão além das próprias ciências, como a ética, por exemplo. A consequência dessa falta de consenso entre cientistas, de acordo com esse autor é que:

“Isso concede um poder excessivo aos dirigentes, que então fazem escolhas baseadas em seus interesses e preconceitos, usando uma evidência pretensamente científica como apoio do que é, na verdade, uma decisão previamente tomada” (MAYOR, ibidem, p. 123).

A complexidade que emerge deste quadro não é difícil de imaginar. A ciência trata de questões cujo controle está fora dos limites da competência dos cientistas, enquanto “consultores técnicos”. Tais questões estão fora da competência da própria ciência, enquanto teoria abstrata e incompleta da realidade. Por outro lado, o conhecimento científico é cada vez mais especializado, o que dificulta a concepção de formas de controle social sobre a atividade científica que extrapolem o simples gerenciamento das verbas que financiam as pesquisas, sejam elas oriundas do estado ou da iniciativa privada.

A complexidade deste quadro me faz acreditar que posições ingênuas em nada contribuem para o tratamento do problema que eu acabo de esboçar. O próprio Mayor (ibidem, p. 142) nos dá um exemplo de ingenuidade ao afirmar que o conhecimento, em si mesmo, é sempre positivo e que o problema está sempre com sua aplicação que pode ser negativa ou até mesmo perversa. A intenção de reservar ao plano da pesquisa aplicada, tanto os mecanismos de controle, quanto a discussão do impacto social das ciências, contradiz uma posição encontrada no próprio texto de Mayor (ibidem, p. 125) que usa as palavras de outro autor para nos dizer que não há ciências aplicadas se não houver ciências para aplicar.

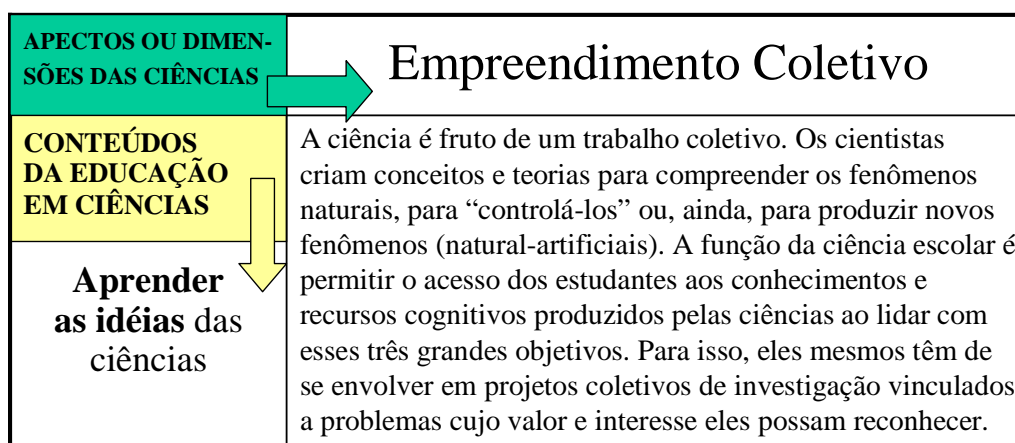
Antes de terminar esta seção e, sob pena de parecer ingênuo, devo frisar que o empreendimento científico-tecnológico não gera apenas “soluções tecnológicas”, como mencionei ao discorrer sinteticamente sobre os três grandes objetivos das ciências, mas também problemas sociais e ambientais. Na sociedade atual, nem o controle da atividade científica, nem a apropriação do



saber gerado por tal atividade são democráticos. Segundo Mayor (ibidem, p. 136), apesar de ter 80% da população mundial, os países em desenvolvimento são responsáveis por apenas 4% dos gastos com pesquisa e desenvolvimento no mundo. Além disso, apenas recentemente começou-se a despertar para os enormes prejuízos que a fragmentação da atividade científica ajudou a estabelecer nas relações entre a espécie humana e o ambiente. Esse despertar emerge da consciência de que são cada vez mais globais os problemas gerados pelo empreendimento científico-tecnológico ou aqueles para cuja solução tal empreendimento poderia contribuir. Entre eles situam-se as alterações climáticas decorrentes do efeito estufa e os riscos que o crescimento demográfico tem trazido para a biodiversidade.

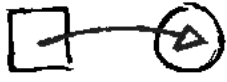
O empreendimento científico esteve, em grande parte, orientado para resolver aquilo que Kuhn (1998) chamou “minúsculos enigmas” que permitiram que as teorias fossem “se adaptando” ao mundo natural. O resultado disso foi um conhecimento ajustado ao mundo natural sob vários critérios, mas extremamente fragmentado quando considerado como um todo. Bohm e Peat (1989) nos apontam diversas conseqüências negativas e imprevistas oriundas desse *modus operanti* do empreendimento científico-tecnológico. Ele gerou problemas simultaneamente econômicos, ecológicos e sociais para cujo enfrentamento são necessárias novas respostas políticas embasadas em uma compreensão menos fragmentada da realidade.

Quadro III.8- Os três conteúdos do currículo e as ciências como empreendimento coletivo





Aprender sobre ciências	As questões que geram as investigações científicas têm várias origens. Tais investigações, muitas vezes de alto custo econômico, podem surgir de demandas econômicas e militares (as guerras sempre foram uma fonte de “inspiração” e financiamento da atividade científico-tecnológica). Há questões e focos de interesse derivados da curiosidade humana ou de demandas culturais (questões existenciais e cosmogônicas, por exemplo). Muitas das investigações associadas às ciências básicas têm por objetivo ampliar ou articular as teorias vigentes, derivar novas conseqüências delas, definir seu domínio de validade ou, excepcionalmente, modificar tais teorias.
Aprender a fazer ciências	A aplicação das idéias genéricas e abstratas das ciências aos contextos de vida e de significação dos estudantes é sempre um ato de criação e produção de novos conhecimentos. Aprender a produzir questões, a conduzir processos de investigação e a produzir novos modos de compreender ou intervir na própria realidade é aprender a fazer ciências. Tudo isso implica na necessidade de interagir com outros sujeitos, de modo a empreender projetos coletivos.



Capítulo IV - Análise e resultados: Imagens iniciais de ciência dos estudantes



Os dados apresentados neste capítulo foram construídos a partir de uma entrevista de avaliação diagnóstica realizada com os estudantes logo nas primeiras semanas do segundo trimestre letivo de 2001, período durante o qual eu acompanhei as aulas de ciências naturais da turma de 7^a série, que começava a utilizar as atividades que eu concebi com o intuito de promover o ensinar-aprender sobre as ciências.

Apresentarei aqui transcrições dos diálogos realizados com apenas duas duplas de estudantes. Considerarei as entrevistas conduzidas com essas duplas bastante representativas do conjunto de imagens das ciências e raciocínios epistemológicos encontradas dentro da turma. Variações importantes ou discrepâncias entre os pontos de vista dos estudantes serão mencionadas e discutidas.

Os quatro estudantes que constituem as duplas cujos diálogos serão aqui transcritos são bastante distintos em termos de suas competências e habilidades escolares. Isso significa que eles apresentam rendimentos diferentes em atividades de leitura e interpretação de textos ou nas avaliações escolares formais. Aqueles considerados “mais competentes” formaram a dupla que a partir de agora será identificada como constituída pelos estudantes A11 e A17. A outra dupla é formada pelos alunos A07 e A13. As minhas intervenções serão identificadas pela letra P.

Os códigos que identificam os estudantes foram criados a partir dos números associados à ordem alfabética de seus nomes verdadeiros. Esses mesmos códigos serão utilizados no capítulo V, onde utilizarei trechos de falas de praticamente todos os estudantes para exemplificar a produção e a análise dos dados.

O protocolo da entrevista analisada aqui apresentava quatro diferentes fases, cujos objetivos encontram-se descritos no quadro IV.1. É fácil estabelecer a relação entre os objetivos atribuídos a cada uma das fases e as dimensões da natureza das ciências contempladas na experiência de ensino-aprendizagem, que acompanhei no segundo trimestre letivo de 2001, e que se encontram sumarizadas no diagrama I.1. A primeira fase corresponde à primeira dimensão apresentada no diagrama.

A discussão das estratégias usadas pelas ciências para investigar questões de seu interesse ocorre na segunda fase da entrevista. Os dois aspectos fundamentais para a consideração dessas



estratégias foram explicitados no diagrama I.1 e correspondem, respectivamente, às fases três e quatro. O caráter provisório do conhecimento científico não foi abordado diretamente na entrevista inicial, mas houve várias ocasiões em que foi possível identificar o ponto de vista dos estudantes em relação a essa dimensão da atividade científica (vide quadro IV.3 na primeira seção do presente capítulo).

Quadro IV.1 – FASES E OBJETIVOS DA 1ª ENTREVISTA CONDUZIDA COM OS ESTUDANTES	
Fase 1	As metas e propósitos da ciência na visão dos estudantes
Fase 2	Imagens dos estudantes sobre o papel das evidências empíricas e de outras estratégias usadas pela ciência para investigar questões de seu interesse
Fase 3	Concepções dos estudantes sobre o teste e a avaliação de explicações e teorias
Fase 4	Bases ou critérios que os estudantes consideram legítimos para admitir uma afirmação de conhecimento como um “fato científico”.

Estes aspectos correspondem a apenas algumas das dimensões da atividade científica. Optei por tratar destes aspectos, em particular, porque acredito que eles constituem dimensões muito importantes dos conhecimentos prévios dos estudantes, que podem interferir de modo contundente no significado que eles atribuem ao discurso do professor e aos materiais de ensino.

A importância dos aspectos tratados na entrevista inicial pode ser justificada de várias formas. A caracterização das metas e propósitos das ciências pode contribuir para distinguir a ciência de outras formas de conhecimento ou manifestações culturais com as quais ela mantém maior proximidade (como é o caso da tecnologia) ou substantivas diferenças (como é o caso da filosofia, astrologia, etc.). São nossas imagens acerca dos objetivos e metas da ciência é que nos permitem atribuir um sentido para a atividade científica e distinguir aquilo que ela pode ou não pode explicar.

Por outro lado, as outras três fases da entrevista estão associadas às imagens dos estudantes sobre as estratégias das ciências para produzir e validar o conhecimento. Tais imagens são uma dimensão central de seus conhecimentos sobre a natureza das ciências e o status do conhecimento científico.

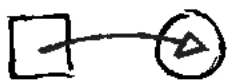


O objetivo da segunda fase da entrevista era que os estudantes dissessem quais estratégias poderiam ser usadas para obter respostas às questões que eles próprios haviam identificado como sendo de interesse das ciências na primeira fase. Na terceira fase, investiguei como os estudantes concebem o processo de avaliação de teorias ou explicações e que função eles atribuem aos experimentos nesse contexto. Na quarta fase investiguei a natureza das evidências, raciocínios e outras “fontes de convicção” que os estudantes consideram como legítimos instrumentos para transformar uma determinada afirmação em um “fato científico”.

A investigação das idéias dos estudantes sobre os processos das ciências e não apenas sobre conceitos científicos tem se constituído em uma área de pesquisa com um número crescente de publicações nos últimos anos. Uma das razões deste crescimento é o entendimento de que uma educação em ciências comprometida com a formação de cidadãos críticos e socialmente responsáveis deve coordenar três dimensões complementares do currículo: o aprender ciências (idéias, modelos e teorias), o aprender a fazer ciências (estratégias de raciocínio, artefatos cognitivos e procedimentos metodológicos) e o aprender sobre ciências (compreensão do processo de produção e validação do conhecimento científico).

O conhecimento que possuímos sobre as questões investigadas na entrevista inicial ainda é precário, apesar do crescimento da quantidade e da qualidade dos trabalhos que têm tratado, de modo mais ou menos direto, dessas questões. Todavia, mesmo que tal conhecimento não fosse tão precário, eu não teria como pré-julgar os estudantes com os quais eu trabalhei simplesmente a partir de informações obtidas na literatura especializada.

A caracterização das imagens de estudantes sobre a natureza das ciências foi o objeto de pesquisa de diversos autores. Solomon, Duveen e Scott (1994) ou Aikenhead, Fleming e Ryan (1987) utilizaram questionários de múltipla escolha nos quais os estudantes eram solicitados a avaliar asserções previamente sugeridas acerca dos propósitos do trabalho científico. Mesmo com a informação de que as opções incluídas nos questionários estavam baseadas em entrevistas abertas, desenvolvidas em estudos-piloto, julguei inadequado conceber um instrumento similar a esses para a pesquisa que eu iria desenvolver. *Surveys* como esses se caracterizam por uma espécie de pré-categorização dos dados que se espera obter através da pesquisa. Isso limita o



acesso às visões e raciocínios dos estudantes, na medida em que não lhes permite espontaneidade na interpretação das questões propostas.

Trabalhos como os de Smith et al. (2000) utilizam entrevistas estruturadas em torno de questões abertas e orientadas a colher opiniões mais espontâneas dos estudantes. Entretanto, algumas dessas questões são demasiadamente genéricas ou descontextualizadas. Isso não é propriamente um problema para a pesquisa desenvolvida por esses autores, uma vez que eles pretendiam comparar o nível epistemológico de estudantes cuja escolarização se desenvolveu em dois tipos muito diferentes de ambientes de aprendizagem. Assim, a capacidade de interpretar questões genéricas e apresentar exemplos que esclareçam sob que ponto de vista as questões estavam sendo julgadas foi usada como critério para diferenciar os grupos de estudantes entre si.

O uso de questões descontextualizadas, todavia, não era adequado à minha pesquisa. Com as questões que propus, esperava ser capaz de envolver afetivamente os estudantes com as atividades realizadas durante a entrevista, bem como suscitar modos espontâneos de raciocínio e argumentação. Para atingir esse objetivo, as questões deveriam se referir a contextos específicos e potencialmente significativos para os estudantes.

Foram essas considerações metodológicas que me levaram a recriar um dos instrumentos de pesquisa originalmente utilizados por Driver et al. (1996). Esses autores conceberam atividades de julgamento em pequena escala nas quais os estudantes eram reunidos em duplas ou grupos e, então, confrontados com questões ou pequenas histórias escritas em cartões. O objetivo das atividades era estimular os estudantes a emitir opiniões e avaliações mediante a apresentação de argumentos. A grande diversidade de contextos aos quais as atividades de julgamento se referiam permitiu aos autores identificar padrões e tendências mais gerais e menos dependentes de contextos específicos.

Apesar da utilização de um instrumento inspirado no trabalho desses autores, minha pesquisa é bem distinta daquela que eles conduziram. As principais questões de pesquisa desses autores eram: a) ocorre um desenvolvimento das imagens da ciência dos estudantes em função da idade? b) há estágios ou níveis epistemológicos que possam marcar ou caracterizar esse desenvolvimento?



A intenção central do meu trabalho não é identificar níveis epistemológicos em função da idade, escolaridade ou outro fator qualquer. Meu objeto de estudo é a investigação das possibilidades e desafios enfrentados em um ambiente de aprendizagem orientado para propiciar discussões e reflexões sobre a natureza das ciências.

Essa diferença traz conseqüências importantes no que diz respeito às estratégias de construção e análise dos dados da pesquisa que aqui apresento. Enquanto Driver et al. (ibidem) se preocuparam em encontrar padrões entre as respostas de um grande número de estudantes distribuídos em três diferentes faixas etárias, eu pretendia: 1º- caracterizar o estágio inicial de desenvolvimento de cada um dos dezoito alunos que compunham a turma de 7ª série do Ensino Fundamental na qual a pesquisa foi desenvolvida; 2º- derivar conseqüências para a prática educacional das imagens da ciência apresentadas pelos alunos.

As entrevistas ocorreram em períodos de aproximadamente 50 minutos e foram conduzidas com duplas de estudantes. A razão para a duração estar fixada em 50 minutos deve-se ao fato das entrevistas terem sido realizadas durante o horário de aula. Em 09 horários seguidos, distribuídos ao longo de três tardes, cada dupla se ausentou por um período aproximado de uma hora-aula, com o consentimento dos professores das disciplinas cujas aulas ocorriam naquele momento. As entrevistas foram conduzidas na sala dos professores que ficava situada em um local relativamente silencioso.

Ao conduzir as entrevistas não distingui explicitamente ciências naturais e ciências sociais. A natureza das questões e das atividades propostas, bem como o fato de eu já ter sido apresentado durante uma aula da disciplina ciências, contribuíram para que os estudantes restringissem às ciências naturais o significado dos termos ciência ou ciências.

No momento da entrevista entreguei aos estudantes um questionário, reproduzido na primeira parte do anexo A.2. O questionário foi concebido para investigar as fontes de informação sobre as ciências a que os estudantes tinham acesso. No questionário, dentre outras coisas, eu perguntava quais eram essas fontes e que confiança era depositada em cada uma delas. Como era de se esperar, a esmagadora maioria dos estudantes declarou ter acesso a informações sobre as ciências através de jornais, revistas e da TV, demonstrando confiança nesses mesmos veículos.



Os estudantes foram orientados a entregar o questionário preenchido na primeira aula de ciências após a entrevista. Eu considerei os dados que pude obter com o questionário um tanto vagos. Na entrevista final, realizada um ano e meio depois, eu entreguei um questionário mais elaborado ao professor e pedi que ele orientasse os estudantes a preenchê-lo em sala de aula.

Comecei as entrevistas apresentando aos estudantes os objetivos daquela atividade e o modo como ela iria funcionar. Disse aos estudantes que eles deveriam se sentir à vontade para irem além do que foi perguntado, acrescentando qualquer outra coisa que pudesse esclarecer seus pontos de vista e opiniões.

O fato das entrevistas terem sido realizadas em duplas facilitou o processo de obtenção dos dados, reduzindo o tempo despendido nessa tarefa. Contudo, o critério que utilizei ao optar por esse formato de entrevista não era o de poupar tempo. Eu acreditava que, na presença de um colega, cada aluno se sentiria mais estimulado a emitir suas próprias opiniões, argumentar a seu favor e contra-argumentar, quando confrontado com outros pontos de vista manifestos pelo companheiro.

Todos os estudantes tiveram a liberdade de escolher o colega com o qual iriam se dirigir à entrevista. Minha avaliação é a de que consegui obter um material bastante rico que permitiu construir inferências bastante arrazoadas sobre as imagens das ciências dos estudantes. As questões propostas realmente parecem ter sido consideradas interessantes e significativas. Os estudantes também demonstraram uma compreensão bastante satisfatória acerca dos objetivos e das dinâmicas propostas na entrevista.

Acho interessante registrar, a esse respeito, um comportamento curioso apresentado pelas estudantes A13 e A07. Apesar de estarem sendo constantemente lembradas e orientadas sobre o procedimento adotado na primeira fase da entrevista, essas estudantes sistematicamente iniciavam o trabalho tentando responder às questões propostas nos cartões ao invés de avaliá-las. Isso ocorreu na análise de quase todos os cartões. Todavia, em todas as ocasiões em que isso ocorreu, as estudantes rapidamente corrigiam sua atitude diante da tarefa, após uma rápida intervenção de minha parte. Isso me leva à conclusão de que elas haviam entendido perfeitamente



as instruções iniciais, desde a primeira vez, embora tivessem dificuldade em mantê-las sob foco de sua atenção.

IV.1- As metas e propósitos das ciências

Na primeira fase da entrevista decidi não solicitar aos estudantes que me dissessem quais eram os propósitos e metas que eles atribuíam às ciências. Uma solicitação tão direta e genérica como essa poderia carecer de sentido para eles. Em lugar disso, pedi a eles que lessem e avaliassem cartões, cada um deles contendo uma questão que deveria ser examinada. Na abertura dos trabalhos, bem como em todas as vezes que julguei ser necessário, esclareci aos estudantes que o objetivo da atividade não era o de responder as questões propostas pelos cartões, mas avaliar se a questão podia ser caracterizada como sendo de interesse da ciência e se seria possível investigá-la cientificamente. O anexo A.1 apresenta o conjunto das dez questões propostas e alguns comentários sobre a intenção de cada questão.

Três diretrizes foram utilizadas para conceber as questões. Eu queria que houvesse questões: 1º- mais diretamente associadas a investigações empíricas ou mais vinculadas a reflexões teóricas; 2º- mais facilmente associáveis aos interesses das ciências, ou dificilmente identificáveis com esses interesses; 3º- que fizessem referência a temas de maior e menor relevância social.

Ao perguntar aos estudantes não apenas se cada questão interessava às ciências, mas também se ela podia ser investigada cientificamente eu pretendia atingir dois objetivos: (a) conduzir os estudantes a associar o termo ciências ao processo de produção do conhecimento científico e não ao conjunto de conhecimentos historicamente produzidos e sistematizados; (b) promover uma transição natural e coerente entre a primeira fase da entrevista e as três fases seguintes nas quais investiguei as imagens dos estudantes sobre estratégias das ciências para produzir e validar o conhecimento.

Apresentação e análise dos dados

Uma análise atenta dos diálogos que eu estabeleci com os estudantes durante a avaliação das dez questões propostas nos cartões permitiu apontar três critérios frequentemente usados por eles para



identificar o tipo de questões formuladas e investigadas pelos cientistas, e assim caracterizar os propósitos das ciências. Esses critérios encontram-se sumarizados no quadro IV.2.

Quadro IV.2: Critérios usados pelos estudantes para caracterizar os propósitos da ciência
1. Indicação de temas ou assuntos que os estudantes sabem, por experiência e inserção cultural, que pertencem aos interesses das ciências .
2. Entendimento de que a ciência é uma atividade que busca construir explicações sobre questões que despertam a curiosidade humana .
3. Entendimento de que a ciência é uma atividade que objetiva alcançar um conhecimento de maior valor ou status epistemológico .

Os critérios apontados no quadro IV.2 foram extraídos de um conjunto de nove aspectos constitutivos das imagens de ciência que nós atribuímos aos estudantes a partir da análise das fitas com as transcrições das entrevistas. O segundo critério do quadro IV.2 corresponde à fusão dos aspectos C e D do quadro IV.3⁴². Esse conjunto de aspectos foi identificado quando contrastei os dados que construí na primeira fase da entrevista com os que foram produzidos durante as três fases seguintes. Uma descrição pormenorizada do processo de análise destas outras fases será encontrada mais adiante no presente capítulo.

Quadro IV.3: Aspectos constitutivos das imagens de ciência apresentadas pelos alunos	
DENOMINAÇÃO DO ASPECTO	CÓDIGO
A) Indicação de Assuntos considerados como sendo Pertinentes às Ciências (Neste caso, os estudantes não indicaram de forma clara e explícita quais metas e objetivos eles atribuem às ciências. Todavia, demonstraram muita segurança e convicção ao classificar as questões).	IAPC
B) Dificuldade ou facilidade em apresentar Visão mais Global e Diversificada dos propósitos das Ciências (Estudantes com maior nível de informação e imagens mais sofisticadas das ciências tendem a associar as ciências a um conjunto maior de situações, temas ou assuntos).	VGDC

⁴² Note que os critérios apontados no quadro IV.2 correspondem às linhas mais escuras do quadro IV.3



C) Entendimento de que as Ciências constituem um tipo de Atividade que se ocupa de Produzir Explicações sobre fenômenos e acontecimentos do mundo (O objetivo central, bem como a função social da ciência seria “produzir explicações”).	CAPE
D) Associação entre as Ciências e a Curiosidade Humana (Acrescenta ao aspecto CAPE, anterior, a idéia de que fenômenos curiosos e “interessantes” são o objeto das explicações das ciências. A curiosidade é entendida como o principal motor das ciências).	ACCH
E) Entendimento de que as Ciências são um tipo de atividade que objetiva alcançar um Conhecimento de Maior Valor (O conhecimento científico é entendido como conhecimento de maior status epistemológico, estando mais próximo da “verdade”).	CCMV
F) Associação entre Investigação, Experimentação e Ciências (Associado ao aspecto anterior com ênfase na idéia de que a ciência conduz investigações e experimentos para produzir explicações e alcançar um conhecimento de maior valor).	AIEC
G) Entendimento de que a produção das ciências envolve a Coordenação entre Teorias e Evidências (Indica a idéia de que as explicações produzidas pela ciência precisam ser avaliadas e validadas, bem como a opinião de que testar e avaliar teorias é um dos objetivos da atividade científica).	CT&E
H) Referência ao Uso de Diferentes Tipos de Evidências na produção das ciências (Refinamento do aspecto anterior. O estudante consegue distinguir diferentes tipos de evidência e reconhecer a necessidade e validade das evidências que ligam dados e teorias por meio de inferências, deduções e raciocínios dos quais participam elementos de natureza explicitamente teórica).	UDTE
I) Dificuldade ou facilidade em admitir o Caráter Provisório e Conjetural do conhecimento produzido pela Ciência (Associado a uma visão mais dinâmica ou mais dogmática da ciência. Neste último caso, o conhecimento é um processo que tem fim. O fim da ciência é o conhecimento absoluto da realidade. É o estabelecimento definitivo do certo e do errado).	CPCC

Desenvolvi duas estratégias diferentes para que o leitor desta tese possa compreender como o processo de análise permitiu elaborar os critérios apresentados no quadro IV.2, ou os aspectos constitutivos das imagens de ciência dos estudantes, que se encontram listados no quadro IV.3. De início, apresentarei a transcrição de todo o diálogo que desenvolvi com os estudantes na discussão da questão proposta pelo primeiro cartão. Em minha opinião, isso dará ao leitor condições de entender o tipo de discurso que estava sendo praticado pelos interlocutores e qual a natureza das minhas intervenções durante a entrevista. Em seguida, passarei a discutir as



principais diferenças entre as imagens apresentadas pelos diversos estudantes sobre os propósitos das ciências. Nessa etapa, fundamentarei e exemplificarei a dinâmica do processo de análise com pequenos enunciados extraídos dos diálogos que ocorreram durante a discussão dos outros cartões utilizados na primeira fase da entrevista.

Por economia de espaço, não irei transcrever a leitura das questões contidas em cada cartão, apresentando apenas o número do cartão correspondente. Solicito ao leitor que consulte o anexo A.1 para ter acesso ao conteúdo de cada questão.

Diálogo com os alunos A17 e A11 provocado pelo 1º cartão:

Convidei um dos estudantes para ler, em voz alta, o cartão que trazia a primeira questão. O diálogo ocorrido nessa ocasião é transcrito abaixo. Os códigos E1⇒, E2⇒, E3⇒, etc. enumeram as enunciações. Sua função aqui é facilitar a referência e a análise posterior a esses turnos de fala. As palavras em negrito sinalizam as expressões que nos conduziram à identificação dos critérios apresentados nos quadros IV.2 e IV.3.

*E1⇒A17: Eu acho que essa é uma questão da ciência por que eles falam assim que... O humano, ele vem, tipo assim... é um desenvolvimento maior assim... do macaco, esses negócios. Eu acho que eles tinham que se preocupar sim! Quero saber se isso é verdade porque **a gente tem que saber de onde que a gente veio**, como a gente foi evoluindo de acordo com os tempos. Aí eu acho que precisa sim!*

E2⇒P: Essa é uma questão de interesse das ciências, então?

E3⇒A17: É! Eu acho que é!

E4⇒P: E você A11, o que você acha?

*E5⇒A11: Eu também acho que é da ciência porque é... **tem gente que fala...** que eu já vi também que fala **que os chipanzés**, por exemplo, eles são tipo nossos antecedentes, sabe? E... eu acho que... **isso é uma coisa da ciência porque... os cientistas estudam isso pra saber... se é verdade ou não**. Se o homem é... tem... é igual....*

*E6⇒P: Deixa eu ver se eu entendi, vocês dois estão dizendo mais ou menos assim: que **essa questão é uma questão de interesse das ciências**, primeiro porque existe uma idéia, uma teoria, não é isso?... **de que o homem veio do macaco**. Aí tem que ver se essa teoria... Avaliar a teoria, não é? Ver se essa teoria é verdade ou não é?*



E7⇒A17: É! E tem que ir fazendo pesquisas, pra ver se é isso mesmo!

E8⇒P: Isso! Quer dizer.... Seria para avaliar essa idéia!?

E9⇒P: (Depois de obter o consentimento da dupla através de gestos) Vocês sabem de onde surgiu essa idéia?

E10⇒A17: Não!

E11⇒P: É, mas ela existe, vocês já ouviram falar?

E12⇒A17: (A17 fala enquanto A11 consente com a cabeça) É. Eu já ouvi falar.

Na enunciação E1, ao usar a expressão “quero saber”, o aluno A17 atesta, claramente, seu interesse pessoal pela questão. Ele parece atribuir a si mesmo e às ciências uma curiosidade natural acerca da origem de nossa espécie. Vinculo esse tipo de manifestação à categoria *Associação entre Ciência e Curiosidade Humana*, que corresponde ao segundo critério de caracterização dos propósitos da ciência apresentados no quadro IV.2.

Na enunciação E5, ao usar a expressão “os cientistas estudam isso para saber se é verdade ou não”, o aluno A11 demonstra associar conhecimento científico com conhecimento de maior status epistemológico, o que ilustra o terceiro critério do quadro IV.2, isto é, o *entendimento de que a Ciência é uma atividade que objetiva alcançar um Conhecimento de Maior Valor*. Em E7, ao dizer que a ciência tem que “ir fazendo pesquisas, pra ver se é isso mesmo”, o aluno A17 se alinha com A11 demonstrando partilhar o mesmo ponto de vista. Essa manifestação corresponde ao aspecto F do quadro IV.3.

O aspecto que merece mais destaque no diálogo acima transcrito é o fato de que o aluno A11 apresenta espontaneamente a idéia de que a questão exposta no cartão envolve a avaliação de uma teoria (aspecto G do quadro IV.3). O aluno diz, explicitamente, que a questão é de interesse das ciências porque sua investigação pode conduzir os cientistas a aceitar, ou a rejeitar, a idéia de que o homem descende do macaco.

Diálogo com os alunos A13 e A07 provocado pelo 1º cartão:

E13⇒A13: As semelhanças, assim, eu acho que o chipanzé age que nem o homem, né? E....ah... como é que eu vou te dizer?..... e..... eles..... nossa!



E14⇒P: *Você está querendo responder a pergunta sobre quais são as semelhanças, não é isso?*

E15⇒A13: *É!*

E16⇒P: *Não, mas não é para fazer isso! Não é para responder a pergunta!*

E17⇒A13: *Ah tá! Você tá perguntando se...*

E18⇒P: *Se essa pergunta é um tipo de pergunta....*

E19⇒A13: *Se interessa pra ciência ou não?*

E20⇒P: *Isso! Ela pode ser investigada pela ciência? Ela é de interesse para a ciência?*

E21⇒A13: *Olha, a ciência já estudou muito esses casos, né!? **Porque dizem que o macaco é parecidíssimo com o homem** e a ciência vem investigando isso há muito tempo, desde a época lá dos dinossauros, né!? Tudo mais, eles olham como é o comportamento do homem, como é o do macaco, eles acham que é igual, mas tem outras coisas. **Minha irmã, um dia, me disse que o homem não tem o.... os cientistas falaram que o chipanzé, assim, o macaco, não tem absolutamente nada a ver com o homem, tudo mais. Então, eu acho que interessa a ciência sim, sabe! Porque eles e... como é que se fala... eles estudam o comportamento do ser humano com o do macaco.***

E22⇒P: *Pra que?*

E23⇒A13: *Nossa! Pra que?*

E24⇒P: *É, assim, para que você acha que é?*

E25⇒A07: ***Só para aprofundar mais.** E que eu estava assistindo um dia desses, eu acho que foi na... foi ontem, não... antes de ontem. Eu estava assistindo... foi numa quarta... eu assisti no Discovery⁴³, um caso, eu não sei se é um nome científico, chama “pé grande”... Aí o cara encontrou um desses.*

E26⇒P: *É o abominável homem das neves, não é?*

E27⇒A07: *Isso! Aí o cara falou que viu ele, o cara que estava na neve levou a câmera e falou que viu, e agora **eu acho que isso é um estudo pra ciência porque.....** tanto é que um cara lá falou que eles **iam investigar mais, iam aprofundar mais nesse assunto prá ver se é verdade.....***

⁴³ Discovery é um canal de TV por assinatura especializado na divulgação de ciência e tecnologia.



E28⇒P: *Seria só por curiosidade? Que objetivo a ciência poderia ter numa questão como essa? Pra que estudar isso?*

E29⇒A13: *Ah, sei lá. Eles.... não sei. Estudam o comportamento, assim, eles acham que o homem, não sei assim, veio do macaco, é parecidíssimo com o macaco, tudo mais. Aí eles estão estudando....eh...*

E30⇒P: *Pra ver se essa idéia está correta? Seria Isso?*

E31⇒A07: (interrompendo o diálogo entre P e A13) *Não! Claro que não, mas...*

E32⇒A13: (interrompendo, e fazendo sinais de que concorda com A07) *É, eu acho que a ciência estudou isso por... é porque eu acho que eles.... quando eles olham pro homem e olham pro macaco, eu acho que eles vêem assim... uma certa semelhança, uma certa...*

E33⇒P: *É uma suspeita que aparece naturalmente?*

E34⇒A07: *É!*

E35⇒P: *Então, seria mais por curiosidade mesmo, né? Para saber se é verdade ou não, para saber se parece mesmo, né? Seria isso?*

E36⇒A07: *É!*

Nas primeiras enunciações, de E13 a E20, nota-se a dificuldade das alunas, particularmente da aluna A13, em avaliar a questão proposta no cartão sem tentar respondê-la. A esse respeito é importante reiterar que antes de apresentar o cartão a todos os alunos eu expliquei a dinâmica do trabalho e insisti na idéia de que as questões não deveriam ser respondidas, mas avaliadas sob o critério de serem ou não pertinentes às ciências.

Em E21, a aluna A13 parece avaliar a questão sob a influência de informações difusas que ela reteve na memória. Tais informações lhe trouxeram segurança para afirmar que o tema em questão vem sendo estudado pelos cientistas “há muito tempo”. Incluímos esse tipo de manifestação na categoria *Indicação de temas ou Assuntos considerados como sendo Pertinentes às Ciências*, que corresponde ao primeiro critério de classificação dos propósitos da ciência apresentado no quadro IV.2. Este é um critério que nos diz pouco acerca das imagens da ciência dos estudantes. Restringir-se a ele demonstra uma certa dificuldade dos estudantes em conceber critérios mais consistentes e reveladores da constituição de suas imagens das ciências.



Quanto à consistência no uso de critérios podemos destacar duas afirmações de A13. Uma delas feita na avaliação do primeiro cartão, em E21, quando ela diz que a questão é de interesse das ciências porque “*a ciência já estudou muito esses casos, né!? Porque dizem que o macaco é parecidíssimo com o homem*”, e a outra feita na avaliação da questão proposta no segundo cartão, que suscitou diálogos não transcritos aqui. Neste segundo caso, a estudante disse que a questão contida no cartão não era de interesse das ciências, justamente, porque *isso já foi muito estudado pelos cientistas*.

Um modo de compreender essa inconsistência no uso de critérios surge quando seguimos na análise da enunciação E21 e verificamos que A13 parece atribuir à questão proposta no primeiro cartão o status de uma questão ainda em aberto. Assim, logo depois de dizer que *o macaco é parecidíssimo com o homem*, afirmação na qual ela mesma acredita, A13 nos diz: *Minha irmã, um dia, me disse que o homem não tem..... os cientistas falaram que o chipanzé, assim, o macaco, não tem absolutamente nada a ver com o homem*.

Entre as enunciações E25 e E27, a aluna A07 acentua a curiosidade inerente à questão dizendo que os cientistas se interessam em investigar semelhanças e diferenças entre o homem e o chipanzé “*só para aprofundar mais*”. Essa caracterização da ciência, reforçada nas enunciações de números E32 a E36, associa a atividade científica com a investigação de “questões curiosas”. Considero esse ponto de vista como uma nítida manifestação do segundo critério de classificação dos propósitos da ciência apresentado no quadro IV.2.

A enunciação E27 também pode ser entendida como uma afirmação de que *a ciência é uma atividade que objetiva alcançar um conhecimento de maior valor*, isto é, como uma manifestação do terceiro critério de classificação dos propósitos da ciência sumarizado no quadro IV.2. Isso fica caracterizado quando A07 diz que “*eu acho que isso é um estudo pra ciência porque (...) eles iam estudar mais, ia aprofundar mais nesse assunto para ver se é verdade*”.

Diferenças na forma como os estudantes representam os propósitos da ciência

A indicação de temas ou assuntos considerados como sendo pertinentes às ciências foi um recurso acionado diversas vezes pelos alunos nas situações em que eles pareciam se sentir sem condições de argumentar e fundamentar sua avaliação das questões de forma mais consistente.



Em algumas ocasiões, o apego a afirmações do tipo “eu sei que esse ou aquele assunto é ou não estudado pelas ciências” esteve associado a uma dificuldade em construir uma visão mais global e diversificada da atividade científica (aspecto B do quadro IV.3).

Esse, por exemplo, parece ser o caso do aluno A11, na discussão que ocorreu durante o segundo e o terceiro cartão. Na discussão do segundo cartão, A11 associa a questão avaliada aos interesses das ciências dizendo: “*os cientistas, eles fazem experiências, eles estudam sobre o passado, a maioria das coisas... Igual à primeira pergunta sobre o homem e o macaco. Então, é... eu acho que isso também é da ciência de todo o mundo, porque os cientistas, eles estudam sobre os dinossauros pra ver se é verdade como eles morreram....*”.

Na discussão do cartão seguinte, o terceiro cartão, A11 tenta manter a associação entre as ciências e o estudo do passado como critério para definir os propósitos da atividade científica, mas encontra a resistência de seu companheiro A17. O trecho abaixo ilustra esse choque entre diferentes imagens sobre os propósitos das ciências.

E37⇒A17: Ah, essa eu acho que não tem nada a ver com a ciência não, uai! A ciência não quer saber se ela é confortável ou se ela é bonita, não! Quer saber, por exemplo, assim... por exemplo..... (hesita)

E38⇒A11: É mais sobre o passado.

E39⇒A17: Não. Essa aí não!

E40⇒P: Ciência seria mais sobre o passado?

E41⇒A11: É eles estudam..... (hesita)

E42⇒P: Se não for sobre o passado não é ciência!?

E43⇒A11: Não! Talvez têm algumas coisas, por exemplo, assim.....é.....Eu acho que ciência é sobre o passado, explica o passado.

E44⇒A17: Explica mais dessas coisas assim meio encobertas. Assim, que você não dá pra saber do jeito que é.

A transcrição acima nos mostra que, apesar de ter usado a expressão “fazer experiências” para justificar a classificação da questão proposta no segundo cartão como uma questão científica, o aluno A11 parece estar inicialmente restrito à idéia de que “a ciência se interessa pelo passado”



como critério definidor das metas e propósitos da ciência. Entretanto, depois desse embate entre os pontos de vista dos dois alunos, mostrada na transcrição acima, o aluno A11 passa a adotar o critério utilizado por A17, desde o início da entrevista, para definir os objetivos da ciência.

Assim, por exemplo, A11 vai analisar o oitavo cartão e dizer que: “(...) **Acho que isso é da ciência. Porque eu acho que... acho que os cientistas, eles têm dúvida sobre isso, então vão querer saber o porquê isso acontece. Aí eles vão fazer pesquisa e tudo pra saber, pra depois se alguém... aí depois eles... eles... lançam um livro. Aí as pessoas sabem porque. Porque a ciência também tem essa coisa: depois que eles fazem a pesquisa, eles colocam num livro para as pessoas saberem**”.

Desde o primeiro cartão, o aluno A17 sistematicamente caracteriza a atividade científica pela associação entre ciências e curiosidade humana e pela alusão à idéia de que a produção do conhecimento pressupõe a realização de pesquisas e investigações. Essa imagem mais sofisticada das ciências, apresentada por A17, acabou por contaminar as imagens de A11 que passou a se utilizar espontaneamente dos critérios inicialmente elaborados por A17 em quase todas as discussões que se seguiram à apresentação do quinto cartão.

Além de utilizar espontaneamente os tipos de argumento apresentados inicialmente por A17, vemos na transcrição apresentada dois parágrafos acima que o aluno A11 também atribui uma função social à ciência, na medida em que afirma que os cientistas normalmente conduzem pesquisas com a intenção de escreverem livros para divulgar os resultados de suas investigações.

Se por um lado, restringir-se à afirmação pura e simples que um determinado assunto é ou não de interesse da ciência implicou em dificuldades para a construção de uma visão mais global e diversificada da atividade científica, por outro lado, a capacidade de utilizar os outros critérios mencionados no quadro IV.3 parece estabelecer a perspectiva oposta. Os momentos em que a restrição ao primeiro critério é superada parecem caracterizar uma compreensão mais sofisticada e diversificada da atividade científica.

No início da discussão do quinto cartão, o aluno A17 alega que: “**futebol é um esporte que as pessoas praticam, não tem nada de assim... misterioso para desvendar não**”. Na seqüência, o aluno A11 adota o ponto de vista de A17 e repete o argumento: “(...) **esporte eu acho que e aí**



não tem nada assim pro cientista descobrir...é....sobre..... sobre nada.... não tem nada pra descobrir não! O que isso tem a ver com ciência? Pra mim, não tem nada a ver com ciência”.

Na seqüência dessa fala, o aluno A17 esclarece como ele vê a relação entre ciência e esporte. Segundo o que ele nos diz, a ciência tem o que dizer sobre o esporte: “(...) *sobre, por exemplo, o que rola lá, por exemplo: um jogador. Ele é dopado. Aí a ciência tem que entrar em ação. Porque aí, tem as máquinas lá”.*

Questionado sobre a que máquinas ele se referia ele esclarece dizendo que se referia ao teste antidoping. Nesse e em outros trechos da entrevista, o aluno A17 demonstra compreender que tanto os interesses, quanto as aplicações tecnológicas da ciência são variados e diversificados.

Outro exemplo de coordenação entre o primeiro e o segundo critério sumarizados no quadro IV.2 ocorreu na ocasião em que as alunas A13 e A07 discutiram a questão proposta no quarto cartão.

E45⇒A13: (...) isso assim, não interessa muito pra ciência não. Por exemplo, interessa pra ciência o caso do Aleijadinho, por exemplo. O Aleijadinho tinha uma doença. Os cientistas assim.... queriam descobrir que tipo de doença era aquela porque ele não estava fazendo.... A ciência até.... os cientistas lá, até recolheram os restos mortais dele pra ver, pra analisar os ossos, pra ver se.... se tinha alguma coisa de anormal e tudo. Agora, mas isso aqui (referindo-se ao quarto cartão) só interessa para os historiadores, mas eu acho que pra ciência não interessa não, porque se o Tiradentes foi assassinado, ele não foi, assim... morreu com alguma doença. Se fosse algum tipo de doença que ninguém até hoje não descobrisse, aí sim, os cientistas iam querer dar uma investigada e tudo mais.

E46⇒A07: Eu também concordo, porque eu acho que isso daí é mais uma história. O Tiradentes é mais uma história.

E47⇒P: História pra vocês é ciência ou não? Ou não tem nada a ver: história é história e ciência é ciência?

E48⇒A13: É. Acho que é, porque assim, história envolve um pouco de ciência e tudo mais, porque, por exemplo, a história fala lá, por exemplo: os navegadores morreram com uma doença lá, chamada peste negra. Aí tá, isso interessa um pouco pra os cientistas saberem como é que...

E49⇒P: (Interrompendo) Tem a ver com saúde, né?

E50⇒A13: É. Porque tem a ver com saúde e tudo mais, eles investigam como era a saúde deles antigamente...



E51⇒A07: Eu acho que a ciência é, assim... uma verdadeira investigação, e a história é um fato...

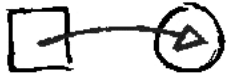
E52⇒A13: Um fato que ocorreu há muito tempo atrás, que tá contando alguma.....

E53⇒A07: (Interrompendo) Ou então que conta alguma história, e ciência pra mim, eu acho que é mais uma curiosidade que o público tem.

A análise dos trechos que destacamos em negrito mostra que saúde e doença são temas cujo tratamento as alunas atribuem à ciência, mas este não é o aspecto que mais me interessou nesta seqüência. Em minha opinião, a diferenciação entre história e ciências é o que mais merece nossa atenção. Ao elaborar sua argumentação, as alunas constroem a imagem de que a história é uma disciplina diferente das ciências porque se caracteriza por produzir narrativas que servem para nos contar alguma coisa, e que reúnem fatos que ocorreram há muito tempo atrás. A ciência, em contraposição, não constitui apenas uma narrativa sobre coisas que já ocorreram, mas é uma atividade que busca construir explicações sobre questões que despertam a curiosidade humana. As estudantes não admitem que a história seja uma ciência, mas A13 afirma que a ciência pode se interessar pela história e contribuir para com ela, na medida em que algum “fato histórico misterioso” seja identificado como curioso de modo a justificar o uso das ciências.

Em geral, todos os alunos da turma identificam a *busca de explicações para questões curiosas* entre os principais objetivos da ciência. Essa idéia contém um pequeno nuance que vale a pena mencionar. Em diversos momentos da entrevista os estudantes expressaram essa idéia ao sustentar o ponto de vista de que a curiosidade é o principal motor da ciência. Isso representa uma vivificação das ciências: as ciências são, assim, caracterizadas como uma atividade humana, e o homem é descrito como um ser naturalmente curioso! Já em outros momentos, mas particularmente na análise das questões 7 e 8, a produção de explicações sobre fenômenos e acontecimentos do mundo parece ser identificada como uma espécie de função social da ciência. O ofício do cientista é a produção de explicações.

O uso do segundo critério apresentado no quadro IV.2 aproxima as imagens da ciência de todos os estudantes entrevistados. Todavia, a maneira como eles compreendem o terceiro critério, isto é, suas imagens sobre como a ciência realiza seu objetivo de *alcançar um conhecimento de maior valor*, nos permite identificar diferenças entre seus pontos de vista.



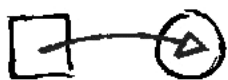
Assim, por exemplo, na transcrição do debate suscitado pelo primeiro cartão, de E5 a E7, os alunos A17 e A11 demonstram compreender que a busca por um conhecimento de maior valor obriga a ciência a se envolver com a avaliação de teorias e evidências. A falta de clareza e de informações dos alunos A17 e A11 sobre a origem da teoria de que o homem descende do macaco, evidente nas enunciações E9 a E12, não os impede de expressar esse ponto de vista.

Se A17 e A11 demonstram compreender esse aspecto da ciência, o mesmo não ocorre com A13 e A07. Em E28 pedi às alunas uma resposta mais específica sobre o interesse da ciência em relação à questão trazida pelo primeiro cartão. Diante disso, em E29, a aluna A13 mencionou a idéia de que o homem descende do macaco. A partir daí, eu perguntei, em E30, se a investigação das semelhanças e diferenças existentes entre o homem e o chimpanzé seria de interesse das ciências por dirigir-se à avaliação da idéia de que “o homem veio do macaco”. A essa pergunta, a aluna A07 responde, em E31, com um enfático NÃO!

A análise das enunciações E29 a E31 nos mostra que as alunas A07 e A13 parecem não admitir ou não compreender que a avaliação de teorias e evidências seja um dos aspectos constitutivos da atividade científica. Além disso, em vários outros trechos da entrevista elas demonstram atribuir um caráter definitivo, absoluto e não problemático ao conhecimento científico. Essa provavelmente é a razão pela qual elas não incluem a avaliação de teorias e evidências dentre os objetivos e propósitos da ciência.

Vejamos um exemplo desta característica que estou atribuindo às imagens das ciências das alunas A07 e A13. Diante da opinião surpreendente das alunas A07 e A13 de que a questão trazida pelo segundo cartão não interessava aos cientistas, tentei esclarecer a intenção da questão, frisando o fato de que ela envolvia a avaliação de uma teoria⁴⁴. Depois de ouvir meu esclarecimento, A13 nos responde: “Ah, eu acho que não tem outra maneira (de explicar) não...”. Ao longo da discussão, A07 e A13 dizem estarem convencidas de que o grande impacto foi realmente o responsável pela extinção dos dinossauros.

⁴⁴ A questão se refere à teoria proposta por Luis Alvarez em 1980, que interpreta a extinção dos dinossauros, ocorrida entre o cretáceo e o terciário, a partir da hipótese do impacto de um grande meteoro com a Terra.



A aparente adesão das estudantes a essa teoria parece produzir nelas a convicção de que não vale mais a pena para os cientistas continuarem a investigar o problema. As estudantes ignoraram minha afirmação da existência de teorias concorrentes, teorias que sustentam que a extinção ocorreu de forma mais lenta do que supõe a teoria do grande impacto, pois teria sido provocada por glaciações ou erupções vulcânicas resultantes de processos geológicos.

Como disse anteriormente, essas estudantes negaram que o conhecimento científico pudesse exibir um caráter provisório e conjectural. Isso fica bem claro, por exemplo, na análise da questão proposta pelo décimo cartão. Após a leitura do cartão, A13 declara: *“É. Eu acho que interessa pra ciência sim, por que a ciência estuda pra saber a razão do que tá acontecendo. Ali, porque acontece, por exemplo, porque a água assim... a hora que você coloca uma coisa pra boiar (referindo-se à situação proposta e observada por ocasião da análise do oitavo cartão) e ela entorta, engorda, ela..... Assim, eles estão procurando um conceito definitivo e não várias razões...”*.

Diante dessa primeira declaração, eu fiz a provocação: *“(...) tem um monte de opinião, mas a ciência não está satisfeita com a opinião”*. A essa provocação A07 responde: *“A ciência dá um objetivo lógico”*. Mais adiante A13 complementa: *“É. A questão da ciência é achar uma resposta definitiva que seja clara pra todos os pesquisadores e que seja clara pra todo mundo também”*. Em resposta eu perguntei: *“que todo mundo aceite?”* obtendo as seguintes reações: *“(A13) É! Que todo mundo aceite, mas lógico que eles vão provar isso também, né?”*; *“(A07) É! Que aí estuda pra isso!”*.

Ao contrário de A07 e A13, a dupla A11 e A17 e, principalmente, o aluno A17 possui uma imagem bem dinâmica e sofisticada do caráter provisório e conjectural do conhecimento científico. Diante da questão proposta pelo segundo cartão, que trata da avaliação de teorias sobre a extinção dos dinossauros, A11 diz que: *“(...) os cientistas, eles estudam sobre os dinossauros pra ver se é verdade como eles morreram, mas se for verdade mesmo, deve ter sido meteoro. Eu acho que é verdade sim, eu acho que eles morreram com um grande meteoro”*.

Vemos nesse trecho de fala que, apesar de ter declarado sua adesão à teoria do grande impacto, A11 admite a possibilidade da dúvida e a necessidade de avaliação da teoria. Na segunda fase da



entrevista, ao escolher tratar dessa questão, ele cita o estudo de ossos encontrados por arqueólogos como forma de investigar e avaliar essa teoria.

O estudante A17, por sua vez, demonstra estar menos confiante na teoria do meteoro ao dizer que: *“eu acho que isso é da ciência também, porque eles têm que estudar isso direito, porque não dá pra saber se eles morreram por causa do meteoro. Se o meteoro bateu na Terra, a Terra ia ficar inteira de novo? Porque não tem jeito de um meteoro bater na Terra e só os animais que vivem nela morrerem!”*.

Na seqüência, A11 constrói, com o meu auxílio, um modelo detalhado, bem estruturado e consistente de como a teoria do impacto poderia explicar coerentemente a extinção dos dinossauros. Mesmo assim, A17 mantém sua posição relativista e aberta a outras hipóteses. Aliás, ele mesmo utiliza a palavra hipótese ao se referir à teoria do impacto de um grande meteoro. Na análise do décimo cartão, o aluno A17 fornece uma justificativa muito interessante para fundamentar sua imagem aberta e dinâmica da atividade científica. Sua fala é um complemento da fala de A11 e, por essa razão, transcrevo as duas falas, na íntegra.

E54⇒A11: (imediatamente após a leitura do décimo cartão) Eu acho que isso é ciência porque... isso fala... por exemplo, o cientista vai querer saber, é... o conhecimento do mundo, como é que ele existe, essas coisas. Aí eles... tipo também um mistério..... eles vão querer saber sobre isso.

*E55⇒A17: E cada vez vai, tipo assim, **aparecendo coisas novas, então não tem jeito de... existir uma coisa concreta assim de que, por exemplo, um mundo que é de um jeito, cada dia mais ou menos vai acontecendo uma coisa nova, uma coisa diferente. Aí os cientistas vão querer saber o que está acontecendo. Tipo... outro dia... eu vi na televisão um gato que nasceu com seis pernas**”.*

A última transcrição demonstra que A17 acredita que a ciência sempre será uma atividade necessária e que a realidade nunca deixará de nos surpreender. Em outros trechos da entrevista A17 e A11 acrescentam a esta consciência do caráter provisório e evolucionário do conhecimento científico, a compreensão de que a atividade científica envolve um jogo de avaliação de teorias e evidências. Estes dois aspectos da imagem de ciência apresentados, principalmente, pelo estudante A17 me levaram a enquadrá-lo dentro dos critérios utilizados, tanto por Driver et al. (1996), quanto por Smith et al. (2000), para definir os níveis epistemológicos mais avançados



encontrados entre os estudantes que esses autores pesquisaram. Obviamente, considerar esses aspectos como associados a um nível epistemológico mais avançado é algo que pressupõe a adoção de um ponto de vista epistemológico construtivista e interacionista, tal como aquele caracterizado no terceiro capítulo desta tese.

Constatei que as informações obtidas pelos estudantes nas mais diversas fontes, ainda que difusas ou fracamente recuperadas pela memória, constituem uma referência mais que suficiente para eles se sentirem seguros ao classificar as questões propostas nos cartões como associadas ou não aos propósitos da ciência. Os estudantes entrevistados raramente hesitavam na hora de avaliar e classificar as questões. Esse fato torna-se ainda mais interessante quando analisamos os cartões e encontramos entre eles algumas questões não triviais que evitam a referência direta a clichês. Suponho, por essa razão, que os estudantes realizaram reflexões e julgamentos autênticos e autorais.

Além da segurança em classificar as questões, os resultados da entrevista me levaram a construir uma idéia bem mais otimista em relação à compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências do que aquela que esperava obter a partir da revisão bibliográfica que realizei. Trabalhos de revisão como os de Lederman (1992) e Désautels e Larrochelle (1998) criaram em mim a expectativa de que o nível de compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências poderia ser mais baixo. Na literatura que consultei, encontrei referências a imagens de ciência mais sofisticadas, em estudantes do ensino fundamental, apenas entre os alunos de Hennessey (1999)⁴⁵.

A despeito das limitações evidentes da compreensão dos estudantes que eu pesquisei sobre a história enquanto disciplina, encontrado, por exemplo, na análise das enunciações E45 a E53, julgo que a associação entre ciências, investigação e produção de explicações sobre “questões curiosas” é um indicativo de avanço sua compreensão da atividade científica. Esse elemento está

⁴⁵ O trabalho de Hennessey (1999) relata um estudo de caso longitudinal que a autora conduziu com seus próprios alunos, durante vários anos consecutivos, na escola de ensino fundamental em que ela atua como professora regente. Os alunos de Hennessey (1999) também foram alvo de um estudo conduzido por Smith et al. (2000). Este segundo estudo foi conduzido mediante um questionário através do qual foram comparados os alunos de Hennessey com alunos oriundos de “escolas tradicionais”.



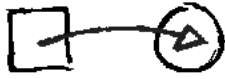
provavelmente associado à experiência dos estudantes com a educação em ciências no ambiente escolar. É possível que essa experiência tenha dado o espaço necessário à apresentação de questões e à produção ou discussões e explicações.

Isso não deveria ser elemento de destaque e poderia ser encarado como uma consequência natural da educação em ciências se não fosse o estado lamentável da educação escolar em nosso país, no interior da qual muitos professores e textos didáticos contribuem para a apresentação das ciências como conjuntos de fatos sem fundamentação e carentes de significado. Outra origem provável da associação entre ciências, curiosidade, investigação e experimentação, muito presente nas imagens de ciência apresentadas por todos os estudantes entrevistados é o acesso a programas de divulgação científica em canais de TV aos quais alguns estudantes fizeram referência explícita durante a entrevista.

Todos os dezoito estudantes entrevistados fizeram uso de critérios coerentes para avaliar as questões propostas nos cartões, embora tenham diferido na desenvoltura e na sofisticação dos argumentos utilizados para justificar suas opiniões. Há um aspecto diferenciador das imagens de ciências e raciocínios epistemológicos dos estudantes em relação ao qual eu quero fazer um destaque. Trata-se do reconhecimento de que o uso de evidências indiretas é necessário e legítimo na produção do conhecimento científico.

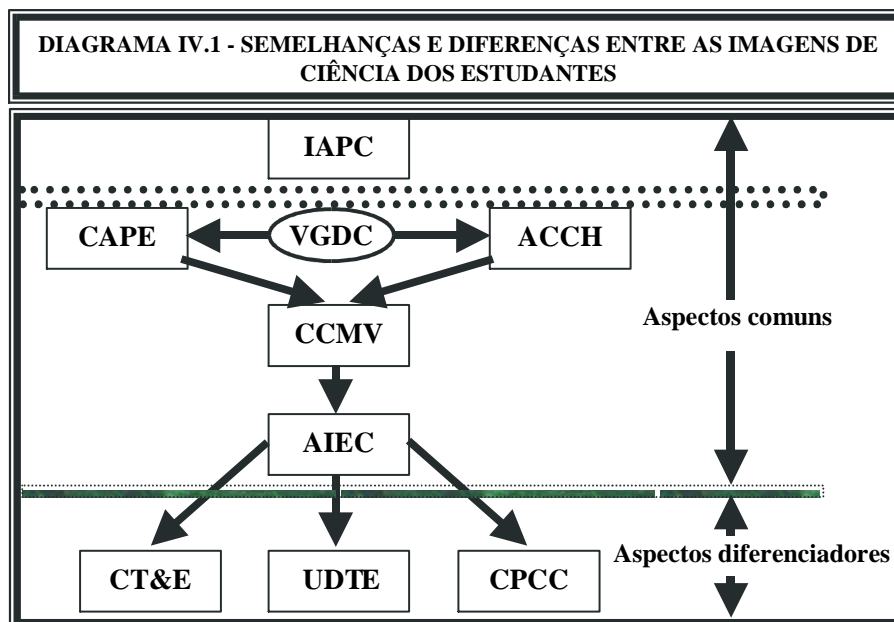
A13 e A07 e outros estudantes da mesma turma privilegiaram evidências que, supostamente, seriam diretamente acessíveis aos sentidos ou evidências que fazem parte de um senso comum ao qual eles aderiram de forma irrefletida. Temos um indicativo da referência a esse tipo de evidências na análise da questão proposta no segundo cartão, quando a aluna A07 apresenta uma dificuldade metodológica para a investigação do processo de extinção dos dinossauros. Essa estudante nos diz que: (...) *não tinha homem naquela época pra falar como acabaram os bichos... Eu acho que é um meteoro que caiu e aí acabou tudo!*

Curiosamente, a reação da estudante diante da impossibilidade do acesso a um “testemunho” sobre o evento não é de admitir o caráter hipotético e conjectural da teoria do grande impacto. Ao contrário, ela declara sua adesão à teoria negando-se a reconhecer seus aspectos possivelmente problemáticos. Seria essa aparente contradição o resultado de uma adesão pouco



refletida à teoria do grande impacto? Tal adesão teria ocorrido apenas em função da autoridade supostamente atribuída pela estudante ao veículo de informação que lhe permitiu acesso à teoria? Não seria esse episódio uma demonstração da fragilidade da estudante em avaliar teorias e explicações à luz de evidências?

Essas questões serão em alguma medida retomadas na próxima seção do atual capítulo. A referência à legitimidade do uso de evidências indiretas e apoiadas em elementos de natureza teórica ou especulativa ocorreu principalmente nas outras fases da entrevista. A referência a este aspecto constitutivo das imagens dos estudantes acerca da natureza das ciências é feita aqui, a título de síntese provisória, para introdução do diagrama IV.1, mostrado a seguir. Esse diagrama apresenta os aspectos comuns e os aspectos diferenciadores das imagens de ciências dos estudantes. Os significados das siglas utilizadas neste diagrama são apresentados no quadro IV.3.



A escolha de contextos significativos na composição dos instrumentos de pesquisa utilizados na entrevista inicial pode ter colaborado para que os estudantes demonstrassem sinais positivos na compreensão de aspectos que eu julgo serem fundamentais e definidores da natureza das ciências. Uma outra característica do instrumento - que pode ter “influenciado” os resultados da pesquisa - é o fato dele ter se baseado em questões abertas que permitiram o estabelecimento de um diálogo



entre o pesquisador e os estudantes. Nos diálogos se estabelecem trocas e as opiniões e argumentos dos estudantes surgem como resultado dessas trocas.

Embora eu não tenha concebido instrumentos de pesquisa para investigar a compreensão dos estudantes sobre a relação ciência, tecnologia e sociedade, julgo ter obtido algumas informações interessantes a respeito desse tema. A atitude dos estudantes parece ser muito diferente da atitude de um grupo de alunos-professores com os quais trabalhei na condição de professor substituto da disciplina *Fundamentos Epistemológicos*, em um curso de especialização em Informática Educativa⁴⁶. Em uma atividade introdutória desse curso, provoqueei os alunos-professores a dizer quão antiga era a ciência.

Como estratégia para resolução dessa tarefa, diversos professores listaram uma lista de “conquistas científicas da antiguidade” que incluíam coisas como a invenção do fogo e da roda. A lista de “conquistas científicas” apresentadas por esse grupo de professores evidenciou uma grande dificuldade em distinguir ciência, técnica e tecnologia. Por outro lado, o entendimento comum a todos os dezoito estudantes entrevistados de que a ciência é uma atividade que desenvolve investigações e experimentos orientados para a construção de explicações sobre “questões curiosas”, apresenta um germe de diferenciação entre a ciência e a tecnologia, ainda que possa ser considerado ingênuo no que diz respeito à compreensão das complexas relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

IV.2- Estratégias usadas na investigação científica

Como havia sido exposto no quadro IV.1, o objetivo da segunda fase da entrevista era determinar as imagens dos estudantes sobre o papel das evidências empíricas e de outras estratégias usadas pela ciência para investigar questões de seu interesse.

No início dessa segunda fase, os estudantes foram orientados a escolher duas questões dentre aquelas que eles haviam considerado como sendo de interesse das ciências. Para cada uma das

⁴⁶ O referido curso ocorreu no segundo semestre do ano de 1998, tendo sido de responsabilidade do CECIMIG/FAE/UFMG.



duas questões escolhidas, os estudantes foram desafiados a dizer que estratégias (ações, recursos, técnicas, etc.) os cientistas poderiam utilizar para investigar a questão.

Diálogos entre P, A17 e A11 durante a segunda fase:

A primeira questão escolhida pelos estudantes A11 e A17 para predicar sobre as estratégias de pesquisa utilizadas pelas ciências naturais foi a seguinte: “Que semelhanças e diferenças existem entre o homem e o chimpanzé?”. Na primeira fase da entrevista esta dupla estabeleceu espontaneamente a relação entre esta questão e a teoria da evolução, bem como utilizou esta relação para vincular a questão aos interesses das ciências.

Ao retomar a questão, na segunda fase da entrevista, o estudante A17 afirmou que as semelhanças entre homens e chimpanzés podiam ser investigadas através do estudo de ossos fossilizados que corresponderiam ao que ele chamou de “*pré-evoluções*” do ser humano. O trecho transcrito abaixo se sucede a esta afirmação:

E01 ⇒ P: Você está falando que é preciso achar o osso de um bicho que parece tanto com o homem quanto com o chimpanzé, é isso?

E02 ⇒ A17 É. Aí dá para ir vendo do jeito que ele está e como ele vai evoluindo.

E03 ⇒ A11: Você pega o homem primitivo, um dos primeiros homens e o chimpanzé. Aí você compara.

E04 ⇒ P: Só pelos ossos dá para chegar a uma conclusão certa de que, por exemplo, o homem descende do macaco? Dá para ter certeza de que essa conclusão está correta?

E05 ⇒ A11: Eu acho que sim, porque..... acho que eles não vão ter pele de homem primitivo pra pesquisar mais. Eu acho que o máximo que eles conseguem saber é com os ossos.

E06 ⇒ P: Sim, mas daí dá para se ter certeza de que as conclusões retiradas do estudo estão realmente corretas?

E07 ⇒ A11: É!

E08 ⇒ A17: Os ossos pra um cientista valem muita coisa. A partir dele pode descobrir muita coisa.

No trecho transcrito acima, nota-se que os estudantes vinculam a investigação da questão à busca de evidências empíricas. Em E05, o estudante A11 demonstra a consciência de que é preciso



trabalhar com as evidências disponíveis. Os dois estudantes claramente acreditam na validade e suficiência das evidências obtidas através de fósseis para sustentar a afirmação de que o homem descende do macaco. A esse respeito o estudante A17 nos diz que *os ossos, para um cientista, valem muita coisa*. Como iremos notar na continuidade da análise da entrevista com a dupla A17 e A11, a legitimidade do uso de evidências indiretas para a produção de conhecimento é um valor bem constituído entre esses estudantes.

A outra questão escolhida por A17 e A11 trata da existência de teorias alternativas sobre a extinção dos dinossauros. No cartão que traz a questão lê-se: “Suspeita-se que a extinção dos dinossauros tenha sido causada por um grande meteoro que colidiu com a Terra. **É possível explicar a extinção dos dinossauros de outra maneira?**”. Essa é uma questão em que se coloca diretamente a possibilidade de que mais de uma teoria seja elaborada para explicar um mesmo processo e um determinado conjunto de evidências disponíveis. Quem acredita nessa possibilidade admite a existência de diferenças de opinião e de orientação teórica entre grupos de cientistas. A questão sugere, ainda, a existência de insuficiências na teoria dos meteoros ou, pelo menos, a possibilidade de que estas insuficiências venham a se manifestar no futuro, quando novos dados surgirem. Interpretar a questão deste modo é, no entanto, uma tarefa complexa.

Para essa dupla, eu não expus teorias alternativas à teoria do impacto com um grande meteoro para explicar a extinção dos dinossauros. Isto, entretanto, foi feito durante a primeira fase da entrevista com várias duplas de estudantes, inclusive com aquela constituída por A07 e A13. Minha omissão em apresentar outras teorias explicativas pode ter contribuído para que a dupla A17 e A11 não mantivesse o foco da questão na existência e avaliação de teorias alternativas. Ao invés disso, os estudantes discutiram apenas o processo da extinção e o modo como as ciências podem obter informações sobre ele. Apesar disso, o diálogo com esses estudantes forneceu dados interessantes.

Ao discutir a extinção dos dinossauros, A17 e A11 relatam uma série de estratégias que teriam sido usadas pelos cientistas para obter evidências e dados sobre esse processo. As estratégias não são vinculadas a uma teoria específica sobre a extinção, mas são consistentes com a perspectiva já manifestada pelos estudantes de que é legítimo extrair conclusões a partir de evidências indiretas ou pistas reunidas com o uso do raciocínio e da imaginação. Em certo momento do



diálogo, a fala dos alunos parece se concentrar completamente na tentativa de demonstrar tal legitimidade. Assim, por exemplo, o estudante A11 menciona a observação das posições de animais fossilizados que revelariam as circunstâncias de sua morte. O trecho posterior a essa fala de A11 foi transcrito abaixo:

E09 ⇒ P: Vocês estão dizendo que é possível ter muita informação de forma indireta, não é? Não é preciso estar lá, pessoalmente, no passado. Interpretando a situação com os dados que estão disponíveis hoje você pode chegar a uma conclusão?

E10 ⇒ A11: É, mas você não pode tirar o osso do lugar. Tem que deixar lá.

E11 ⇒ A17: Limpar!

E12 ⇒ A11: É, você não tira, só olha!

E13 ⇒ P: É, mas vocês entenderam a pergunta? A pergunta é: como é que dá pra saber se a extinção não ocorreu de outra maneira, sem ser da maneira explicada pela teoria do meteoro?

E14 ⇒ A11: Eu acho que é pelo “gesto”, né!? Eu acho que é pelo gesto que eles (os cientistas) vão olhar como eles (os dinossauros) morreram.

E15 ⇒ A17: Não dá pra gente ter certeza, mas dá pra deduzir mais ou menos.

E16 ⇒ A11: É: dá pra deduzir!

Nas enunciações E14 a E16, os estudantes demonstram ter consciência de que o uso de evidências indiretas nas ciências depende do uso de inferências e conjecturas. Na seqüência do diálogo, eu recuperei elementos da fala dos estudantes indicando contradições entre eles. Todavia, sem dar tempo aos estudantes para refletirem sobre as contradições indicadas, eu dei prosseguimento ao protocolo da entrevista. Minha atitude deveu-se à ansiedade de conter as quatro fases da entrevista no período de 50 minutos, como havia sido combinado.

Diálogos entre P, A13 e A07 durante a segunda fase:

As estudantes A07 e A13 também escolheram a questão sobre as semelhanças e diferenças entre os homens e os chipanzés como a primeira a ser discutida. De início, essas estudantes disseram que a questão poderia ser investigada “*pegando um homem e um macaco e comparando os dois*”. Quando eu as questionei sobre o tipo de comparação que deveria ser realizada, A07 desviou o



assunto, voltando-se para mim e perguntando se eu acreditava na idéia de que o homem descende do macaco. A pergunta de A07 é provavelmente uma reação a uma outra pergunta que eu fiz, durante a primeira fase da entrevista, quando quis saber se as estudantes vinculavam o interesse das ciências pela investigação de possíveis semelhanças entre homens e chipanzés à necessidade de avaliar a teoria de que o homem descendo do “macaco”⁴⁷. Um pouco constrangido, achando que deveria me mostrar disposto a “jogar o mesmo jogo” que propusera às estudantes, mas sem saber avaliar quanto tempo despende na argumentação a favor de minha adesão à teoria da evolução, eu passei a mencionar uma série de evidências e “fatos” que podem ser explicados de modo coerente por esta teoria. Tentando fazer uma síntese desta minha fala, a estudante A07 retoma o diálogo:

E17⇒A07: Então você acredita mais ou menos assim... porque.....

E18⇒P: Eu não tenho uma outra idéia melhor para explicar esse grande conjunto de coisas, sabe? É um conjunto muito grande de coisas que pode ser explicado de uma só maneira. Então, precisa ser uma explicação muito poderosa. Algumas idéias juntas explicam uma quantidade tão grande de coisas, daí o cientista fala: “Beleza, eu acredito nisso”. Esse é o meu critério!

Depois deste trecho, eu voltei a questionar as estudantes em relação ao modo como a questão das semelhanças entre homens e chipanzés poderia ser investigada pelas ciências. O diálogo transcrito abaixo tem início com este questionamento e encerra a discussão desta questão.

E19⇒P: Mas o que poderia ser feito pra investigar? Você falou: coloca um do lado do outro! Algo mais?

E20⇒A13: Ver se os órgãos são os mesmos. Não, não são os mesmos: são parecidos! O tipo de andar é parecidíssimo. Assim, como ele se comporta, como eles ficam se olhando.... assim, que nem quando eles catam piolhos, ficam assim coçando. Quando as macacas...

⁴⁷ A sugestão do vínculo entre a questão que trata das semelhanças e diferenças entre homens e chipanzés e a teoria da evolução foi feita a todas as duplas entrevistadas, conforme estava previsto no protocolo da entrevista. Várias duplas, entretanto, como foi o caso já relatado da dupla A17&A11, estabeleceram espontaneamente este vínculo, antes que ele fosse proposto por mim.



E21⇒P: (Interrompendo) Você está dizendo que é preciso observar o comportamento dos chimpanzés, né?!.

E22⇒A13: Para amamentar o filho é igual. Como amamenta uma mulher aí... Uma macaca amamentando o filho é a mesma coisa!

E23⇒P: O que você está dizendo é que para investigar esta questão cientificamente é preciso fazer observações de comportamento?

E24⇒A13: É!

E25⇒P: Ou observação interna, dos órgãos, ou observação externa, do comportamento? Então, vai observando para tentar chegar a uma resposta sobre a questão? É isso?

E26⇒A13: É!

Vemos, neste último trecho de transcrição, que as estudantes mantêm-se apegadas à idéia de que a investigação de uma questão de interesse da ciência se resume à realização de observações. Na primeira fase da entrevista, ao predicar sobre essa mesma questão, as alunas haviam rejeitado a idéia de que o interesse da ciência pela questão pudesse estar relacionado à busca de evidências para avaliar a teoria da evolução segundo a qual homens e chimpanzés têm um ancestral comum. Diante dessa rejeição eu perguntei qual poderia ser a razão do interesse das ciências pela questão. Esta interrogação fez com que as estudantes A13 e A07 atribuíssem um interesse quase gratuito à questão, afirmando que a ciência se interessava pela questão “só para aprofundar mais”. Para essas estudantes, a razão para o interesse dos cientistas pela questão viria “naturalmente”, isto é, não careceria de maiores explicações, já que existem diversos sinais que sugerem, a todo aquele que quiser observar, a existência de inúmeras semelhanças entre homens e chimpanzés. Essa é, em minha opinião, uma visão extremamente ingênua dos objetivos e metas que movem as ciências.

A segunda questão escolhida pela dupla A13 e A07 para discorrer sobre as estratégias de investigação das ciências trata do processo de fossilização. No cartão que traz a questão lê-se: “Por que alguns ossos de animais, às vezes, ficam preservados e se tornam fósseis, mas, às vezes, se decompõem?” Depois que eu reli a questão e perguntei para as estudantes como ela poderia ser investigada pelas ciências, ocorreu o seguinte diálogo:



E27⇒A13: Eu acho que os cientistas deviam escavar alguma coisa, olhar se tem algum tipo de mineral, sei lá como é que fala. Assim, uma substância que não deixa os ossos se decomporem.

E28⇒P: Uma coisa que exista no meio onde o osso fossilizado está e que interfere na decomposição, é isso?

E29⇒A13: É!

E30⇒P: Procurar uma causa, algum agente, alguma substância que causa isso aí. Seria isso que você está falando?

E31⇒A13: É. Eu acho que os cientistas deviam procurar alguma coisa, eles devem escavar assim, regiões onde os dinossauros viviam, e tudo, para ver se existe a possibilidade de ter alguma substância que deixa os ossos assim.

E32⇒A07: Que comprove também!

E33⇒P: Como assim A07? Que comprove como assim?

E34⇒A07: Que fale que isso é verdade. Que isso é verdade não, acho que isso não tem nada a ver não.

E35⇒P: Não está ótimo! O que você disse está jóia!

E36⇒A13: Eu acho que os cientistas deviam muito se dedicar a isso, né. Porque tem gente que já até montou o esqueleto de um dinossauro inteiro e isso é super curioso. Como? Faz milhões e milhões de anos que os dinossauros morreram e os ossos deles estão assim perfeitos. Agora eu queria saber por quê? Como isso aconteceu? Como é que não houve decomposição? Deve haver alguma coisa, alguma substância que...

E37⇒P: Então, a investigação dessa questão seria buscar nos locais onde os ossos estão preservados alguma substância que possa ter agido sobre o osso, para preservar? É isso?

E38⇒A07: É!

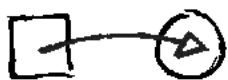
E39⇒A13: É, porque as múmias, eles descobriram....

E40⇒A07: Eles fazem a substância, né? para não decompor...

E41⇒A13: É, mas eles enfaixam, né? para os bichinhos lá não ficarem comendo demais.

E42⇒P: Eles passam uma substância também?

E43⇒A07: Passam, para proteger, para conservar.



Neste trecho, as estudantes propõem uma diretriz para a investigação da questão que é claramente orientada por uma hipótese. Tal hipótese, por sua vez, é derivada de um modelo teórico do processo de fossilização. Elas mencionam o uso de substâncias para mumificação e dizem que a preservação da múmia ocorre devido à ação de substâncias aplicadas nos cadáveres, que evitam a decomposição ao impedir que os agentes decompositores (ou *bichinhos*) fiquem *comendo demais*. Além de ser dirigida por uma hipótese teórica, a investigação da questão é vista como associada à busca de evidências empíricas que confirmem a hipótese. A estudante A07 diz, nas enunciações E25 e E27, que a obtenção de uma evidência empírica a favor da hipótese pode “comprová-la”. Desse modo, ela reafirma uma tendência verificada durante toda a entrevista: a caracterização do conhecimento científico como definitivo, comprovado e absoluto.

É interessante notar que o discurso das estudantes acerca das estratégias de investigação das ciências é muito mais rico na questão sobre a fossilização do que na questão das semelhanças e diferenças entre homens e chimpanzés. A própria característica da questão sobre a fossilização pode ter contribuído para esta diferença. A questão das semelhanças e diferenças não é de natureza teórica, embora tenha sido proposta com a intenção de ser posteriormente vinculada à teoria da evolução. Assim, ela não evoca diretamente a necessidade de uma explicação, podendo ser mantida ao nível dos “fatos”. A rejeição das estudantes a vincular a questão com a teoria da evolução acentuou o caráter empírico dessa questão e restringiu seu significado e alcance. A questão da fossilização, por outro lado, é marcadamente de natureza teórica. A expressão “por que”, com a qual esta questão é aberta, insinua a necessidade de construção de modelos e teorias explicativas e torna-a, desde o início, vinculada a alguma teoria.

Mas, a atribuição de uma natureza teórica à segunda questão não é suficiente para explicar a diferença de atitude das estudantes em relação às duas questões. Em primeiro lugar, é oportuno lembrar que as estudantes A13 e A07 não se mostraram simpatizantes da teoria da evolução. Suponho, ainda, que foi a analogia que elas realizaram entre a mumificação e a fossilização natural que as permitiu dar à questão sobre a fossilização uma dimensão nitidamente teórica. A ausência de uma teoria que conduzisse a reflexão das estudantes sobre estratégias de investigação acerca das semelhanças e diferenças entre homens e chimpanzés parece ser a explicação para a menor riqueza de suas considerações naquela situação.



Essa análise da diferença de atitude das estudantes diante das duas questões - escolhidas por elas próprias na segunda etapa da entrevista - é diretamente derivada de minhas concepções sobre a natureza do conhecimento humano. Segundo meu referencial epistemológico, a concepção e o planejamento de uma investigação são tarefas altamente dependentes de teoria. Toda investigação se estrutura a partir de perguntas e expectativas derivadas de alguma conjectura. Por isto, é razoável esperar que conhecimentos prévios mais sofisticados e recorrências a analogias venham a contribuir para que os estudantes tornem-se capazes de conceber diretrizes teóricas para uma investigação.

IV.3- O teste e a avaliação de explicações e teorias

Nesta fase da entrevista, investiguei as relações que os estudantes estabelecem entre teorias e evidências quando eles avaliam a adequação de uma determinada “teoria” ou explicação a resultados de experimentos que podem corroborá-la ou, ao contrário, funcionar como contra-evidências.

O instrumento utilizado na terceira fase da entrevista concilia pequenas inserções narrativas com diálogos entre duas personagens. As personagens são estudantes que realizam um experimento de laboratório em uma aula de ciências. A íntegra desse instrumento pode ser encontrada no anexo A.1. Ele é, basicamente, uma tradução de um dos instrumentos de pesquisa utilizados por Driver, et al. (1996). A leitura da história da realização do experimento pelas personagens é interrompida em três momentos diferentes, pelo pesquisador. A cada interrupção, o pesquisador convida os estudantes a emitirem opiniões acerca do que está sendo discutido pelas personagens.

As experiências e experimentos relatados na história abordam os fenômenos de dilatação e convecção em gases aquecidos. Ainda que não tivessem realizado os mesmos experimentos descritos na história, os estudantes estudaram conteúdos de Física Térmica durante todo o primeiro trimestre letivo do ano 2001, período que antecedeu a realização da entrevista. Eu sabia disso e foi esse um dos fatores que me levaram a utilizar o instrumento concebido por Driver et al. (ibidem). Assim, o tema tratado na história foi escolhido para permitir que os estudantes lidassem com questões e situações nas quais eles pudessem raciocinar e argumentar facilmente a



partir de seus conhecimentos prévios. Esse cuidado metodológico é o mesmo utilizado nas outras fases da entrevista.

A história começa com as duas personagens observando a dilatação de um balão introduzido no gargalo de uma garrafa cheia de ar e submetida a um processo de aquecimento. O texto da história induz a associação entre os termos teoria e explicação. Isto porque a personagem Júlia pede à personagem Sara uma explicação sobre os resultados do primeiro experimento e recebe como resposta: “Bem, eu tenho uma teoria para explicar isso”. Nesse momento, a leitura da história é interrompida e o pesquisador pergunta aos estudantes o que a personagem Sara quis dizer ao usar a palavra teoria. Pede, também, que eles avaliem se o uso que a personagem fez do termo “teoria” está ou não correto. Por economia de espaço, não irei transcrever aqui os diálogos que se sucederam a essa primeira interrupção. Apenas darei uma idéia geral das respostas dos dezoito estudantes.

No capítulo III, já tive a oportunidade de apresentar meu ponto de vista sobre o que são as teorias nas ciências. Eu as caracterizei como bens culturais que têm um status epistemológico muito superior ao de uma mera “suposição pessoal ou incerta”. Esse é um dos significados atribuídos à palavra teoria nos dicionários, sendo também aquele que, possivelmente, é o mais bastante difundido no dia a dia. Foi justamente esse o significado que prevaleceu nas entrevistas com todos os estudantes. O contexto no qual a personagem Sara utiliza o termo teoria parece ter contribuído para isso. Todavia, apesar de ser problemático em outros contextos, principalmente quando se considera o conceito de teoria científica, tal significado ajustou-se bem ao instrumento de pesquisa.

Após a primeira interrupção, a leitura da história prosseguiu e chegou-se ao ponto no qual a personagem Sara apresenta sua explicação ou “teoria” para sua colega Júlia. Logo após a explicação de Sara ser fornecida, com o auxílio de um desenho que os estudantes puderam analisar, o entrevistador interrompe novamente a história, dessa vez para solicitar aos estudantes que dêem suas opiniões sobre a explicação apresentada.



Diálogos entre P, A17 e A11 durante a segunda interrupção na leitura da história:

E01 ⇒ P: *Bom, o que vocês acham dessa explicação que a Sara deu? Dá para ter certeza de que ela está correta? A explicação é esta mesma? Tem alguma maneira de verificar se a explicação dela é boa?*

E02 ⇒ A11: *Não!*

E03 ⇒ A17: *Aqui também vai ter que ter ar. Porque não tem jeito... Aqui continua com ar. A não ser que a garrafa fosse daquelas de papel e murchasse para o balão encher.*

E04 ⇒ P: *A11 você concorda com A17?*

E05 ⇒ A11: *Concordo!*

E06 ⇒ P: *Então, a teoria da Sara não está muito boa não é?*

E07 ⇒ A11: *Não!*

E08 ⇒ P: *Mas, como é que elas poderiam fazer para se certificar que a teoria não é mesmo boa? Tem jeito ou é só uma questão de opinião?*

E09 ⇒ A11: *É!*

E10 ⇒ A17: *Não sei. Ela podia por a mão no balão pra ver se o ar estava quente.*

E11 ⇒ P: *Mas, na idéia dela, o balão estaria quente sim!*

E12 ⇒ A17: *É, mas.... então ela põe pra controlar.*

E13 ⇒ P: *Pois é, mas você não está concordando com a teoria dela!*

E14 ⇒ A17: *Não, mas..... então quer ver, olha.....*

E15 ⇒ P: *Então, fica sendo questão de opinião, está certo? Tipo assim, ciência seria isso: cada um com a sua opinião e não tem jeito de verificar. É isso?*

E16 ⇒ A17: *[fala sem convicção, e parece incomodado com o resultado da conversa] É... pode ser.*

Diálogos entre P, A13 e A07 durante a segunda interrupção:

E17 ⇒ P: *[referindo-se a explicação da personagem Sara] O que vocês acham dessa explicação?*

E18 ⇒ A13: *Eu acho que a Júlia (a outra personagem) com certeza vai entender.*

E19 ⇒ P: *Vocês acham que dá para elas terem certeza de que essa explicação está correta? Tem jeito de testar essa explicação, tipo assim, saber se ela está correta ou se não está?*



E20 ⇒ A07: Eu acho que tem. Você pega e faz. A gente mesmo que está lendo isso aqui faz a experiência e vê se é isso mesmo.

E21 ⇒ P: Mas a mesma experiência?

E22 ⇒ A07: É.

E23 ⇒ P: Mas com a mesma experiência vai acontecer a mesma coisa: o balão vai inchar. A teoria da Sara é para explicar a experiência, não é? Se a gente repetir a experiência vai acontecer, novamente, a mesma coisa. Como é que isto pode servir para testar a explicação? Para ver se ela está correta? Adianta repetir a experiência?

E24 ⇒ A07: Não.

E25 ⇒ P: Então, o que se poderia fazer? Tem jeito ou não de testar a explicação?

E26 ⇒ A13: Eu acho que não.

E27 ⇒ P: E você A07?

E28 ⇒ A07: Não!

E29 ⇒ P: Para cada situação, então, a gente vai ter uma explicação. Aí é impossível saber se uma explicação é boa ou ruim. Como é que a ciência vai alcançar certeza sobre as coisas, igual vocês já falaram? Como é que o conhecimento científico vai ser uma coisa certa e tal, se não tem jeito de testar as idéias e explicações?

E30 ⇒ A13: Eu acho que eles vão pela lógica.

E31 ⇒ P: E essa explicação da Sara, por exemplo, ela tem lógica?

E32 ⇒ A07: Lógica eu não se ela tem não. Mas ela desperta um pouco de dúvida. Desperta dúvida na pessoa.

E33 ⇒ P: Desperta dúvida, mas não tem jeito de verificar se ela é certa ou errada, não é verdade? É isso?

E34 ⇒ A07: É!

Analisando as transcrições, vemos que a dupla A11 e A17 e, principalmente, o estudante A17 rejeita a explicação simplista elaborada por Sara. Como se poderá notar, mais tarde, A17 possui um modelo de dilatação mais sofisticado do que a personagem Sara. Por isto, ele percebe as limitações do modelo que ela propôs. Apesar disso, tanto A17, quanto A11 não conseguem conceber um modo de demonstrar a inferioridade ou inadequação da explicação que eles rejeitam. As estudantes A13 e A07 também não concebem qualquer teste, e nem parecem



compreender as limitações do modelo de Sara com suficiente clareza, embora, em E₃₂, a estudante A07 demonstre sua insatisfação com este modelo ao afirmar que a explicação proposta pela personagem gera “um pouco de dúvida na pessoa”.

Eu instiguei todas as duplas entrevistadas a reconsiderar suas opiniões sobre a possibilidade de avaliar a explicação proposta por Sara. Como exemplo desta atitude recorro às enunciações E15 e E29, nas quais proponho a incômoda conclusão de que não há critérios a partir dos quais teorias ou explicações possam ser mais ou menos valorizadas. A expressão facial e o tom de voz do estudante A17, ao produzir a enunciação E16, demonstram seu desconforto diante da situação.

Diante da mesma provocação, e ainda que de forma vaga e genérica, A07 chega a sugerir que “o uso da lógica” poderia servir como critério para avaliar se uma teoria ou explicação é ou não correta. Essa estudante, contudo, não avança no sentido de nos esclarecer como a “lógica” seria usada nessas circunstâncias. É muito provável que ela não possua a menor idéia de como isto possa vir a acontecer.

Será que a familiaridade dos estudantes com o fenômeno da dilatação e com teorias concebidas para interpretá-lo, bem como sua percepção da fragilidade da explicação proposta pela personagem Sara, não deveriam capacitá-los a conceber testes experimentais ou a imaginar outros modos de avaliar a “teoria” proposta por essa personagem? Independentemente do fato de não terem concebido modos de validar ou refutar a explicação de Sara, seriam os estudantes capazes de reconhecer conflitos ou incongruências entre os resultados de um teste experimental que desafia essa explicação?

Como veremos no prosseguimento da entrevista, conceber espontaneamente experimentos ou outras estratégias de avaliação de uma “teoria” ou explicação é algo completamente distinto de ser capaz de contrastá-la com os resultados de um experimento concebido para avaliá-la. Na terceira parte da história, narrei a realização de um experimento proposto pela personagem Júlia. Após a leitura deste trecho, a história foi novamente interrompida. Nessa nova interrupção, eu perguntei aos estudantes: (a) se eles estavam surpresos com o resultado do experimento; (b) o que esse resultado poderia dizer para as duas personagens, isto é, que evidências ele traria a favor ou contra a “teoria” apresentada inicialmente por Sara.



Diálogos entre P, A17 e A11 durante a terceira interrupção:

E35 ⇒ P: E aí, o que aconteceu? As duas garotas viraram e esquentaram a garrafa. Aí, o balão encheu de novo. Bom, vocês não estão surpresos com o resultado, né? (Os estudantes, através de gestos, confirmam que já esperavam o resultado) Mas, esse resultado serve para poder avaliar a teoria inicial da Sara, de que o ar quente apenas sobe quando é aquecido?

E36 ⇒ A17: Pode. Por aí... é... está mostrando que não. O ar quente sobe e aqui em baixo, como é que fica? O que vai acontecer embaixo?

E37 ⇒ P: Então, o ar quente não sobe apenas, não é?

E38 ⇒ A11: Ele espalha para todo lugar.

Diálogos entre P, A13 e A07 durante a terceira interrupção:

E39 ⇒ P: A pergunta é: o teste que a Júlia propôs... a Júlia não explicou nada ainda, ela só propôs um teste. O teste que ela propôs dá pra avaliar a explicação da Sara? Para dizer que a explicação é boa ou é ruim, que tem ou não tem problemas?

E40 ⇒ A07: Ela disse que o ar frio sobe, não é?

E41 ⇒ P: O ar quente sobe! A Sara falou que quando o ar esquenta, o ar quente sobe.

E42 ⇒ A07: Mas e aqui? O ar frio também sobe, não é?

E43 ⇒ P: Aqui onde? É aqui que você está falando? (Aponta para a ilustração usada para apresentar a explicação proposta pela personagem Sara)

E44 ⇒ A07: Hum, hum (responde afirmativamente).

E45 ⇒ P: Então, você está achando que o ar frio daqui está subindo?

E46 ⇒ A07: O ar frio também é isso aqui, não é?

E47 ⇒ P: Não! Aqui é a situação da garrafa toda fria, antes de ser aquecida. Essa outra figura mostra a garrafa já quente com o balão cheio.

E48 ⇒ A07: (após uns três segundos de pausa) Não, acho que os dois sobem. Acho que tem problema sim. Acho que não esclareceu qual que desce, qual que não.

Depois de obter essas respostas dos estudantes, eu finalizei a leitura da história. Neste final, destaquei: (a) o reconhecimento da personagem Sara de que o resultado do experimento desautoriza a explicação que ela havia proposto; (b) a elaboração, pela personagem Júlia, de uma nova explicação coerente, tanto com o primeiro, quanto com o segundo experimento.



Ao término da história, eu apresentei algumas perguntas finais para verificar se os estudantes reconheciam as “teorias” apresentadas pelas duas personagens como diferentes, e se eles admitem que uma delas era superior a outra, do ponto de vista de sua adequação às evidências empíricas obtidas através dos experimentos. Além disso, eu retomei a opinião que estudantes apresentaram sobre a possibilidade de se testar uma explicação.

Diálogos entre P, A17 e A11 após a apresentação das questões finais:

E49 ⇒ P: Bom, aqui vão as perguntas finais. As teorias da Sara e da Júlia são diferentes?

E50 ⇒ A11: São!

E51 ⇒ A17: Sim!

E52 ⇒ P: Qual delas serve melhor para explicar aquilo que aconteceu nos dois experimentos?

E53 ⇒ A17: O ar aquecido se expande!

E54 ⇒ P: Mas, quando eu perguntei se havia jeito de verificar se uma teoria era melhor do que a outra, vocês falaram que não tinha jeito. E agora?

E54 ⇒ A17: Tem jeito, mas... não para tudo. Algumas coisas têm jeito sim de se descobrir. Só... eu ia falar isso antes, que aí eles (os cientistas) podem se juntar em grupos e aí cada um têm a sua opinião, eles juntam a opinião e descobrem alguma coisa. Ah, tem jeito, mas tudo depende do que eles querem descobrir. Tem coisas que não dá não!

E55 ⇒ P: Em alguns casos não daria para verificar se uma idéia é melhor que a outra, não é?

E56 ⇒ A17: É. Em outros casos não dá.

Diálogos entre P, A13 e A07 após a apresentação das questões finais:

E57 ⇒ P: (Após um longo trecho não transcrito em que a leitura da história foi repetida para que fosse possível re-explicar as diferenças entre as “teorias” das personagens Sara e Júlia) Bom, então, essas são duas teorias diferentes? Vocês acham? Dizer que o balão enche apenas porque o ar quente sobe ou dizer que o balão enche porque o ar quente expande para todos os lados: vocês acham que são explicações diferentes?

E58 ⇒ A13: Eu acho que são explicações diferentes sim, porque....(pausa) se o ar precisasse muito, muito, muito de espaço, é.... (pausa) como o ar é quente.... (pausa) ele ia acabar explodindo o balão e o vidro todo.

E59 ⇒ P: Pode ser que isso aconteça. Isso pode acontecer. Se esquentar demais, pode acontecer.



E60 ⇒ A13: Aí... no caso da outra, ela falou que o ar sobe e não precisa muito de espaço, e tal.

E61 ⇒ P: Mas são diferentes as teorias?

E62 ⇒ A13: É.

E63 ⇒ P: E qual delas vocês acham que está mais ajustada para esse resultado que elas obtiveram depois? Quer dizer, se virou a garrafa para cima ou para baixo, não interessa: o balão enche do mesmo jeito! Qual dessas duas idéias é mais ajustada, mais correta para explicar essa.....

E64 ⇒ A13: (interrompendo) Se a garrafa tiver de qualquer jeito, o ar vai encher o balão. É a mais correta.

E65 ⇒ P: Isso. Então, qual das duas: a da Sara ou a da Júlia?

E66 ⇒ A13: Da Júlia.

E67 ⇒ P: A segunda... você acha que ela é mais coerente com as duas situações?

E68 ⇒ A13: É... é essa aqui. Ela pode ficar de qualquer jeito, mas o ar vai sempre encher o balão.

E69 ⇒ A07: É isso mesmo.

E70 ⇒ P: Quando a gente começou a história, eu perguntei se teria jeito de testar a explicação da Sara e aí vocês disseram que não, que não tinha jeito, né?. Disseram que era só repetir a experiência, mas repetindo a mesma experiência, a explicação vai servir de novo, concordam? Então, não dá para testar deste modo. E agora, depois da gente contar a história toda, vocês acham que tem jeito de testar uma idéia?

E71 ⇒ A13: Tem!

E72 ⇒ P: Quando a gente propõe uma explicação tem jeito dela ser testada?

E73 ⇒ A13: Tem!

E74 ⇒ P: E você A07?

E75 ⇒ A07: Também acho que tem sim.

Nenhum dentre os dezoito estudantes chegou a conceber espontaneamente um teste experimental para avaliar a explicação ou a “teoria” proposta pela personagem Sara. Nenhum deles estabeleceu critérios a partir dos quais uma explicação ou teoria poderia ser julgada.

Conceber experimentos para avaliar teorias ou explicações exige que o estudante seja capaz de extrair diversas implicações lógicas das idéias que alicerçam a “teoria”, a explicação ou o modelo



sob julgamento. Uma vez extraídas as implicações, elas podem ser utilizadas para simular os fenômenos na mente, processo que produz previsões susceptíveis de verificação experimental. Os autores da história realizaram estas operações e se fizeram representar através da personagem Júlia.

Incomodada com a imagem concebida pela personagem Sara, que atribuiu ao ar aquecido um movimento exclusivamente ascendente, Júlia simulou o fenômeno em sua mente e concluiu que, caso a idéia de Sara estivesse correta, o balão não poderia se encher com a garrafa virada de ponta a cabeça. Gerada por meio de uma simulação do fenômeno na mente, essa previsão parte da aceitação por hipótese do modelo concebido por Sara. Esse é o processo que, em minha opinião, permitiu aos autores conceber o experimento proposto pela personagem Júlia.

O que estou a dizer é que interpreto a concepção do experimento de Julia como o resultado de um processo de modelização produzido na mente dos autores da história e atribuído posteriormente à “mente” da personagem Júlia. Esta descrição do processo de concepção do experimento proposto por Júlia demonstra que a capacidade de conceber testes experimentais para avaliar uma teoria ou explicação é uma tarefa bastante complexa e normalmente envolve processos de modelização.

A dificuldade dos estudantes em conceber espontaneamente testes para avaliar o modelo de Sara não os impediu de reconhecer que o resultado do teste proposto por Julia contradizia as idéias que sustentavam o modelo de Sara. A análise dos diálogos ocorridos entre o pesquisador e a dupla A17 e A11, no trecho que vai de E21 a E26, demonstra isso. Há que se notar, a este respeito, que a dupla A17 e A11 havia identificado, desde o início, problemas na explicação proposta pela personagem Sara, bem como havia apresentado sinais de que possuía uma compreensão do processo de dilatação semelhante àquele construído posteriormente pela personagem Júlia. Não é surpreendente, portanto, que A17 e A11 não tenham sido perturbados pelos resultados do segundo experimento.

Não tenho clareza acerca de como as estudantes A13 e A07 entendiam o fenômeno da dilatação. Provavelmente elas não possuíam idéias claras a respeito desse fenômeno. Elas mostraram grande dificuldade em compreender as explicações que as personagens apresentaram ao longo da história. O trecho que vai de E57 a E69 representa apenas um fragmento do esforço que eu tive de



despender para que as idéias contidas nessas explicações se tornassem mais claras para essas estudantes. Apesar de toda essa dificuldade de compreensão, vemos que as estudantes conseguem, finalmente, reconhecer a “inferioridade” da explicação apresentada pela personagem Sara e o resultado do teste experimental como uma contra-evidência em relação à “teoria” que essa personagem propôs.

Nos trechos E44 a E47 ou E70 a E75 vemos que as duas duplas reavaliam sua posição inicial, passando a admitir, abertamente, a possibilidade de que teorias ou explicações científicas sejam sujeitas a testes experimentais ou outras estratégias de avaliação racional. O estudante A17, entretanto, mantém a convicção de que isso nem sempre é possível⁴⁸. Em E54, A17 afirma que há casos em que a avaliação de teorias é possível, mas há casos que não. O estudante vincula a avaliação de teorias nas ciências à busca de um consenso entre os cientistas. Assim, ele revela sua convicção de que a produção do conhecimento científico é uma atividade social e um empreendimento coletivo.

Em minha opinião, dinâmicas discursivas semelhantes às aquelas encontradas na história que utilizei como instrumento de pesquisa podem ocorrer em sala de aula. Nesse caso, é provável que o papel representado pela personagem Júlia tenha que ser desempenhado pelo professor, embora estudantes afetivamente mais envolvidos com o tema em estudo e mais habilidosos em extrair conseqüências empíricas de idéias ou explicações também possam sugerir experimentos ou testes experimentais em algumas ocasiões.

⁴⁸ O diálogo que mantive com o estudante não avançou no sentido de esclarecer quais as situações em que testes experimentais são ou não possíveis. Contudo, é oportuno dizer que eu concordo com o ponto de vista sinalizado por A17. Conforme discuto no capítulo III, acredito que a experimentação sozinha é geralmente incapaz de sustentar inequivocamente a superioridade de uma teoria sobre teorias rivais.



IV.4- Bases ou critérios para aceitar uma afirmação como um fato científico

Na quarta fase, tratei da relação teoria e evidência sob um novo enfoque. A questão que me interessava nesta fase era investigar como os estudantes concebem o processo de transformação de uma dada declaração de conhecimento em um “fato”, isto é, quais são as fontes de convicção e certeza que, para eles, fazem proposições e declarações tornarem-se fatos.

No início desta fase da entrevista, disse aos estudantes que eu queria conhecer suas opiniões sobre o que pode levar um cientista a adquirir a certeza de que uma determinada idéia ou declaração está correta. Para que eles pudessem se concentrar na análise do processo de produção do fato, escolhi um tema em relação ao qual eles provavelmente teriam familiaridade e um bom nível de informação. Isto me levou a tratar da história da descoberta da forma da Terra, escolhi essa que se mostrou adequada nas entrevistas conduzidas com todos os estudantes da turma pesquisada.

Como nas fases anteriores da entrevista, eu queria abordar um tópico de conteúdo de amplo conhecimento dos estudantes e que já tivesse sido objeto de estudo anterior no currículo. Afinal, eu estava interessado em avaliar as formas de raciocínio utilizadas por eles na mobilização e uso de evidências para argumentar a favor de um “fato científico” no qual eles efetivamente acreditassem.

Muitos dos fatos científicos hoje considerados de domínio público são assimilados pelas pessoas sem uma avaliação crítica, fazendo parte de um “caldo de cultura” difundido através de imagens e representações que constituem, tanto o conhecimento escolar, quanto o conhecimento veiculado pelos meios de comunicação. Portanto, saber que as pessoas atribuem a uma proposição específica o status de fato nos diz pouco sobre suas fontes de certeza em relação a essa proposição, sobre as evidências que elas seriam capazes de apresentar para fundamentá-la, ou sobre a estrutura conceitual e teórica que sustenta essa fundamentação.

Para investigar as imagens dos estudantes sobre os tipos de argumentos e evidências que podem ser usados na construção de um fato científico, eu propus a apreciação do valor relativo de evidências e argumentos produzidos a favor da esfericidade da Terra em três momentos históricos



distintos, que retroagem no tempo: as imagens obtidas por satélites, a circunavegação da Terra e a análise dos eclipses da Lua feita por Aristóteles.

Os argumentos encontrados em materiais didáticos a favor da esfericidade da Terra normalmente mencionam: (a) a circunavegação da Terra por Fernão de Magalhães; (b) a observação de montanhas por tripulantes de navios que se aproximam da costa e que, supostamente, vêem primeiro o cume das montanhas, para só depois avistar sua base; (c) a observação de navios que se distanciam da costa, situação na qual poder-se-ia notar que a base dos navios deixa de ser vista, em primeiro lugar, sendo o mastro e a bandeira os últimos a sumir no horizonte. A análise dos eclipses da Lua feita por Aristóteles é um argumento que ainda não encontrei em livros didáticos nacionais e que me foi sugerida por um paradidático que não chegou a ser editado no Brasil (TOMILINE, s/ data).

Não fiz referência às observações que envolvem navios se afastando ou se aproximando da costa, mas alguns estudantes resgataram espontaneamente esse tipo de evidência. As fotos obtidas por satélites foram mencionadas espontaneamente por quase todos os estudantes. A análise dos eclipses da Lua feita por Aristóteles foi proposta por mim e não compunha os conhecimentos prévios dos estudantes.

As fotos obtidas por satélite são um tipo de evidência empírica de “primeira mão” que traz um forte apelo aos sentidos como fonte de conhecimento. Além disso, e, principalmente, é uma evidência que provavelmente não se baseia em especulações ou raciocínios dos quais o sujeito venha a tomar consciência, mas no “testemunho” de satélites e astronautas. Por conseguinte, a consideração das fotos de satélite como evidência da esfericidade da Terra tende a ser parte de um conhecimento irrefletido e pertencente ao senso comum. Esse tipo de evidência será chamado aqui de evidência “direta”, enquanto as evidências que fundamentam um “fato” a partir de raciocínios elaborados, deduções ou inferências das quais o sujeito tem consciência serão denominadas evidências “indiretas”⁴⁹.

⁴⁹ Note o leitor que a necessidade do uso de aspas nos termos “direta” e “indireta” decorre do ponto de vista epistemológico que eu caracterizei e defendi no capítulo III desta tese ao afirmar que não existem evidências diretamente acessíveis aos sentidos visto que toda percepção é mediada por conceitos (VYGOTSKY, 1991).



Se a relação entre as fotos de satélite e a esfericidade da Terra não estivesse incorporada ao senso comum, talvez fosse necessário apresentar raciocínios e argumentos para interpretar a forma plana que aparece na fotografia como uma imagem, em duas dimensões, de um objeto que, na verdade, é tridimensional. Isso, obviamente, retiraria as fotos de satélite da categoria que estou identificando pelo termo evidência “direta”, elevando-as à condição de evidências “indiretas”.

A circunavegação costuma ser apresentada no ambiente escolar por meio de raciocínios que permitem associar a esfericidade à idéia de chegar ao ponto de partida após viajar em um mesmo sentido sobre a superfície da Terra. Como veremos adiante, uma dupla de estudantes questionou a legitimidade da circunavegação como evidência de esfericidade através de uma argumentação legítima. Essa foi a única dupla a fazer isso, dentre todas as duplas entrevistadas. O não questionamento por parte das demais duplas sugere que a circunavegação fazia parte de seus conhecimentos prévios ou que eles foram plenamente capazes de acompanhar meu raciocínio quando eu (re)apresentei a circunavegação como evidência a favor da esfericidade.

A análise dos eclipses da Lua foi a única evidência que se mostrou como não constitutiva do conhecimento prévio dos estudantes. O raciocínio para relacionar a aparência das sombras projetadas sobre a Lua e a forma da Terra não é muito mais elaborado do que o necessário para compreender o argumento da circunavegação ou para associar a imagem bidimensional que aparece nas fotos de satélite com a forma tridimensional e aproximadamente esférica do globo terrestre. O que muda, nesse caso, são os conceitos e entidades mobilizadas em cada um desses raciocínios. A relação entre a forma da Terra e a aparência da Lua durante os eclipses é estabelecida a partir da idéia de que a luz é “algo” que se origina do Sol e que viaja pelo espaço podendo ser impedida de atingir a superfície da Lua devido ao alinhamento entre o Sol, a Terra e a Lua.

Todos os estudantes demonstraram-se convictos em relação à forma esférica da Terra. Contudo, encontramos significativas variações no que diz respeito ao valor que eles atribuíram a diferentes tipos de evidência e ao modo como eles fizeram uso de evidências ao argumentar a favor da esfericidade da Terra.



Vários estudantes privilegiaram evidências associadas ao “testemunho” de astronautas e fotos obtidas por satélites. Do seu ponto de vista, nenhuma evidência anterior seria conclusiva em relação à forma da Terra. Alguns estudantes, entretanto, não apenas sustentaram que evidências anteriores permitiram definir inequivocamente a forma esférica da Terra, como também recuperaram várias evidências e argumentos que foram apresentados a eles nos anos anteriores de sua trajetória escolar.

Diálogos entre P, A17 e A11 durante a quarta fase:

E01 ⇒ P: Vamos pegar um fato que é do conhecimento de vocês. Que forma o planeta Terra tem?

E02 ⇒ A11: Redondo. Igual a uma bola.

E03 ⇒ P: Que tipo de evidência nós temos para afirmar que a Terra é redonda mesmo?

E04 ⇒ A17: Se a pessoa sai de um lugar sempre em linha reta, ela vai dar a volta ao mundo. Igual àquela família lá. Eles deram a volta ao mundo de barco. Se eles fossem só reto, e se a Terra fosse plana, igual eles falavam que era (referindo-se aos antigos), eles iam cair, não ia ter jeito. Aí, eles conseguiram dar a volta. Então, tem jeito de dar a volta no mundo.

E05 ⇒ P: Você conhece outro argumento além desse? Esse argumento te convence? E quando essas grandes viagens não eram possíveis? Vocês acham que os cientistas..... a ciência é muito antiga, vocês sabem.... há muito tempo existem pessoas que se dispõem a investigar a natureza..... E essas viagens? A primeira viagem de circunavegação foi feita por Fernão de Magalhães, no século XVI, sabiam?

E06 ⇒ A17: Não lembro disso não!

E07 ⇒ P: É! Foi no começo do século XVI que foi feita a primeira viagem completa em volta do mundo.

E08 ⇒ A17: Mas, a gente tinha visto um filme ano passado: mil quatrocentos e quarenta, A11?

E09 ⇒ P: 1492, a viagem de Colombo?

E10 ⇒ A17: É “A busca de um paraíso”, um treco assim. Dá para deduzir mais ou menos com uma laranja (faz um movimento com as mãos simulando a viagem). Aí o navio estava indo. Aí o navio abaixando, ia sempre abaixando, então eles pensavam que a Terra era plana. Aí já dava para ver que a Terra não era plana. Senão, você ia ficar



vendo o barco até ele se perder de vista. Só que não: ele ia só abaixando, cada vez mais, ele não ia em uma linha reta, não ia certinho assim.

E11 ⇒ P: Legal!

E12 ⇒ A11: É eu acho também que o A17 tem razão.

E13 ⇒ P: (após algumas falas que retornaram ao filme e corrigiram a identificação inadequada que os estudantes fizeram entre a viagem de Colombo e a circunavegação de um dos navios da frota de Fernão de Magalhães) Vocês acham, então, que a humanidade sempre teve elementos para ter a idéia de que a Terra era redonda?

E14 ⇒ A17: Dá para ter idéia, só que eles pensavam que ela era reta. Eles pensavam que não tinha jeito.

E15 ⇒ P: Mas por que, se existem tantas evidências para mostrar que a Terra é redonda?

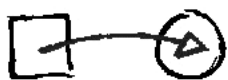
E16 ⇒ A17: Porque eles não pesquisavam e falavam o que vinha na cabeça. Que é, por exemplo, assim: se a terra fosse redonda, ai eles tinham que descobrir se tinha gravidade e tudo. Se a Terra é redonda, como é que, por exemplo, aqui, a gente está no meio. (mostrando o Brasil na região tropical em um globo terrestre disponível sobre a mesa) Como é que a gente vai ficar em pé?

E17 ⇒ P: Você está falando que é mais fácil admitir a idéia de que a Terra é plana. Não tem que pensar em gravidade e essas coisas. Você concorda com ele A11?

E18 ⇒ A11: Concordo.

E19 ⇒ P: Beleza!

Nesse trecho, identifico elementos que me levam a conceber o processo que leva à atribuição de certeza a uma determinada afirmação de conhecimento como um processo cujo desenvolvimento remete a dinâmicas de argumentação. Do modo como eu o entendo, um argumento é composto por quatro elementos articulados: 1º- Conclusões ou afirmações que constituem o núcleo ou o objetivo do argumento; 2º- Dados e evidências que, supostamente, sustentam as conclusões ou afirmações; 3º- Formas de raciocínio e recursos explicativos utilizados para associar as afirmações aos dados e evidências (constituem a justificação das afirmações); 4º- Conhecimento básico que sustenta e dá legitimidade às formas de raciocínio utilizadas para associar os dados e evidências às conclusões.



Esses quatro elementos estão dispostos no diagrama IV.2 que passarei a utilizar na análise de dados da quarta fase da entrevista. Nesse diagrama, há um fundo cinza, com manchas formadas por várias linhas mais claras que tentam imitar uma teia. Tal fundo representa o conhecimento básico que sustenta e dá legitimidade aos argumentos e às formas de raciocínio utilizadas para associar os dados ou evidências às conclusões. Mas o conhecimento básico também pode unir os dados ou evidências às conclusões ou afirmações mediante evidências “diretas”⁵⁰, sem a explicitação de argumentos e linhas de raciocínio.

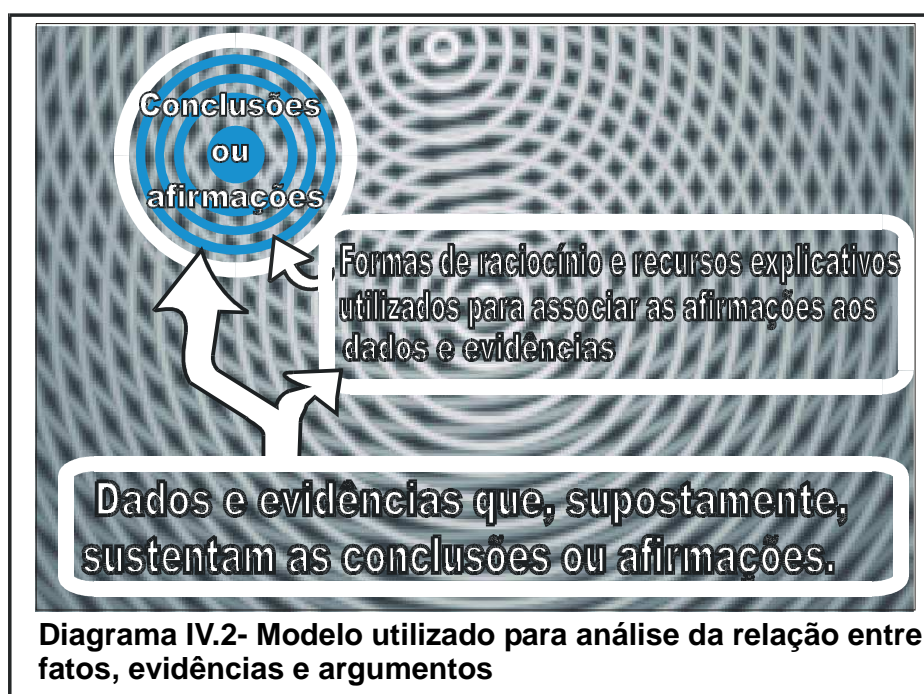


Diagrama IV.2- Modelo utilizado para análise da relação entre fatos, evidências e argumentos

A análise do diagrama nos mostra que a ligação dos dados e evidências às conclusões pode ocorrer por meio de dois caminhos diferentes, representados por diferentes setas brancas. Uma das setas, à esquerda, vai direto dos dados e evidências para as conclusões ou afirmações. Essa seta representa o argumento baseado em evidências “diretas”. O outro caminho indicado por duas setas menores é mediado pelo retângulo dos raciocínios e recursos explicativos. Ao explicitar os

⁵⁰ Os conceitos de evidência “direta” e “indireta” foram definidos no oitavo parágrafo desta seção e justificados na nota de rodapé número 49.



raciocínios e explicações que ligam dados, evidências e afirmações o mobiliza aquilo que denominei anteriormente como evidências “indiretas”.

O estudante A11 foi mais passivo na fase da entrevista que estamos analisando, mas parece concordar com A17 e partilhar, em linhas gerais, de suas opiniões. O estudante A17, por sua vez, foi capaz de apresentar uma série de argumentos para justificar sua própria adesão à convicção das ciências acerca da esfericidade da Terra.

A afirmação da esfericidade da Terra, representada no diagrama IV.2 pelo figura de um alvo, é sustentada pelo estudante A17, mediante a apresentação de dados ou informações que cumprem o papel de evidências e estão representadas na base do diagrama IV.2. As principais evidências que A17 apresenta são informações sobre viagens de volta ao mundo, nas quais os viajantes seguem sempre em um mesmo sentido de viagem, sem dar “meia volta” para voltar ao ponto de origem. Ele também faz referência à observação de navios que se afastam no horizonte e que, supostamente, deixam de ser vistos devido à curvatura da Terra.

O estudante A17 também utiliza a imagem de uma laranja para explicar como a viagem de circunavegação leva à conclusão de que a Terra é esférica. Este recurso explicativo e todas as evidências apresentadas por A17 foram coordenados através de um processo de modelização, que é um dos mecanismos representados pelo retângulo “formas de raciocínio e recursos explicativos”, encontrado no diagrama IV.2.

Dentre os conhecimentos básicos que sustentam e dão legitimidade ao processo de modelização desenvolvido por A17 podemos citar noções geométricas e topológicas básicas, assim como um conhecimento que é de natureza causal: o conceito de gravidade enquanto uma força que a Terra exerce em outros corpos atraindo-os em direção ao seu centro. Tais conhecimentos compartilhados pelo estudante (ou argumentador) e seu público (que, nesse caso, era constituído pelo colega e pelo pesquisador) são parte da condição para que o argumento seja considerado inteligível.

Na enunciação E4 vemos que o estudante A17 utilizou o modelo de Terra plana, com o qual ele não concorda, para extrair conseqüências deste modelo que são contrariadas pelas evidências por ele apresentadas. Ele nos diz que, se a Terra fosse plana, do modo como os antigos acreditavam, a



viagem de circunavegação não seria possível, pois os viajantes iriam cair no espaço ao transgredir os limites da Terra plana. O raciocínio do estudante é bastante interessante e revela uma outra função desempenhada pelo processo de modelização dentro da estrutura de uma argumentação. Trata-se, nesse caso, do uso de modelos alternativos para gerar conseqüências ou previsões diferentes que podem ser confrontados com evidências disponíveis de modo a realizar uma oposição entre duas idéias e afirmar a superioridade de uma delas sobre a outra.

Diálogos entre P, A13 e A07 durante a quarta fase:

E20 ⇒ P: Eu estou querendo discutir com vocês agora, que tipo de evidências, que tipo de provas....- vocês usaram o termo “prova” algumas vezes, não é verdade? - que tipo de prova pode deixar a gente com certeza de uma idéia. Então eu vou pegar uma coisa que eu sei que vocês sabem: a forma da Terra. Qual é a forma da Terra?

E21 ⇒ A13: Redonda.

E22 ⇒ P: Redonda igual a essa moeda, que é redonda?

E23 ⇒ A13: (rindo) Não! É que nem uma bola, aquelas bolas de praia.

E24 ⇒ P: Redonda igual a uma bola, não é verdade? Bom, mas como é que a gente pode ter certeza que a Terra é realmente redonda? Que tipo de prova ou evidência pode servir para a gente ter tanta certeza de que a Terra é redonda?

E25 ⇒ A13: (rindo) Uai? Viajando pelo espaço!

E26 ⇒ P: Viajando pelo espaço.... Tipo assim, astronautas indo à Lua, essas coisas assim?

E27 ⇒ A13: É.

E28 ⇒ P: Mas, por que viajando pelo espaço dá para ter certeza?

E29 ⇒ A13: Por que olha só: os astronautas, assim... acho que eles dão a volta né. Eles sentem que eles estão rodando e não assim, retângulo, triângulo....

E30 ⇒ A07: (complementando): Quadrado....

E31 ⇒ P: (interrompendo) E eles observam a Terra e tiram fotos, não é verdade? (Continua após receber confirmação das estudantes) Mas, e antes dos astronautas começarem a conquista do espaço e tirar fotos da Terra lá de cima?

E32 ⇒ A07: (interrompendo) Cabral? assim....

E33 ⇒ P: (retomando) Não necessariamente. Só há astronautas no século XX, não é? O programa espacial começa em 1957, com o lançamento de um satélite que nem tinha



gente dentro. É um satélite que ficou poucas horas girando em torno da Terra. O satélite se chamava Sputnik, da Rússia. Isso foi em 1957. Antes de 1957 ninguém tinha ido ao espaço. Nem ninguém, nem nenhuma máquina, tá certo? E aí? Antes de 1957... - não precisa chegar até a época de Cabral - em qualquer época antes de 1957, tinha jeito de ter certeza que a Terra era redonda, ou só depois que o homem foi para o espaço é que deu realmente para ter certeza? O que vocês acham disso?

E34⇒A07: Acho que só depois que ele foi para o espaço..... Porque foi uma comprovação que ele teve. Ele indo lá para ver.

E35⇒P: Antes se tinha só uma suspeita?

E36⇒A07: É tinha dúvidas.

E37⇒A13: É só uma suspeita.

A análise deste trecho da entrevista revela que a dupla A07 e A13 apresenta um tipo de dado e evidência muito diferente daquele que a dupla A11 e A17 havia apresentado para sustentar a afirmação da esfericidade da Terra. O argumento das estudantes A07 e A13 é correto, forte e convincente, mas pobre no uso de raciocínios ou recursos explicativos para justificar a afirmação. Elas percorrem o “caminho da esquerda” mostrado no diagrama IV.2, isto é, elas sustentam o fato da esfericidade sobre uma evidência “direta” que foi preliminarmente obtida por aqueles que viajaram pelo espaço, viram a Terra de longe e, principalmente, “sentiram que estavam rodando” enquanto viajavam em volta da Terra.

A evidência empírica “direta” descrita como uma sensação é acrescida a outra fonte de evidência similar sugerida pelo próprio pesquisador, que se refere às fotos tiradas pelos astronautas ou por satélites. De E33 a E37, as estudantes afirmam que apenas esse tipo de evidência é realmente legítima e gera a convicção de que a Terra é indubitavelmente esférica. Esta postura, do tipo “ver para crer”, ou “sentir para se convencer”, pode ser classificada como empirista. Tal postura é claramente sinalizada na seqüência do diálogo realizado ao longo da quarta fase da entrevista, que continua sendo transcrito a seguir.

E38⇒P: (o pesquisador não retém na memória o nome “Cabral”, mencionado por A13 em E32. Por isso, ele troca Cabral por Colombo, sem perceber) Tá! E aquele negócio de Colombo que vocês estavam falando, o que é?



E39⇒A13: (A estudante parece não se importar com a troca) *É porque Colombo cismou que a Terra era redonda. Ele tava tentando provar isso para o mundo inteiro. Só que ele não conseguia. Ele pegou uma laranja e falou que a Terra era redonda.*

E40⇒A07: *Isso mesmo.*

E41⇒P: *E não teve jeito de provar?*

E42⇒A07: *Só que todo mundo falava que ele inventava. Que era mentira.*

E43⇒P: *Isso foi no século XV, não é isso? Só muito tempo depois, no século XX, cinco séculos depois, é que a idéia de Colombo pôde ser comprovada? Depois que o homem inventou os satélites? (Continua após receber confirmação das estudantes) Então tá! Mas, vocês já ouviram falar de Fernão de Magalhães, mais ou menos da época de Colombo?*

E44⇒A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) *Já.... Hum, hum.... Já!*

E45⇒P: *Ele deu a volta em torno da Terra. Isso é chamado circunavegação. De navio, tá certo? E aí, a circunavegação? (Pega um globo terrestre e mostra com o dedo a circunavegação) Sai, vai.... sempre no mesmo sentido, depois volta de onde saiu! Será que a circunavegação é uma prova de que a Terra é redonda?*

E46⇒A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) *Não! Não!*

E47⇒P: *Vocês entenderam o que é a circunavegação? (Repete a demonstração com o dedo sobre o globo) É navegar dando uma volta completa em torno da Terra.*

E48⇒A13: *Dando uma volta em torno do mar, você está falando?*

E49⇒P: *É navegar tem que ser no mar, não é?! Aí vai..... (Tentando repetir mais uma vez a demonstração com o dedo sobre o globo)*

E50⇒A13: (interrompendo) *Aí ele deu uma volta em torno do mar inteiro?*

E51⇒P: *Sim, a Terra está aqui, a bola. Aí deu a volta sempre no mesmo sentido. Sempre para lá (apontando sobre o globo). Foi, foi, foi.... aqui olha....*

E52⇒A13: (interrompendo) *Acho que não tinha como provar não!*

E53⇒P: (repetindo a explicação) *É assim olha.... sempre no mesmo sentido. E volta no mesmo lugar.*

E54⇒A13: *Ah tá... Acho que não tinha como provar não!*

E55⇒P: *Nem assim teria jeito?*

E56⇒A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) *Nem assim!*

E57⇒P: *É por que ele não estava vendo a Terra como um todo?*



E58⇒A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) É, ele não estava vendo, ele tava tendo apenas uma idéia de como era.

E59⇒A13: (Fala em tom de deboche) É a mesma coisa que eu dar uma volta inteira na lagoa da Pampulha, chegar e dizer: gente, a Terra é redonda, eu dei uma volta inteira na Lagoa!

Como vemos neste trecho da transcrição, a interação da dupla A13 e A07 com o argumento a favor da esfericidade da Terra, que está baseado na viagem de circunavegação, foi completamente diferente do que havia ocorrido com a dupla A17 e A11. Em uma longa seqüência de enunciações, que vai desde E23 a E43, observamos a tentativa infrutífera que realizei no sentido de convencer as estudantes de que a circunavegação da Terra constitui uma evidência a favor de sua esfericidade. Naquele momento e mesmo depois nos primeiros esforços de análise dessa fase da entrevista eu fiquei surpreso com a rejeição das estudantes em relação a esse argumento. Foi difícil, para mim, reconhecer a enorme abstração contida no argumento da circunavegação e entender qual a origem da rejeição das estudantes a esse argumento.

Em E43, a estudante A13 mostra, que não percebe qualquer vínculo causal entre a circunavegação e a esfericidade. Afinal, como ela diz, pode-se dar uma volta em torno de uma lagoa, embora a superfície da lagoa seja “plana”.

A princípio, eu considerava a idéia de circunavegação bastante semelhante à “astronavegação” realizada pelos astronautas que viajam no espaço ao redor da Terra. Eu supus, inicialmente, que as estudantes diferenciavam as duas experiências apenas porque os astronautas podem ver a Terra como um todo e, talvez por isso, *sentir que estão rodando*.

Percebi, depois, uma outra diferença importante entre a astro e a circunavegação. No primeiro caso, não há obstáculos ao movimento, mas no segundo é preciso contornar os continentes. Isso faz com que uma trajetória muito mais complicada tenha de ser realizada e é isso que, supostamente, prejudicaria um juízo inequívoco em relação à forma da Terra a partir da experiência de circunavegação.

Em E39, nota-se que as estudantes da dupla A13 e A07, a exemplo do que ocorreu com os estudantes A17 e A11, utilizam espontaneamente a imagem de uma laranja para descrever o



raciocínio de Colombo sobre a esfericidade da Terra. Isto é uma indicação de que a viagem de Colombo e a circunavegação de Fernão de Magalhães foram temas bem trabalhados em sala de aula. Indica, também, uma provável utilização da imagem de uma laranja para descrever o raciocínio de Colombo.

O argumento atribuído a Colombo está baseado em uma analogia e não em uma sensação ou no relato de uma experiência pessoal como aquele que pode ser dado pelos “astronavegadores”. Talvez por isso, em E23, as estudantes A13 e A07 dizem que Colombo apenas *cismou que a Terra era redonda*, mas não conseguiu provar ao mundo este fato. Elas se lembram da convicção de Colombo acerca da esfericidade, mas não assumem seus argumentos, nem os consideram efetivamente convincentes.

Até este ponto da transcrição ficamos com a impressão que as estudantes A13 e A07 mantêm-se adeptas a uma filosofia empirista ou realista ingênua, o que parece ser reforçado pelo diálogo transcrito no trecho que vai de E57 a E59, no qual A07 justifica sua resistência ao argumento da circunavegação ao se apropriar de uma fala do entrevistador que sugere que a viagem de circunavegação não autoriza uma conclusão definitiva a favor da esfericidade, porque não permite produzir uma imagem da Terra vista como um todo.

No trecho que será transcrito a seguir, veremos uma mudança no raciocínio epistemológico das estudantes, no que diz respeito à avaliação da legitimidade no uso de evidências indiretas para a construção de um fato. Elas, claramente, aderem ao argumento de Aristóteles a favor da esfericidade da Terra, embora ele esteja baseado em um raciocínio tão ou mais abstrato do que aquele necessário para aceitar a esfericidade como fato mediante a evidência fornecida pela possibilidade de circunavegar a Terra e a analogia entre a Terra e a laranja.

E60 ⇒ P: Entendi! Agora, a última coisa que eu vou falar para vocês. Não sei se vocês já ouviram falar de Aristóteles. Aristóteles é um grego que viveu por volta de 350 anos antes de Cristo. Assim como outros gregos, Aristóteles achava que a Terra era esférica como uma bola. Ele não fez, e ninguém na Grécia fez uma volta em torno da Terra, e, muito menos, ninguém viu a Terra de fora. Não tinha satélite nem nada para girar em torno da Terra, não é verdade? Mas, o que Aristóteles pensou? Primeiro ele achava que a Terra era redonda porque na Grécia eles achavam que a esfera era uma forma perfeita. Porque você pega uma esfera assim oh... (pego novamente o globo). Se você



andar.... para qualquer lugar que você anda sobre a esfera não tem começo nem fim. Você vai, vai, vai.... Então eles achavam que a esfera e o círculo eram formas eternas, ligadas à perfeição. Coisas eternas estão sempre do mesmo jeito e, portanto, são perfeitas. Os gregos, então, achavam que a Terra era redonda por causa disso também. Mas, que argumentos adicionais Aristóteles usou para confirmar essa idéia? Ele sabia que os eclipses da Lua..... - Eclipses vocês sabem o que é? - Vou mostrar aqui: essa jarra é o Sol, aqui é a Terra e isso aqui, oh, é a Lua (fala enquanto move objetos sobre a mesa para representar o modelo de formação de eclipses). No eclipse, o que acontece? A luz do Sol vai, mas a Terra não deixa a luz do Sol chegar até a Lua e dá uma sombra na Lua, certo? Bom, até a época de Aristóteles, muitos e muitos eclipses da Lua já tinham sido vistos. Muitos! E em todos os eclipses que tinham sido vistos, notava-se que a sombra da Terra sobre a Lua era redonda. Aí Aristóteles pensou: se a Terra for redonda igual a uma moeda, então, tem horas que a sombra vai dar redonda, tá? Mas, tem horas que a sombra..... - aqui oh - que o Sol está aqui.... - a Terra está assim - tem horas que a sombra vai dar uma linha.... Quer dizer, Aristóteles mostrou que não tem nenhum outro objeto, além da bola, que de qualquer lado que você jogue a luz dê uma sombra sempre redonda. Se for um disco pode dar redondo, mas pode não dar. Qualquer outro objeto, cilindro, cone, etc. etc..... - qualquer outro objeto -, a sombra pode sempre mudar. Isso é que o Aristóteles pensou. Esse argumento do Aristóteles serviria de prova?

E61 ⇒ A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) Serviria! Serviria!

E62 ⇒ P: A circunavegação não serve, não é?

E63 ⇒ A13: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) Não! Não!

E64 ⇒ P: (repetindo a explicação da circunavegação) A bola aqui oh... eu saio daqui oh... e vou sempre para cá. Aí eu vou.....

E65 ⇒ A13: (interrompendo) Não adianta não.

E66 ⇒ P: Aí eu vou.....

E67 ⇒ A13: (interrompendo novamente) Não adianta não.

E68 ⇒ P: (concluindo) Aí eu volto para o mesmo lugar.

E69 ⇒ A13: Não adianta não. Mas, do jeito que você falou agora....

E70 ⇒ P: (interrompendo) Do Aristóteles prova?

E71 ⇒ A13: É, aí tem jeito!

E72 ⇒ P: Mas ele nem navegou, nem saiu do lugar... ele ficou só parado observando a Lua!



E73⇒A07: É, mas ele teve uma idéia de que a Terra nunca ia mudar de forma. Ela nunca ia ficar quadrada, ou retângulo, ou triângulo.....

E74⇒ P: Então, vocês acham que esse argumento do Aristóteles é mais forte do que essa experiência da circunavegação? (fala apontando para o globo terrestre sobre a mesa). Porque um é um argumento de lógica não é? O outro é uma viagem que Fernão de Magalhães fez, não é verdade? O argumento de lógica é mais forte do que a viagem como evidência?

E75⇒A07: É prova muito mais!

E76⇒ P: O Aristóteles é argumento de lógica, não é? Se não tem outro jeito de explicar, então, é certo usar a lógica? É isso?

E77⇒A07: (A13 fala ao mesmo tempo em que A07) É! ...É!

E78⇒ P: Então quer dizer, lógica é importante para a gente acreditar numa idéia?

E79⇒A07: (A13 e A07 falam ao mesmo tempo e riem muito como se achassem a pergunta engraçada e sem fundamento) Ué?... é lógico!

Este trecho da transcrição começa com um longo discurso do pesquisador que relata os argumentos de Aristóteles a favor da esfericidade. Nesse discurso há, basicamente, dois tipos de argumento. Eu não sei com certeza qual foi o peso relativo de cada um deles no grande êxito que a argumentação logrou alcançar com as estudantes. Um dos argumentos refere-se às crenças da cultura grega à qual Aristóteles pertencia e atribui a crença de Aristóteles na esfericidade da Terra à idéia grega que o círculo e a esfera são formas que sugerem eternidade e, por conseguinte, perfeição. O vínculo entre a forma esférica e a idéia de eternidade ou de ausência de um começo ou um fim é feito curiosamente com a alusão a uma viagem em volta do globo, a princípio, muito similar àquela que havia sido feita no argumento da circunavegação que as estudantes rejeitaram enfaticamente. Por outro lado, o mesmo vínculo também pode ser associado ao testemunho dos astronautas que giraram em torno da Terra vendo-a a partir do espaço e, por meio dessa experiência pessoal, puderam “sentir que estavam rodando”.

Outra hipótese mais provável é que o sucesso do argumento do Aristóteles com essas estudantes deva-se à sua maior facilidade em compreender o raciocínio embutido nesse argumento. Poucos dias antes da entrevista, as estudantes haviam realizado uma atividade com sombras nas aulas de



ciências. Tinham, portanto, plenas condições de compreender o argumento do eclipse da Lua utilizado por Aristóteles.

Na seqüência de enunciações que vai de E61 a E79, as estudantes A07 e A13 assumem este argumento, reiterando sua rejeição ao argumento da circunavegação. Isto acontece, mesmo quando o pesquisador tenta desmerecer o argumento de Aristóteles, em E72, dizendo que esse personagem “nem navegou, nem saiu do lugar... ele ficou só parado observando a Lua”.

Mas, qual seria a origem do curioso comportamento das estudantes A13 e A07 que primeiro pareciam se mostrar adeptas do realismo ingênuo ou do empirismo sensualista mais elementar, para depois declararem sua adesão ao uso da lógica aplicada a evidências indiretas associadas às formas daquilo que, teoricamente, seriam as sombras da Terra projetadas sobre a Lua? O que teria aflorado nelas a convicção de que esse tipo de evidências indiretas constitui um meio legítimo de se “produzir fatos”. Por outro lado, o que diferencia os estudantes A11 e A17, que foram capazes de recuperar com riqueza de detalhes e precisão de raciocínio diversas evidências e argumentos a favor da esfericidade da Terra de estudantes tais como A07 e A13 que demonstraram um raciocínio epistemológico aparentemente confuso, contextual ou ambíguo?

Ao me colocar diante dessas questões, analisando-as à luz dos dados que pude construir cheguei à conclusão de que o fator determinante da sofisticação dos argumentos e raciocínios epistemológicos dos estudantes era a maior ou menor facilidade que eles apresentavam em utilizar modelos para compor e dar significado à sua concepção sobre a forma da Terra de modo a articular vários e diferentes tipos de evidências.

Os estudantes que se demonstraram capazes de utilizar uma gama mais rica de modelos e representações conseguiram recuperar e utilizar nos argumentos, tanto evidências “diretas”, quanto indiretas. Eles também apresentaram um raciocínio epistemológico mais sofisticado do que os estudantes cuja inabilidade no uso de modelos os obrigou a recuar até a “lógica do ver para crer”, em algumas circunstâncias.

Após a interação com o pesquisador, as estudantes A13 e A07 demonstraram-se capazes de estabelecer o vínculo entre a afirmação da esfericidade e as sombras projetadas na Lua durante os eclipses. Esse vínculo foi estabelecido através de um modelo do processo de formação do eclipse



cuja compreensão foi facilitada pelo fato de que as estudantes haviam investigado o processo de formação de sombras nas aulas de ciências, alguns dias antes da realização da entrevista. O domínio ou a apropriação do modelo de formação de eclipses permitiu, então, que as estudantes mudassem seu raciocínio epistemológico, antes apegado a evidências “diretas”, isto é, às “sensações” e às observações ou testemunhos de astronautas que “circunavegaram” a Terra enquanto se mantinham afastadas dela, em órbita no espaço.

Essa análise me permite especular que a postura inicial de A07 e A13 foi motivada por sua incapacidade em produzir espontaneamente modelos causais mais sofisticados e não por uma mera adesão a um credo empirista mais radical ou ao padrão de raciocínio epistemológico chamado por Leach et al. (2000) de “raciocínio focado nos dados, concebidos dogmaticamente como cópias da realidade”. Não se trata, portanto, de uma mera dependência contextual da forma de raciocínio epistemológico adotado pelos estudantes, mas de uma dependência de mecanismos causais que sustentem um raciocínio epistemológico mais sofisticado.

Por outro lado, os dados que eu obtive por meio da entrevista conduzida com a dupla A11 e A17 e, principalmente, a análise do discurso produzido pelo estudante A17, é um instrumento particularmente útil no esclarecimento do papel da argumentação no processo de produção e validação do conhecimento e, portanto, no processo de produção de fatos.

Minha simpatia em relação à estrutura do argumento apresentado pelo estudante A17 se deve, em boa parte, à maneira como ele conseguiu reproduzir elementos da argumentação, tipicamente escolar, que costuma ser apresentada a favor da esfericidade da Terra.

Rigorosamente falando, entretanto, não existem padrões absolutos ou regras estáticas que permitam definir a qualidade de uma argumentação (NEWTON e DRIVER, 1999). Afinal, a argumentação retórica, do tipo desenvolvido pelo estudante A17, é um processo de interação e convencimento que envolve um orador e seu público (PERELMAN e OLBRECHSTS-TYTECA, 1999). Diferentes comunidades demonstram-se satisfeitas com diferentes tipos de soluções e padrões argumentativos. Deste ponto de vista, portanto, os argumentos apresentados por A07 e A13, que se enquadram na postura tipo “ver para crer”, são tão ou mais convincentes do que os argumentos do estudante A17.



Mas, a argumentação de A17 não me atraiu apenas porque é convincente ou porque recupera elementos de conteúdos da ciência escolar. Ela também se aproxima daquilo que eu, particularmente, considero uma das formas típicas de argumentação valorizadas na ciência. Para advogar a favor desta afirmação irei utilizar a distinção entre argumentação retórica e dialógica proposta por Kuhn, D. (1993). Merece destaque no discurso do estudante A17 o jogo contra-argumentativo que é característico da argumentação dialógica. Como podemos notar nas transcrições, o estudante A17 não se restringiu apenas a apresentar evidências a favor da esfericidade da Terra: ele também argumentou, espontaneamente, contra a concepção de uma Terra plana.

Um argumento é chamado retórico quando constitui o discurso de um sujeito que pretende demonstrar a veracidade ou falsidade de algo. Esse argumento se manifesta, portanto, como uma linha de raciocínio individual. O argumento dialógico ou social é construído num processo de interação dialógica entre dois ou mais interlocutores que sustentam visões ou opiniões opostas, cada um oferecendo uma justificativa para seu próprio ponto de vista e tentando rebater a visão do outro por meio de contra-argumentos. O argumento dialógico é considerado uma forma mais rica de argumentação porque nele se reconhece uma oposição entre, no mínimo, duas asserções ou concepções. A argumentação dialógica consiste, então, em relacionar evidências que suportem e refutem cada uma das asserções, em uma avaliação integradora do mérito relativo das visões oponentes. Em outras palavras, a argumentação dialógica implica na capacidade de coordenar diferentes pontos de vista e referenciais, o que demonstra uma compreensão mais profunda do processo ou das afirmações para as quais o argumento se dirige.

A contraposição entre as concepções de Terra plana e esférica, realizada espontaneamente pelo estudante A17, corrobora os resultados da pesquisa conduzida por KUHN, D. (1993) que identifica a presença de elementos do argumento dialógico, durante processos de argumentação retórica com maior nível de sofisticação. Para esta autora, existem processos de argumentação retórica e dialógica muito similares - em termos de estrutura - quando se comparam contextos de raciocínio científico e contextos de raciocínio informal. Adotando esta perspectiva, assumiremos que a presença de elementos de argumentação dialógica no argumento retórico apresentado por A17 é uma indicação da sofisticação do discurso deste sujeito.



Algo que diferencia o contraponto de idéias que ocorre na argumentação retórica que contém elementos da argumentação dialógica, daquele que se verifica na argumentação dialógica autêntica, é a facilidade com que se pode desmerecer e até caricaturar as idéias contra as quais a argumentação retórica se dirige. A presença de um interlocutor real, em uma argumentação dialógica autêntica inibe esta tendência. Afinal, as idéias contra as quais a argumentação se dirige têm um legítimo e, às vezes, um astuto defensor.

Na argumentação retórica desenvolvida pelo estudante A17 na enunciação E16 ele se encontra “livre” para desmerecer e até ridicularizar a concepção de Terra plana. Assim, os antigos teriam se apegado à concepção de Terra plana, apesar da grande quantidade de evidências a favor da esfericidade, porque “eles não pesquisavam e falavam o que vinha na cabeça”. Ele faz esta afirmação apesar de, logo em seguida, admitir que existem dificuldades concretas em se conceber a relatividade da direção vertical em diversas regiões da superfície da Terra e a necessidade de encontrar um agente causal (nesse caso a ação da gravidade) que pode tornar inteligível e plausível o fato de que vivemos sobre a superfície de um planeta esférico.

O desmerecimento com o qual o estudante A17 trata a antiga concepção de Terra plana em sua trajetória de argumentação retórica me lembra a postura epistemológica que encontro na grande maioria dos textos didáticos de ciências. É comum nestes textos que o uso da argumentação retórica seja acompanhada de uma supervalorização da ciência moderna e de seu “método experimental”, junto a uma caracterização da ciência pré-moderna como tosca, ingênua e não metódica. Isso costuma ter um impacto negativo nos estudantes que, muitas vezes, se identificam com as idéias que são caracterizadas como toscas e não têm acesso a argumentos suficientemente estruturados para aderir às idéias propostas no livro texto e atribuídas às ciências. Para mudar esse quadro e contribuir com a formação dos estudantes é preciso introduzir reflexões de caráter epistemológico que ajudem os estudantes compreender a complexidade dos processos envolvidos na produção dos fatos.



Capítulo V - Análise e resultados: O que os estudantes aprenderam sobre as ciências



Os instrumentos de pesquisa apresentados no capítulo que agora se inicia constituíram as entrevistas realizadas com o professor e com os estudantes, no final do ano letivo de 2002. Essas entrevistas ocorreram, portanto, quando a turma estava prestes a concluir a oitava série do ensino fundamental. Desta vez, os estudantes não tiveram a liberdade de escolher seus parceiros, dado meu interesse em manter as duplas constituídas na entrevista inicial.

Assim como havia ocorrido na entrevista inicial, os estudantes A17 e A11 continuaram apresentando raciocínios epistemológicos mais sofisticados do que seus colegas. As estudantes A07 e A13, que na entrevista inicial haviam sido identificadas como “mais ingênuas”, apresentaram visões bem mais sofisticadas das ciências.

Ao desenvolver raciocínios e produzir argumentos diante das questões que lhes foram apresentadas, vários estudantes fizeram, espontaneamente, referências a episódios específicos ocorridos nas aulas de ciências. Essas referências serão aqui apresentadas e analisadas enquanto evidências de que o trabalho em sala de aula contribuiu para o desenvolvimento dos saberes dos estudantes sobre as ciências.

O sentido dessas referências torna-se mais claro quando levamos em consideração todo o trabalho realizado pelo professor no período compreendido entre as entrevistas inicial e final. Os dados que tenho desse período foram obtidos em parte através das próprias entrevistas com os estudantes, mas, também e, principalmente, por meio da entrevista que fiz com o professor da turma no dia 07 de novembro de 2002, cerca de um mês antes de entrevistar os estudantes. A análise de alguns segmentos dessa entrevista será o objeto da primeira seção do presente capítulo.

As quatro fases da entrevista final realizada com os estudantes foram concebidas para identificar possíveis avanços, persistências e consistências das imagens das ciências e dos raciocínios epistemológicos dos estudantes, tendo como referência, tanto as imagens e raciocínios identificados na entrevista inicial, quanto as expectativas de avanços associadas ao trabalho que havia sido feito em sala de aula.



Quadro V.1 – FASES E OBJETIVOS DA ENTREVISTA FINAL CONDUZIDA COM OS ESTUDANTES	
Fase 1	O papel da imaginação na produção das ciências
Fase 2	A função dos experimentos nas ciências
Fase 3	A escolha e a disputa entre teorias
Fase 4	Contribuições da escola para a compreensão da atividade científica

Não utilizei instrumentos de pesquisa similares aos da entrevista inicial. Para comparar os dados das entrevistas inicial e final decidi focalizar, na entrevista final, os mesmos aspectos básicos da atividade científica que haviam sido contemplados na primeira entrevista e que se encontram sumarizados no diagrama I.1.

Ao tratar do papel da imaginação na produção das ciências, na primeira fase da entrevista final, ou da função dos experimentos, na segunda fase, eu abordo aquilo que o diagrama I.1 chamou de “estratégias utilizadas pelas ciências para investigar questões de seu interesse”. A fase três, sobre a escolha e a disputa entre teorias, me permite prediar sobre as imagens dos estudantes acerca da provisoriedade do conhecimento científico. Na fase quatro eu volto a tratar da questão dos propósitos das ciências ao questionar os estudantes sobre as contribuições da escola para a compreensão da atividade científica.

Para conceber a entrevista final, reli atentamente as entrevistas iniciais e as categorias que eu havia criado para analisá-las. Eu, então, produzi registros de opiniões e imagens sobre as ciências manifestadas pelos estudantes naquela oportunidade. Um desses registros é apresentado no final do anexo A.3, a título de exemplo.

Minha intenção inicial era utilizar os dados reunidos nesses registros para convidar os estudantes a reavaliar idéias que eles manifestaram na entrevista inicial. Ocorre, porém, que os estudantes mostraram-se bastante falantes e assertivos diante dos instrumentos especificamente concebidos para a entrevista final, e eu me envolvi tanto em sua dinâmica que fiz pouco uso dos dados contidos nos registros.

Embora a comparação com a entrevista inicial tenha sido possível, o que prevaleceu mesmo na entrevista final foi o objetivo de avaliar a influência da ciência escolar no saber sobre as ciências



dos estudantes. Para contemplar esse objetivo eu produzi instrumentos com textos e exemplos que já haviam sido apresentados aos estudantes nas atividades utilizadas no período em que eu estive a filmar e a assistir suas aulas de ciências, no primeiro semestre de 2001.

Tendo em vista o grande investimento feito na experiência de ensino-aprendizagem que eu acompanhei, no sentido de tornar inteligível o modelo de partículas de Newton sobre a natureza e o comportamento da luz, bem como a facilidade de relacionar tal modelo à idéia de que as ciências pressupõem *Argumento e Persuasão, Imaginação e Modelização*, ou *Coordenação entre Teorias e Evidências*, decidi utilizá-lo como elemento central dos instrumentos de pesquisa utilizados nas três primeiras fases da entrevista final.

No início da entrevista, pedi aos estudantes para ficar à vontade e falar o que lhes viesse à mente. Eu contava com a espontaneidade e a assertividade deles, pois, afinal, eles já me conheciam e haviam apresentado esses traços de comportamento já na primeira entrevista. Ainda no início da entrevista, eu disse aos estudantes que, provavelmente, teria que estabelecer comparações ou procurar pontos em comum entre suas idéias e as idéias de outros estudantes. Foi assim que justifiquei a necessidade de pedir esclarecimentos adicionais ou insistir em determinadas perguntas para tentar registrar, do modo mais fidedigno possível, as idéias e opiniões de cada um sem extrapolar ou subverter o ponto de vista de ninguém.

Eu produzi uma série de questões para orientar a discussão de cada uma das quatro diferentes fases da entrevista. Eu não as utilizei exatamente do modo como elas estão apresentadas no anexo A.3, mas apenas como um guia da interação verbal que aconteceu com cada dupla. Desse modo, a entrevista final, de forma similar ao que ocorreu na entrevista analisada no capítulo anterior, também pode ser classificada como uma entrevista semi-estruturada.

Um cuidado que tive em todas as entrevistas foi o de dizer que o uso de exemplos extraídos do material didático utilizado em sala de aula no segundo trimestre letivo de 2001, praticamente um ano e meio antes da entrevista final, não deveria ser encarado como um “teste de memória”. Afirmei junto aos estudantes não estar interessado em fazer uma avaliação da “retenção” das idéias contidas nas fichas que eu estava a lhes entregar.



Ainda assim, aproveitei a oportunidade para perguntar se eles se lembravam dos conteúdos expostos em cada ficha e se entendiam as idéias que nelas estavam expostas. Para minha satisfação, a grande maioria dos estudantes respondeu afirmativamente a essas duas questões, de modo que não houve problemas no uso das fichas como instrumentos de pesquisa.

No capítulo anterior, escolhi as entrevistas realizadas com quatro estudantes com o objetivo de exemplificar o processo de análise dos dados que produzi na entrevista inicial. Justifiquei a escolha por transcrever as fitas de áudio de apenas duas das nove duplas entrevistadas ao dizer que pretendia dar uma boa idéia a meus leitores sobre o tipo de diálogo que havia sido estabelecido com os estudantes. Afirmei também que os pontos de vista dos quatro estudantes cujas falas haviam sido transcritas eram bastante representativos da diversidade encontrada no interior da turma. Assim, as imagens das ciências e raciocínios epistemológicos de A11 e A17 (principalmente A17) exemplificaram as idéias mais sofisticadas da atividade científica encontradas dentro da turma, enquanto A07 e A13 foram escolhidas como representantes das idéias mais ingênuas.

As referências às opiniões de outros estudantes foram feitas através de generalizações ou diferenciações em relação às imagens de ciências e aos raciocínios epistemológicos dos estudantes cujas falas foram transcritas. No presente capítulo, adoto uma estratégia diferente. Na medida do possível, e respeitando a necessidade de concisão e os limites estabelecidos pelo bom senso para a extensão de um capítulo de análise de dados, as vozes de todos os estudantes serão agora apresentadas.

Os quatro estudantes que foram o foco da análise de dados no capítulo anterior permaneceram na turma e puderam ser re-entrevistados. Entretanto, dois estudantes de uma mesma dupla entrevistada em 2001 saíram da escola. Em uma outra dupla, um estudante se transferiu para o turno da manhã. Na entrevista final, portanto, estive com 07 duplas, ou quatorze estudantes, dos dezoito que haviam sido originalmente entrevistados.



V.1- Impactos da pesquisa no ambiente em que ela se realizou

Como tive a oportunidade de dizer, no capítulo II desta tese, eu não conhecia previamente o professor da turma cujo trabalho acompanhei, assim como não desenvolvi com ele nenhum tipo de treinamento específico para o uso do material didático que eu concebi como parte da estratégia de promover reflexões sobre a natureza das ciências. Também é verdade, que nós praticamente não nos falamos no período que separou as entrevistas inicial e final. Em todo esse período eu estive com ele apenas uma vez, quando lhe repassei alguns materiais de ensino que eu próprio considerava interessantes e que correspondiam a alguns dos temas com os quais ele pretendia trabalhar em sala de aula.

Quando tive a oportunidade de entrevistar o professor, em novembro de 2002, eu estava muito curioso em saber que impactos minha pesquisa poderia ter trazido para o ambiente no qual ela se realizou. Para obter as informações que eu considerava relevantes, eu preparei um pequeno roteiro de entrevista semi-estruturada, reproduzido no anexo A.4. Apresentarei a seguir os posicionamentos do professor diante de todas as questões propostas no anexo com uma única exceção.

Na quinta questão apresentada nesse anexo eu havia solicitado ao professor para pensar junto comigo em uma das questões que será discutida apenas no capítulo de conclusão, sendo, na ocasião, apresentada como uma questão ainda em aberto e parte dos desdobramentos e contribuições de minha tese para novas pesquisas. Trata-se, nesse caso, da idéia de que metas curriculares e objetivos educacionais orientados a contribuir para a evolução dos raciocínios epistemológicos e imagens de ciências dos professores precisam ser avaliados, tanto de forma processual, quanto somativa, de modo a possibilitar a adoção de estratégias curriculares de recursividade e o planejamento pedagógico a longo prazo. As contribuições do professor a essa questão foram por demais consonantes com aquelas que na ocasião da entrevista eu também podia oferecer. Sendo assim, não há sentido em tratá-la detalhadamente no capítulo dedicado a avaliar os impactos de minha pesquisa para o ambiente de aprendizagem no qual ele se desenvolveu.



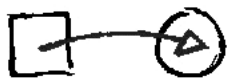
Vejamos, então, quais os dados que pude obter com a primeira questão proposta no protocolo de entrevista. Logo de início, eu perguntei ao professor como ele descrevia os processos que o levaram a constituir suas próprias imagens da natureza das ciências. Essa era uma pergunta que eu queria fazer logo que eu o conheci. Nessa época, entretanto, julguei que esse tipo de pergunta poderia causar constrangimento, ao ser interpretada pelo professor como se fosse uma espécie de sondagem que eu estaria a fazer para verificar se ele correspondia a algum tipo de perfil definido pela pesquisa.

Realmente esse perfil existia, mas ele estava centrado na capacidade do professor em gerenciar um ambiente de aprendizagem de modo a conduzir os estudantes a refletir sobre o significado daquilo que estavam fazendo. Pode-se dizer de modo sucinto, tomando de empréstimo um termo que hoje está bastante desgastado, que eu precisava de um professor e de um ambiente “construtivista” mais do que de um professor que tivesse conhecimentos consolidados em epistemologia. O tal ambiente “construtivista”, por sua vez, não é algo que o professor possa criar sozinho, à revelia da cultura escolar instituída em seu local de trabalho. Minha intuição e as informações que pude obter sobre o professor recém-formado e escola onde ele estava a trabalhar indicavam que havia boas perspectivas de que aquele pudesse ser um ambiente capaz de “absorver” virtuais contribuições de meu projeto àqueles que se mostrassem receptivos à minha pesquisa.

Na entrevista final, chegara o momento de finalmente obter o depoimento do professor sobre sua formação epistemológica. Eu pedi ao professor para mencionar leituras, discussões e vivências que ocorreram no período anterior e posterior ao meu projeto de pesquisa. A esse pergunta ele me respondeu:

“Eu acho que eu comecei a pensar sobre o que é Ciência, como ela funciona, e até comecei a me interessar e a querer saber mais, depois que eu li, por conta própria, aquele livro do Carl Sagan chamado ‘O Mundo Assombrado por Demônios’. Então, não foi em curso, não foi em nenhum trabalho que eu fiz na faculdade”.

O evento a que professor se refere ocorreu na época que ele estava no curso de licenciatura plena em Física, mas ele também disse que não conseguia identificar nenhum momento desse curso,



realizado na UFMG, no período de 1996 a 2000, que tivesse sido especialmente dedicado a promover algum tipo de reflexão coordenada sobre as ciências. Ele se referiu especificamente à disciplina História das Ciências, que supostamente deveria ter promovido esse tipo de reflexão, mas ele avaliou que o enfoque dado a essa disciplina a aproximava mais da perspectiva descritiva do que da epistemológica.

Por conseguinte, segundo o relato do professor, suas primeiras reflexões acerca da natureza do empreendimento científico teriam ocorrido como resultado de seu diletantismo e não do processo de formação concebido para habilitá-lo à condição de professor. Afinal, foi o diletantismo que o levou a ler o livro ao qual ele atribui a chama de seu interesse por questões de natureza epistemológica. É importante registrar, ainda, que mesmo tendo sido acesa essa chama, só houve um segundo e único contato desse professor com algum tipo de literatura que trata da natureza das ciências. Esse contato só veio a ocorrer pouco tempo antes da entrevista final. É certo de que não se tratava de “qualquer literatura”, mas de uma obra que pode ser considerada um marco na história da epistemologia. No momento da entrevista o professor relatou que começara, há pouco tempo atrás, a leitura de “A Estrutura das Revoluções Científicas”, o famoso livro de Thomas Kuhn, citado diversas vezes no terceiro capítulo desta tese.

O contato com literaturas que propiciam reflexões epistemológicas parece não ser algo muito comum entre os professores. O professor com o qual trabalhei demonstrou ser inteligente, curioso e formou-se em uma instituição de renome, mas, mesmo assim, teve poucas oportunidades de desenvolver seu conhecimento sobre as ciências. O professor considerou meu projeto de pesquisa como um marco em sua formação epistemológica, dada a oportunidade de participar do desenvolvimento de uma unidade de ensino, cujas atividades haviam sido concebidas com a intenção de promover reflexões sobre aspectos específicos da atividade científica. Na primeira vez que se manifestou sobre as contribuições da minha pesquisa para seu desenvolvimento profissional, o professor disse:

“Realmente esse período foi formador, não só na questão da epistemologia, assim, do meu entendimento sobre as ciências, mas também sobre o que pode ser feito em sala de aula. Enfim... Agora, sobre se eu pretendo continuar (empenhado em contribuir para incrementar a compreensão dos estudantes sobre a natureza das

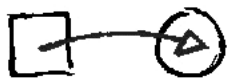


ciências)?

Eu acho que esse trabalho que a gente fez o ano passado abriu possibilidades e criou vontades. Acho que sou outro professor depois daquele período. O que eu estou te dizendo é que o meu trabalho em sala de aula foi muito influenciado pelo que aconteceu o ano passado, e até por causa da minha maior compreensão sobre o que é as ciências. Eu quero passar isso para os meus alunos. E fica aquele desejo. A compreensão que eu tenho das ciências, hoje, é diferente da que eu tinha há dois anos atrás e, por ela ser diferente, é inevitável que eu queira levar isso para a sala de aula, que eu queira aproximar a visão dos meus alunos dessa que eu tenho hoje. É claro que existem dificuldades, e acho que a maior delas é a questão do estudo, porque a escola é uma coisa muito maluca, principalmente agora na coordenação que eu fico de 07:00 às 19:00. E o que está me incomodando muito é essa falta de tempo para estudar, para parar e pensar sobre a sala de aula, estudar sobre a sala de aula”.

Nesse trecho de sua fala, podemos notar que o professor se declara empenhado e comprometido com a idéia de ampliar o conhecimento dos estudantes sobre as ciências. Na ocasião em que se referiu ao livro do Carl Sagan, a chama que acendeu seu interesse pela natureza das ciências, o professor me perguntou se eu me recordava de um episódio específico no qual ele contou aos estudantes uma história sobre um dragão que morava em uma garagem. A história havia sido retirada desse livro, algo que eu não sabia até momento da entrevista. Mesmo se eu não tivesse me dado ao trabalho de assistir às fitas de vídeo, antes de conceber os instrumentos que utilizei na entrevista final, eu certamente não teria me esquecido do referido episódio.

A atividade que estava sendo realizada quando o professor contou aos estudantes a história do dragão conduzia a uma reflexão sobre duas características cruciais da atividade científica: 1º- a necessidade de coordenar teorias e evidências; 2º- o caráter social e coletivo da produção do conhecimento científico. Como modo de ilustrar essas idéias, o professor, então, decidiu narrar a história aos estudantes. Nela nos deparamos com as dificuldades de um personagem que tenta convencer seus colegas da existência de um dragão que morava em sua garagem. Todas as

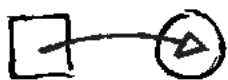


evidências que poderiam comprovar irrefutavelmente tal existência mostravam-se curiosamente inacessíveis, gerando um clima capaz de levar o ouvinte a ter que decidir entre a idéia de que o tal dragão jamais existiu e a idéia de que sua existência era provável, embora fosse realmente difícil estabelecê-la.

Na ocasião em que o professor usou a história do dragão em sala de aula, eu fiquei muito impressionado com a adequação do exemplo ao diálogo que ocorria naquele momento. Devido à minha relação com o professor, sempre muito cordial e respeitosa, eu jamais comentei com ele as inúmeras ocasiões em que eu estivera a morder os lábios por detrás da câmara filmadora ou a lamentar sozinho, e após as aulas, oportunidades que nós havíamos perdido. A história do dragão ficou em minha memória como um acontecimento único que me trouxe a sensação de que nem eu mesmo poderia ter promovido uma reflexão aparentemente tão esclarecedora diante dos questionamentos levantados na ocasião pelos alunos.

Esse tipo de sentimento foi raro durante a experiência. Na maior parte do tempo, embora eu jamais tenha me permitido dar sinais disso ao professor, eu lamentava supostas oportunidades perdidas e intervenções do professor que eu avaliava como tendo sido problemáticas. Em diversas ocasiões, esse tipo de avaliação me levou a pedir a palavra ao professor e intervir diretamente nas discussões. Essa conduta, todavia, apesar de aceitável e prevista em minha metodologia, não podia, obviamente, ser usada em excesso. Eu me encontrava vigilante e disposto a não esquecer que minha função era a de pesquisador e não de um “interventor”. Em outras palavras, eu estava disposto a não invadir ou desrespeitar a autonomia do professor.

Apesar de não constar no roteiro de entrevista que eu havia preparado, a dificuldade do professor em se relacionar com os primeiros impactos da minha presença em sua sala de aula foi um tema ricamente discutido e esclarecido. Em apenas um único momento da entrevista final, o professor me perguntou se ele havia respondido minhas perguntas. Essa vontade de “contribuir para a pesquisa” manifesta na entrevista final foi identificada como uma das principais fontes de constrangimento durante o período que eu estive a acompanhar o trabalho em sala de aula. O constrangimento, a ansiedade e a insegurança daquele período foram analisados pelo professor da seguinte forma:



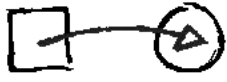
Professor: Na primeira etapa (período anterior à minha presença em sala), eu bolava as atividades e, portanto, tinha muito mais desenvoltura para conduzi-las. Na segunda etapa, eu ficava em dúvida em certos momentos na sala sobre que caminhos tomar. Eu lia a atividade, fazia a minha leitura da atividade, e ia com certos planos na sala. Na sala, por diversos motivos, o meu plano mudava, talvez porque eu não tivesse elaborado as atividades e não soubesse exatamente onde eu queria chegar. Em outras horas, por questões que os alunos falavam, eu pensava: ‘Não, eu tenho que ir para outro canto, mas eu vou arriscar de ir para outro canto? Eu planejei para esse!’ E nesses momentos de indecisões, que eu não sei se aparecem ou não nas fitas, eu decidia ali na hora.

Pesquisador: Isso te deixava inseguro?

Professor: Insegurança? Sim, era isso mesmo! E até no começo, existia muito uma preocupação minha se eu estava contribuindo realmente para a pesquisa. E essa ‘ficha’, de que eu não tinha que contribuir para a pesquisa, só caiu bem depois.

No trecho acima, o professor narra seu processo de tomada de consciência em relação à necessidade de tomar decisões em tempo real na sala de aula. Esse é um processo que faz parte da atividade do professor e que com certeza também ocorria na etapa anterior na qual ele mesmo “bolava” e conduzia as atividades. Apesar disso, é o estranhamento de conduzir atividades concebidas por outro professor que, ainda por cima assistia, e filmava seu desenvolvimento em sala de aula é o que aparentemente promoveu a tomada de consciência de que a interação dialógica com os estudantes nos obriga a avaliar, reavaliar e reorientar o curso de nossas ações a todo o momento.

Na mesma narrativa nota-se um outro processo de tomada de consciência, quando o professor diz ter compreendido tardiamente que não havia razões para manter o estresse de julgar a todo o momento se estava a agir corretamente, de modo à “contribuir para a pesquisa”. Como parte do protocolo, eu havia tocado diretamente nesse assunto na fase que antecedeu minha presença em sala de aula. Eu disse ao professor que, do ponto de vista da experiência de sala de aula, a expectativa era a de que tudo desse certo. Tal expectativa é algo que faz parte da ética do magistério e da própria pesquisa em educação, ambas centradas no compromisso de fornecer a melhor formação possível aos estudantes.



Em relação a meu projeto de pesquisa, no entanto, afirmei que não havia como algo “dar errado”, uma vez que a experiência a ser vivenciada sempre produziria uma boa oportunidade de refletir sobre a pertinência de meus objetivos e das diretrizes didático-metodológicas por meio das quais eu pretendia avaliá-los. Desse modo, minha tese “daria certo” ou não, devido à minha capacidade de refletir e interpretar adequadamente essa experiência e não em função de resultados específicos que o trabalho em sala de aula poderia vir a alcançar.

No próprio texto do projeto de pesquisa que foi entregue ao professor e ao colegiado do curso de pós-graduação, eu havia me mostrado consciente da tendência exibida pelos sujeitos que participam de uma pesquisa de regularem seus comportamentos em função de expectativas atribuídas ao pesquisador. Havia, além disso, me mostrado disposto a adotar uma série de cuidados para não nutrir o “espírito de colaboração” desses sujeitos durante a pesquisa, ou para filtrar parte de seus efeitos no momento da análise.

Fico feliz em reconhecer que minha “ortodoxia”, em relação a certos cuidados metodológicos básicos, tenha gerado frutos importantes, não apenas para minha pesquisa sobre a evolução das imagens de ciências dos estudantes, mas também em relação àquele compromisso que, há pouco, atribui à ética do educador e à pesquisa em educação. Assim, ao preservar o espaço do professor em sala de aula e ao não desestimulá-lo com a revelação prematura de críticas ao modo como ele conduzia as atividades eu vi nascer um professor com várias posturas e habilidades que hoje considero essenciais ao tipo de educação em ciências que estou a defender e a caracterizar nessa tese⁵¹.

Ao responder a questão proposta no roteiro da entrevista sobre como perseguia o objetivo de incrementar o saber dos estudantes sobre as ciências e que limitações ou dificuldades identificava na consecução desse objetivo, o professor também respondeu a outra pergunta por meio da qual eu pretendia saber que uso ele havia feito dos comentários e orientações às atividades propostas para o desenvolvimento do tema Luz e Visão. Essas orientações, já mencionadas no capítulo II, recortavam objetivos de ensino-aprendizagem e delimitavam os aspectos da natureza das ciências

⁵¹ Tratam-se, basicamente, das posturas e habilidades sumarizadas no capítulo II sob o item “o papel do professor”.



a serem discutidos em sala de aula para estabelecer a compreensão que se pretendia alcançar em relação a eles.

O professor declarou que, no ano de 2001, os comentários das atividades foram apenas lidos, mas, não aproveitados de modo a interferir efetivamente para a condução dos trabalhos. Esse quadro mudou no ano de 2002, quando o professor decidiu usar o material com uma nova turma de sétima série.

Nessa segunda experiência, além da maturidade alcançada por meio do ciclo ação-reflexão-ação, vivido no ano anterior, o professor alega ter estudado e se beneficiado das orientações. Ele também afirma ter adaptado o material, de modo a dar maior ênfase a uma das diversas estratégias concebidas para promover reflexões sobre a natureza das ciências. Trata-se, nesse caso, da reflexão sobre a existência de disputas entre teorias durante o processo de produção do conhecimento científico e das dificuldades enfrentadas pela comunidade científica para estabelecer critérios racionais de escolha no contexto dessas disputas.

A discussão sobre esse processo de disputa foi realizada no material que eu concebi por meio da referência ao conflito entre as teorias ondulatória e corpuscular da natureza da luz. O material original concentrava-se no desenvolvimento mais cuidadoso apenas do modelo corpuscular, atribuído a Isaac Newton. Na nova experiência que o professor conduziu em 2002, ele relata ter dado igual atenção ao desenvolvimento do modelo ondulatório e ter alimentado por muito mais tempo a angústia dos estudantes quanto às dificuldades de se encontrar critérios racionais de escolha.

A análise da experiência realizada no ano anterior revelou estudantes envolvidos na compreensão da disputa e na adesão, por meio da argumentação, a um ou a outro modelo. Isso ocorreu apesar de que, naquela ocasião, não se realizou um estudo aprofundado do modelo ondulatório, nem se esclareceu detalhes da disputa histórica entre os modelos ondulatório e corpuscular. Sobre a experiência de 2002, da qual não possuo qualquer registro, o professor disse:

Claro, sim, inclusive eu não agüento mais. Eles (os estudantes) querem a resposta: 'é onda ou partícula'? Eles falam que não pode ter essa indecisão. A Ciência é



definitiva, os alunos falam para mim: ‘Você tem que falar logo se para a Ciência é onda ou partícula!’. E eu, de covardia, respondo, assim... (gestos e risos...).

O tipo de modificação introduzida pelo professor no material que eu havia lhe oferecido no ano anterior não demonstra apenas seu empenho em sofisticar o saber dos estudantes sobre as ciências, mas também sua coragem e autonomia para afirmar o caráter conjectural e a provisoriabilidade do conhecimento científico e para destacar que as ciências se fundamentam sobre elementos que estão além da observação e até mesmo da experimentação.

O professor não se restringiu a descrever as modificações que introduziu na forma de utilizar o tema Luz e Visão para discutir a natureza da atividade científica com uma nova turma de sétima série. Ele também forneceu exemplos de como perseguiu o mesmo objetivo na continuidade do trabalho na turma com a qual eu havia interagido. Os exemplos surgiram quando eu perguntei a ele como trabalhou com os temas para os quais eu não produzi atividades e comentários destinados a orientar discussões sobre aspectos específicos da atividade científica. Ele me respondeu:

Professor: Bom, quando eu disse que a experiência (que nós havíamos vivido juntos) realmente me mudou, assim, isso vale também para tudo. Ela mexeu com a minha prática em sala. Exemplo, assim, dos outros conteúdos: na oitava série a gente começou o ano vendo química e aí a gente fez um trabalho que não é nem original, nem idéia minha, acho que foi o professor de prática de ensino de química da UFMG que escreveu: que você parte da hipótese... Você tenta explicar as características dos líquidos e gases com bolinhas.

Pesquisador: O modelo de partículas?

Professor: Sim, Modelo de Partículas. Foi um trabalho bacana que eu fiz na oitava e que também proporcionou esse tipo de discussão. Digamos que foi até complementar. Os próprios alunos falaram: ‘Ano passado veio essa estória de que luz é bolinha. Agora você vem com a história de que os materiais são bolinhas também?’

Pesquisador: Para a mesma turma?

Professor: Para a mesma turma. Foi a sétima e agora é a oitava.

Pesquisador: E eles não ficaram com o “saco cheio de bolinhas”?



Professor: É, mas não. Foi bacana também. E na Astronomia também a questão da criação dos modelos de geocentrismo e heliocentrismo e do modelo do eixo inclinado, por exemplo. Eu trabalhei, assim, perguntando qual era a melhor maneira de explicar as estações do ano. Até coisas que eu vi suas, de atividades que você me deu, coisas que eu li em outros livros. Eu fiz uma “mistureba” e fiz uma atividade do tipo. E os alunos trazem essa história de que é verão porque está perto do sol e de que é inverno porque está longe. Pedi a eles, então, para fazer um modelo de como é o sistema solar e eles desenharam. E aí depois eu coloquei uma série de problemas para o modelo que eles propunham: a questão de que se o sol estivesse mais longe, então, era para ele ser menor numa época do ano e uma lista de problemas que o modelo deles não respondia.

Pesquisador: Nesse caso você estava insistindo na necessidade de coordenar teoria e evidência, não é?

Professor: Sim. E aí eles tiveram que modificar o modelo, criar outros. E é claro que uma hora tinha que dar o modelo da ciência, porque o modelo que apareceu dos alunos não foi o modelo da ciência e nem podia ser. Sacanagem! Enfim, eu acho que eu não vou conseguir dar bons exemplos, mas o que estou querendo dizer é o seguinte: em outros conteúdos eu trago isso, esse trabalho sobre a natureza da ciência, a questão da modelagem e a importância que a modelagem tem para a Ciência. É isso!

Considero a referência do professor à caracterização das ciências como resultado de uma atividade que envolve imaginação e modelização como uma evidência importante dos impactos da minha pesquisa para a estratégia que ele passou a adotar no intuito de sofisticar o conhecimento dos estudantes sobre as ciências. Afinal, essa é uma das características que eu atribui às ciências no terceiro capítulo desta tese. É também um dos aspectos da atividade científica mais destacados nos comentários que eu havia produzido para orientar o uso das atividades sobre Luz e Visão em sala de aula. Alguns dos frutos do compromisso assumido pelo professor com a perspectiva defendida nesta tese serão apresentados nas próximas seções do presente capítulo, que também trazem evidências da existência desses frutos extraídas das falas de diversos estudantes.

Antes de passar para a apresentação e análise das evidências que mostram avanços no raciocínio epistemológico e no saber dos estudantes sobre as ciências, farei um relato de uma avaliação



muito pessimista da experiência vivida no segundo trimestre letivo de 2001, que apresentei ao professor no momento da entrevista.

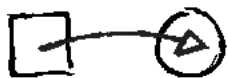
Relatei ao professor sentimentos perturbadores que me ocorreram ao assistir a fita em que ele e os estudantes avaliaram a etapa em que se desenvolveu o tema Luz e Visão. Lembrei a ele que vários estudantes aproveitaram a ocasião para reclamar do excesso de folhas de atividades utilizadas naquela etapa. Esses estudantes alegaram que o livro continha tudo o que havia sido estudado sobre o tema através das folhas e que, apesar disso, eles só foram orientados a utilizá-lo ao final da etapa, como um instrumento auxiliar de síntese e de preparação da prova escrita que estava para ser realizada.

Eu disse ao professor que me preocupava bastante o fato do estudante A17 ser o único cuja intervenção mostrou uma clara compreensão das diferenças no modo como o livro e as folhas de atividades abordaram o tema Luz e Visão. Tal fato me deixou com a impressão de que, possivelmente, a maioria dos estudantes não havia conseguido perceber a ênfase que havíamos tentado estabelecer em torno de duas questões epistemológicas básicas: como sabemos o que sabemos e porque acreditamos no que acreditamos acerca da natureza e do comportamento da luz.

O sentimento perturbador levantava a hipótese de que a incapacidade dos estudantes em perceber tal ênfase poderia indicar que a etapa em muito pouco havia contribuído para a evolução de suas imagens das ciências.

Uma boa formulação dessa hipótese poderia ser: se os estudantes não tomaram consciência do investimento que fizemos para que eles viessem a compreender melhor alguns aspectos básicos da natureza da atividade científica e da origem das idéias, conceitos e teorias que estávamos a lhes apresentar, como poderia ter ocorrido qualquer processo de evolução em seu raciocínio epistemológico ou em suas imagens das ciências?

Embora eu já compreendesse àquela época que não se pode confundir o aprender e o tomar consciência do ato e dos processos que levam ao aprender, eu continuava a considerar legítima e perturbadora essa hipótese e queria ouvir a opinião do professor a seu respeito.



A versão do professor sobre as razões que levaram os estudantes a reclamar do excesso de folhas e a não perceber a diferença de abordagem do conteúdo que elas apresentavam em relação ao livro texto não foi apenas plausível, como também se mostrou mais coerente com os dados que pude obter depois, nas entrevistas com os estudantes. Esses dados apontam indícios claros do surgimento de um saber sobre as ciências que dificilmente poderia ter ocorrido sem a influência decisiva do professor e do modo como ele caracterizou as ciências durante o desenvolvimento dos diversos temas de estudo no período que separou as entrevistas inicial e final.

O professor me disse que eu não deveria esquecer do fato de que os alunos estiveram por dois meses a trabalhar com atividades destinadas a promover a compreensão do ponto de vista das ciências sobre o tema Luz e Visão. Ainda segundo ele, o livro sintetizava esse ponto de vista, mas não dispunha de instrumentos eficazes para promover sua compreensão entre os alunos.

Além disso, os alunos poderiam não ter tomado consciência do esforço que havia sido feito em sala de aula para que eles pudessem chegar a abrir o livro e a compreender as idéias ali expostas. Essa seria, então, a razão pela qual eles não conseguiram distinguir as contribuições do livro e do material efetivamente usado em sala de aula para a aprendizagem dos conceitos e teorias das ciências sobre os fenômenos luminosos. Quanto à reclamação dos estudantes em relação ao número de folhas, o professor disse:

Outro problema que pode ter acontecido - e aí eu estou fazendo a minha lista de possibilidades - é o seguinte: na primeira etapa, eu não dei o mesmo número de folhas - talvez, sei lá, eu tô chutando aqui; pode ser metade. E na etapa anterior, eles tiveram que organizar uma pasta, uma espécie de portfólio da produção em sala de aula e até de exercícios do livro.

A maioria dos alunos - e essa é uma avaliação que eu faço com muita tranquilidade - é desorganizada. São alunos que não tem organização nenhuma, que recebem as folhas, dobram e põem no bolso, ou que as folhas ficam soltas na pasta. Organizar esse portfólio no final da etapa foi muito complicado. E talvez essa preocupação de ter que organizar as folhas na segunda etapa possa ter gerado isso: 'Poxa, é muita folha e tal'.



A idéia de adotar a prática de organização de portfólios constava no meu projeto, mas já havia sido adotada pelo professor desde a primeira etapa. A adoção dessa prática e a insistência em mantê-la durante os dois anos que o professor esteve a acompanhar aquela turma, apesar da insatisfação inicial de muitos alunos, demonstra que ele possuía uma clara compreensão de uma característica marcante da adolescência: a tendência à desorganização. Demonstra, ainda, que esse professor possuía um projeto para seus alunos voltado para a formação de atitudes e para a aprendizagem de procedimentos fundamentais à vida acadêmica. Na entrevista ele disse que a mesma turma já não demonstrava ter dificuldades na organização do portfólio na oitava série. Isso, por sua vez, demonstra o sucesso de sua decisão de propor e persistir com a prática dos portfólios.

A proposição da produção de portfólios no meu projeto de pesquisa e a implementação antecipada desta metodologia por parte do professor pode não ter sido mera coincidência. É possível até que nós tenhamos sido influenciados pela mesma literatura em que tal prática era proposta (DUSCHL, 1995 e 2001). Afinal, eu tive acesso a essa literatura pelas mãos do mesmo sujeito que havia sido professor de prática de ensino de Física do professor cujas aulas eu acompanhei. Isso sugere a existência de afinidades entre as diretrizes didático-metodológicas apresentadas em meu projeto e aquelas que o professor havia introjetado durante seu processo de formação. Mas, para além dessa afinidade, eu supunha que minha pesquisa pudesse também ter produzido rupturas e novidades nos valores e perspectivas educacionais deste professor. Questionado a esse respeito ele me disse:

(...) existia uma diferença sim, entre a sala de aula da primeira etapa, e a sala de aula depois, que é uma que o A17 colocou (substituo aqui o nome verdadeiro do estudante pelo código que a ele atribuí).

Realmente na primeira etapa, as coisas eram mais, assim, eu estava mais preocupado em ensinar as idéias da Ciência. Então, tem uma diferença quando eu começo a pedir na segunda etapa a opinião deles, o que eles acham. E eu pedi opinião não só sobre a natureza das ciências, opiniões sobre as idéias da ciência também. Então o ambiente teve essa mudança, sim. O A17 falou: ‘a gente discutiu mais nessa etapa as coisas que a gente estava estudando’.



Nessa última citação, o estudante A17 é mencionado pelo professor como o único a discordar explicitamente da suposta similaridade entre o livro texto e o material que utilizamos para desenvolver o tema Luz e Visão. A atitude de A17 é, provavelmente, resultante de sua atividade metacognitiva.

Como não concebi instrumentos especificamente voltados para identificar e quantificar manifestações de atividade metacognitiva durante os trabalhos em sala de aula, posso sustentar apenas na condição de mera hipótese, a possibilidade de que a aparente capacidade metacognitiva mais desenvolvida de A17 esteja associada ao fato de que ele foi o estudante que apresentou as imagens de ciências e raciocínios epistemológicos mais sofisticados, tanto na entrevista inicial, quanto na entrevista final.

Passarei, então, a apresentar os dados obtidos na entrevista final realizada com esses estudantes, como modo de dar consequência às diversas afirmações que fiz nessa primeira seção do capítulo sobre possíveis impactos da minha pesquisa no ambiente em que ela se realizou.

V.2- O papel da imaginação na produção das ciências

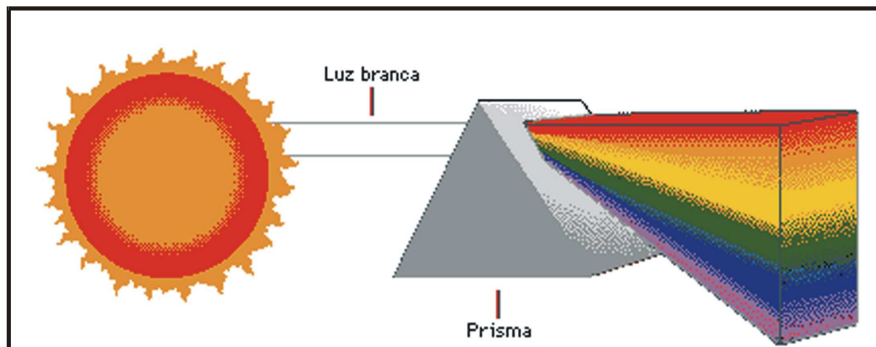
Na primeira fase da entrevista final minha intenção era conhecer as imagens dos estudantes sobre a natureza das explicações científicas. Mais exatamente, eu pretendia saber que papel os estudantes atribuíam à imaginação e à criatividade no processo de construção das ciências, bem como avaliar se ao assumir a presença de elementos oriundos da imaginação os estudantes diminuiriam o status epistemológico do conhecimento científico. A entrevista começou com a leitura de uma ficha impressa a cores, em papel A4, que eu reproduzo no quadro V.2 a seguir.

A ficha solicita a atenção dos estudantes para duas figuras retiradas do material que havia sido usado 15 meses antes em sala de aula. Os estudantes foram orientados a ler e a analisar atentamente o modo como Isaac Newton (1642-1727) explicou a dispersão da luz branca e a formação do arco-íris.

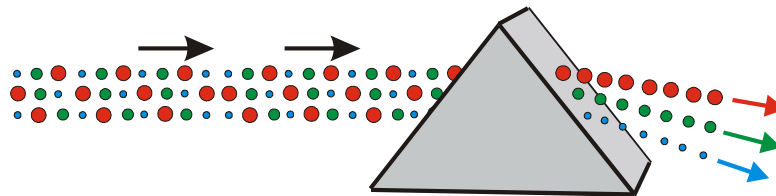


**Quadro V.2- Um exemplo de explicação produzida no interior das ciências:
O modelo de partículas de Newton e a origem das cores do arco-íris**

As duas figuras seguintes reproduzem o raciocínio utilizado por Newton (1642-1727) para explicar a dispersão da luz branca nas cores do arco-íris. Analise com atenção essas figuras para tentar compreender como Newton explicou esse fenômeno.



Realidade: Um feixe de luz branca, ao passar por um prisma, decompõe-se em feixes coloridos com as cores do arco-íris. A luz vermelha é a que sofre o menor desvio ao passar pelo prisma. A luz violeta é a que sofre o maior desvio.



Modelo: Para Newton, a luz branca é composta de partículas de tamanhos diferentes. Partículas maiores sofrem menor desvio ao passar pelo prisma. Partículas menores sofrem um desvio maior. O prisma, portanto, separa a luz branca em vários feixes de partículas que têm o mesmo tamanho ou, em outras palavras, a mesma cor.

Antes de propor as questões concebidas para a discussão da ficha, eu disse a todos os estudantes que aquele exemplo de explicação não deveria ser entendido, necessariamente, como um “padrão” de explicação científica. Quando pedi aos estudantes para avaliar a natureza daquela explicação, o uso que ela fazia de elementos extraídos da imaginação ou os fundamentos que a sustentavam e a tornavam plausível, fui claro em sugerir que eles poderiam considerar aquele



exemplo, tanto como um padrão de explicação científica, quanto como um “caso a parte”, ou uma “exceção que fogia à regra”. Aproveitei essa sugestão para perguntar aos estudantes se o exemplo em questão estava mais próximo de ser regra ou exceção.

As respostas e opiniões dos estudantes nessa fase da entrevista estão sumarizadas no quadro V.3, por meio de quatro proposições. Acho importante reafirmar que as proposições apresentadas nesse quadro, bem como em quadros semelhantes que aparecem em outras seções deste capítulo representam minhas tentativas de sintetizar a variedade de raciocínios apresentada pelos estudantes entrevistados. São, por conseguinte, “proposições-categorias” e não uma cópia fiel do que foi dito por qualquer um dos estudantes em particular.

Na segunda coluna do quadro, indico o número de estudantes cujas falas têm alta identificação com o texto da proposição. Esse número é dado por uma fração cujo denominador é quatorze, número total de estudantes entrevistados na ocasião. Na terceira e última coluna indico o número de estudantes cujos pontos de vista não podem ser completamente identificados com o texto da proposição. Recorrerei a alguns trechos de transcrições para esclarecer que tipo de discrepância existiu entre as imagens ou raciocínios epistemológicos desses estudantes e as proposições sumarizadas na primeira coluna do quadro V.3.

Quadro V.3- Respostas e opiniões dos estudantes na primeira fase da entrevista		
PROPOSIÇÃO	CONCORDA PLENAMENTE	PENSA DIFERENTE
1. A explicação produzida por Newton para o fenômeno da dispersão contém elementos extraídos da imaginação.	$\frac{12}{14}$	$\frac{02}{14}$
2. O uso da imaginação é inevitável quando se pretende explicar o fenômeno da dispersão luminosa.	$\frac{12}{14}$	$\frac{02}{14}$
3. Para explicar é preciso ir além do que se pode efetivamente observar. A produção de explicações nas ciências pressupõe o uso da imaginação. Tal uso é regra e não exceção.	$\frac{14}{14}$	$\frac{0}{14}$



4. Não se avalia a qualidade de uma explicação ou teoria em função dela conter mais ou menos elementos extraídos da imaginação. Existem outros critérios de avaliação.	$\frac{14}{14}$	$\frac{0}{14}$
--	-----------------	----------------

Uma análise geral dos *scores* do quadro V.3 permite identificar regiões de razoável sofisticação nas imagens sobre ciências e no perfil epistemológico dos quatorze estudantes entrevistados. Afinal de contas, as imagens mais ingênuas das ciências e os raciocínios epistemológicos mais limitados não costumam atribuir tamanha importância ao papel da imaginação na produção das ciências.

O termo perfil epistemológico que usei no parágrafo acima e usarei durante essa seção é tomado de empréstimo de Bachelard (1991). Esse autor sugeriu que um mesmo indivíduo tende a apresentar não necessariamente uma epistemologia integrada e coerente, mas diferentes epistemologias ou perfis epistemológicos que variam em função do contexto ou aspecto da realidade e da atividade com os quais esse indivíduo está envolvido.

Ao apresentar como exemplo de perfil epistemológico o modo como ele próprio utiliza o conceito de massa em diferentes contextos e situações, Bachelard nos leva a acreditar que possuir um perfil epistemológico ao invés de uma epistemologia totalizadora e internamente coerente não é uma característica que pode ser atribuída apenas aos incautos ou àqueles com baixo nível de conhecimento e reflexão epistemológica.

Desse modo, o conhecimento epistemológico de todo e qualquer sujeito seria “naturalmente situado” ou dependente do contexto. Não debatarei aqui extensamente sobre a pertinência desse último aspecto do conceito de perfil caracterizado por Bachelard, mas creio, em linhas gerais, que o conhecimento epistemológico de um sujeito tende a ser tão mais fragmentado e, portanto, tão mais bem representado pelo conhecimento de perfil epistemológico, quanto menor é sua atividade metacognitiva e sua maturidade em relação a questões de natureza epistemológica.

Uma única dupla não expressou imediata e espontaneamente a idéia de que a explicação produzida por Newton para o fenômeno da dispersão contém elementos extraídos da imaginação. A dupla em questão é constituída pelas estudantes A07 e A13, as mesmas que no capítulo



anterior foram escolhidas para representar uma visão ingênua da atividade científica. Contudo, essas estudantes não chegaram a discordar da primeira proposição, apenas precisaram refletir melhor sobre ela, por meio de algumas provocações que fiz durante a entrevista. Vejamos um trecho do diálogo em que esta interação verbal aconteceu.

E01 ⇒ P: Vejam se eu estou entendendo. Vocês estão dizendo que ele (Newton) basicamente observou com bastante cuidado a experiência. Aí ele conseguiu criar essas idéias aí, não é isso mesmo?

E02 ⇒ A13: É, ué. Ele estudou, como é que fala... fez experiência... Não sei como, porque naquela época, né?... Fez do jeito dele. Aí ele fez a experiência e conseguiu.

E03 ⇒ P: Conseguiu inventar essas idéias?

E04 ⇒ A07: É.

E05 ⇒ P: Bom, então, tá! Essas partículas de luz fazem parte da explicação dele! Elas podem ser observadas? Dá para observar as bolinhas associadas às cores?

E06 ⇒ A07: Não!

E07 ⇒ P: Então, será que isso vem de observação ou da imaginação? Entenderam a minha dúvida?

E08 ⇒ A07: Ah... Entendi.

E09 ⇒ P: Se não dá para observar partículas de luz e se a explicação está baseada nisso...

E10 ⇒ A07: Isso é a imaginação dele!

E11 ⇒ P: A explicação está baseada nisso, cada cor tem um tipo de partícula. A explicação faz sentido, não faz?

E12 ⇒ A13: Faz.

E15 ⇒ P: Bom, então tá. Vamos lá: primeiro vocês falaram, assim, que é mais observação. Mas será, realmente, que se ele (Newton) ficasse observando a decomposição da luz milhares de vezes e não tivesse usado a imaginação, será que ele explicaria a experiência assim desse jeito. A explicação seria a mesma sem um ato de criação e de imaginação?

E16 ⇒ A07: Ele imaginou essas partículas para quê? Para tornar a sua experiência mais fácil, para que todo mundo entenda.

E17 ⇒ P: Ah, legal. É um recurso para explicar.

E18 ⇒ A13: É um recurso da explicação dele.



E19⇒P: Ah... Entendi. Você também acha isso A07?

E20⇒A07: Eu acho. Para tornar mais aceitável.

Nota-se que, mediante minha argumentação, as estudantes admitem que: 1^o- a explicação newtoniana para a dispersão da luz branca contém elementos extraídos da imaginação; 2^o- esses elementos vão além da mera observação e jamais poderiam ser derivados dela. Mas, elas parecem não ter se dado conta disso anteriormente.

No final do trecho transcrito e na seqüência de um diálogo que não foi transcrito, A07 e A13 legitimam o uso da imaginação na produção das explicações desde um ponto de vista didático e retórico. Elas, aparentemente, caracterizam a imaginação como um recurso de argumentação e persuasão e não, propriamente, como um recurso heurístico ou uma parte intrínseca do raciocínio do cientista tomado isoladamente.

Eu mesmo não acredito que a distinção entre as dimensões retórica e heurística seja mais do que um recurso de análise da atividade científica. Essa é uma das conseqüências que se pode derivar do meu argumento a favor da indissociabilidade entre a dimensão “Argumento e Persuasão”, “Coordenação entre teorias e Evidências”, “Imaginação e Modelização” e as outras dimensões que atribuí à natureza das ciências⁵².

Todavia, eu não acho adequado atribuir minhas próprias imagens das ciências às estudantes A07 e A13 e, por essa razão, confesso não saber exatamente a razão pela qual as estudantes legitimam o uso da imaginação pela necessidade que o Newton supostamente teria de “explicar” o processo de decomposição a outros que, porventura, estivessem interessados em compreender esse fenômeno.

Acredito, por outro lado, que o ponto de vista das estudantes A07 e A13 deriva de sua dificuldade em diferenciar a ciência escolar e o empreendimento científico mais amplo. O cientista seria, basicamente, um professor que deve explicar aos outros como o mundo funciona. Independentemente de ser classificada como uma “dificuldade” ou o resultado de um processo de

⁵² A esse respeito, ver capítulo III desta tese.



indiferenciação, não há como negar que o ponto de vista apresentado por essas estudantes apresenta uma perspectiva bastante interessante.

Ao “confundir” o papel do cientista, como produtor de conhecimentos, com o papel de um professor ou de um divulgador das ciências, as estudantes concebem os cientistas como sujeitos que não produzem conhecimento para si. Não se tratam, portanto, de pessoas meramente curiosas, maravilhadas com a possibilidade de descobrir os segredos da natureza. Desde o ponto de vista apresentado pelas estudantes A07 e A13, a produção, a validação e a publicação das ciências se confundem. Para elas, o uso da imaginação parece permitir que todas essas funções, ainda indiferenciadas, sejam realizadas de modo eficaz e convincente.

Uma evidência a favor da idéia de que a indiferenciação que atribuo às estudantes A07 e A13 traz consigo um germe de sofisticação das imagens sobre a natureza das ciências é o fato de que elas se utilizam desse mesmo raciocínio para defender as proposições 2 e 3, sumarizadas no quadro V.3. Vejamos o trecho da entrevista que ilustra esse ponto.

E21 ⇒ A07: Ah, eu acho que no caso da ciência a gente mistura bastante a observação e a imaginação, porque hoje em dia as pessoas querem o quê, querem clareza, querem entender melhor. Por exemplo, se for só observação, se o cara colocar só a observação dele, talvez as pessoas não entendam.

E22 ⇒ A13: E a outra pessoa pode também perguntar: como que você observou isso?

E23 ⇒ P: E ele pode descrever: no quarto escuro, fiz um buraquinho na janela, deixei a luz do sol entrar, peguei um triângulo de vidro, fiz a luz passar. Assim, ele está explicando como é que ele fez a experiência, né?

E24 ⇒ A07: Mas como é que ele vai provar para você?

E25 ⇒ P: Provar o quê?

E26 ⇒ A07: A experiência dele, ué!

E27 ⇒ P: Mas a experiência não é só pegar a luz, fazer ela passar pelo triângulo de vidro, e desviar igual a gente fez no ano passado?

E28 ⇒ A07: Mas eu acho, assim, mistura um pouco, sabe! Para quê? Para que as pessoas tenham mais clareza do que elas estão vendo.

E29 ⇒ P: É para entender o fenômeno?

E30 ⇒ A13: Isso.... É para tentar entender o porquê.



Constata-se no trecho citado que as estudantes A07 e A13 manifestam-se espontaneamente a favor das proposições 2 e 3, após terem aderido à idéia de que a explicação newtoniana contém elementos extraídos da imaginação e desenvolvido o ponto de vista de que a imaginação é o principal recurso para explicar a outras pessoas como ou porque um fenômeno ocorre de uma determinada forma.

As imagens das ciências dessas estudantes mostraram-se bastante dinâmicas e capazes de evoluir rapidamente a partir do momento em que as convenci de que a explicação newtoniana estava estruturada em torno de elementos imaginários. Essas e outras entrevistas me levaram à conclusão de que um processo assistido ou compartilhado de reflexão, sustentado por vivências, conhecimentos e reflexões anteriores, pode nutrir e sustentar processos de sofisticação de imagens de ciência e raciocínio epistemológico em curtos intervalos de tempo.

Posso citar um outro exemplo de “rápida evolução” de raciocínios epistemológicos provocada pela minha interação com outras estudantes durante essa mesma fase da entrevista final. Antes de passar a descrever esse exemplo, entretanto, eu gostaria de registrar um fenômeno curioso que não pode ser percebido pela simples leitura do quadro V.3.

Como eu afirmei anteriormente, as estudantes A07 e A13 não aderiram espontaneamente à primeira proposição, mas aderiram “entusiasmaticamente” às três proposições seguintes do quadro V.3. Por sua vez, as estudantes A09 e A15, das quais passarei a falar a partir de agora, aderiram espontaneamente à primeira proposição, mas não a generalizam e, por isso, não aderiram à segunda proposição. Desse modo, A09 e A15 acabaram por constituir a única dupla de estudantes que não aderiu à segunda proposição do quadro V.3. Apesar disso, e também em função de provocações e questões que introduzi durante a entrevista, a opinião das estudantes mudou, a ponto de permitir que elas aderissem à proposição de número 3, cujo conteúdo é extremamente similar ao da segunda proposição. Vejamos, então, um trecho ilustrativo dessa interação.

E31 ⇒ P: Essa presença de coisas da imaginação... Isso poderia ser evitado, poderia se evitar o uso da imaginação para explicar esse fenômeno? Vocês acham que tem jeito?

E32 ⇒ A15: Acho que ele teria que ter materiais suficientes para ele poder... Mas na época ele não tinha nada. Ele não tinha muitos recursos para poder saber...



E33 ⇒ P: Então, o uso da imaginação, no caso dele, é mais em função de uma falta de recursos?

E34 ⇒ A15: É

E35 ⇒ P: Eu disse que isso era só um exemplo de explicação. Será que as explicações na ciência, em geral, têm tanta imaginação assim? Isso é um caso mais raro?

E36 ⇒ A15: Não.

E37 ⇒ P: Vocês disseram assim: o problema é a falta de recursos, não foi?

E38 ⇒ A09 & A15 (respondem juntas): É!

E39 ⇒ P: E hoje em dia, as explicações das ciências têm menos imaginação?

E40 ⇒ A15: Tem menos que antes.

E41 ⇒ P: Menos que antes?

E42 ⇒ A15: É.

E43 ⇒ P: Por exemplo, o negócio da constituição da matéria que vocês estudaram esse ano: átomos, moléculas. Ainda hoje em dia se pesquisa muito a constituição da matéria. Então, nesses assuntos, será que os recursos que a gente tem hoje nos ajudam a evitar o uso da imaginação, ou ainda tem muita imaginação, por exemplo, na teoria atômica?

E44 ⇒ A15: Tem o uso da imaginação também.

E45 ⇒ A09: É, porque olha só, vamos pensar: existe, igual a gente estuda, igual o professor falou. A gente não pode provar, mas tudo mostra para a gente que é assim. Então, é a melhor explicação que a gente encontrou até hoje.

E46 ⇒ P: Ou seja, quando ele fala assim, ele está querendo dizer que parte da explicação envolve a imaginação?

E47 ⇒ A09 & A15 (respondem juntas): Hum, hum!

Na enunciação E43, eu faço uma intervenção que me coloca em uma posição ambígua. Nela se confundem o papel do entrevistador, que deseja identificar as imagens e raciocínios dos estudantes, com o papel do professor, que vê a interação verbal com os estudantes como uma oportunidade para promover avanços em suas imagens de ciências, determinando, assim, o quanto elas são dinâmicas, fluidas ou contextuais. A ambigüidade a que refiro traça uma linha muito tênue entre dois tipos diferentes de intervenção: 1^o - uma intervenção que procura colocar as imagens de ciências dos estudantes “em movimento”; 2^o - uma outra que simplesmente “força os estudantes” a apresentar pontos de vista que “agradam ao entrevistador”.

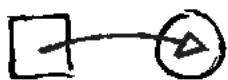


Recair nesse segundo tipo de intervenção seria comprometer a validade dos dados que estou a construir. Evitá-la, por outro lado, é mais difícil do que parece. Sinais muito sutis captados em minha fala através de variações no tom de voz e nas expressões faciais podem dar pistas aos estudantes sobre o que “deve ser dito”, no sentido de “cooperar com a pesquisa”. Por sorte, tenho três indícios de que eu consegui, em E43, produzir o primeiro tipo de intervenção mencionado anteriormente. Tenho, portanto, três razões para acreditar que os conteúdos das enunciações de E44 a E47 indicam uma reavaliação legítima e autêntica das estudantes acerca do papel da imaginação nas ciências.

Em primeiro lugar, procurei manter o mesmo tom de voz ao fazer intervenções que propunham idéias que se aproximavam e que se afastavam das minhas próprias imagens das ciências ou daquilo que considero mais próximo ou distante de um perfil epistemológico sofisticado. Essa é uma habilidade que não adquiri na prática como entrevistador, até porque nunca desempenhei essa função de forma sistemática. Trata-se, isso sim, de um cuidado que aprendi durante muitos anos tentando me tornar um professor que busca dialogar com os estudantes, de modo a criar ambientes nos quais eles possam formular suas próprias idéias, desenvolvê-las e argumentar a favor delas, antes de serem confrontados com os pontos de vista da ciência oficial, com toda a sua autoridade silenciadora, seus fatos e sua força retórica.

Em segundo lugar, julgo que todos os estudantes com os quais trabalhei eram suficientemente assertivos para não acatar sem questionamento sugestões por demais sutis que viessem a serem captadas em meus gestos e na entonação de minha voz.

Em terceiro e último lugar, acredito que a fala da estudante A09, em E45, exhibe a consciência de que existe uma outra voz a considerar na tarefa de reavaliar a posição inicial que elas apresentaram acerca do papel da imaginação na produção das ciências. Trata-se, nesse caso, da voz de seu professor de ciências, que é introduzida no diálogo para justificar a idéia de que o uso da imaginação é legítimo e, por vezes, até necessário. De acordo com A09, o professor de ciências teria afirmado que, em situações nas quais *a gente não pode provar*, resta a alternativa de acreditar na teoria ou explicação que é mais coerente com as evidências que nos são disponíveis, pois *tudo mostra para a gente que é assim*.



O mais importante nesse tipo de caracterização das ciências - que é atribuída pelas estudantes ao seu professor - é a idéia de que teorias ou explicações produzidas mediante o uso da imaginação podem ser consideradas as melhores teorias ou explicações disponíveis, num determinado momento do processo de evolução do conhecimento científico, ou como as estudantes dizem a *melhor explicação que a gente encontrou até hoje*. Esse ponto de vista, associa duas das oito dimensões que eu atribuí à natureza das ciências no capítulo III desta tese: Imaginação e Modelização + Provisoriedade e Devir.

Parece que a confiança na palavra do professor de ciências e a atenção ao modo como ele caracterizou o processo de produção do conhecimento científico em sala de aula foi capaz de nutrir e fazer avançar o entendimento dos estudantes sobre a natureza das ciências durante o processo de interação com o pesquisador.

As idéias apresentadas por essas estudantes para justificar sua adesão à quarta proposição do quadro V.3 reforçam essa minha interpretação. Vejamos, então, o trecho no qual esse “reforço” parece acontecer.

E48⇒P: Agora, a pergunta é: ao usar a imaginação para produzir uma explicação, como Newton fez, ou como no caso do modelo atômico, o uso da imaginação torna a explicação mais frágil, pouco confiável, ou não é esse o critério para a gente decidir se a explicação é boa ou é ruim?

E49⇒A15: Professor... Olha só... Eu acho que não é assim não, porque o modo de estudar as partículas para todo mundo hoje é esse, não é?! Por mais que todo mundo não tenha visto, o que a gente mais acredita é nisso. Eu acho que não é isso não. Acho que não é o melhor critério.

E50⇒P: O fato de ter elementos da imaginação, não é critério para julgar que a coisa seja ruim, que a coisa seja fraca?

E51⇒A15: É, não é não.

E52⇒P: E qual seria o critério então? No caso de teoria das partículas, você falou: “A gente acredita”. E por que acredita, já que está tudo baseado na imaginação?

E53⇒A15: Então, professor, é pelo tanto de experiência que a gente faz, se a gente usar isso, a gente sempre vai conseguir... Como é que eu vou falar... Arranjar uma explicação para isso.



E54⇒P: A idéia parece boa em muitas situações?

E55⇒A15: Isso. É isso mesmo.

E56⇒P: Muda a experiência, e aquela idéia parece boa de novo?

E57⇒A15: É

E58⇒P: É imaginação, mas parece boa. É assim?

E59⇒A15: É

E60⇒P: Faz sentido!

E61⇒A09&A15: (risos...)

O professor de ciências discutiu o modelo cinético-molecular da matéria no início do ano de 2002 cerca de 08 meses antes de eu ter realizado a entrevista final e 08 meses depois de eu ter acompanhado o trabalho dele em sala de aula. A semelhança entre a abordagem que ele parece ter usado no tratamento do modelo cinético-molecular e aquela que foi utilizada no desenvolvimento do tema Luz e Visão, cujo material didático foi concebido por mim, pode ser resumida em uma idéia: nos dois casos o professor estruturou o processo de ensino-aprendizagem das ciências naturais centrando-o na análise de evidências, ou melhor, na coordenação entre teorias e evidências.

A adesão das estudantes A09 e A15 à quarta proposição do quadro V.3 modifica uma linha de raciocínio identificada no primeiro trecho transcrito da entrevista com essas estudantes, visto que de E31 a E47, elas caracterizam o uso da imaginação como decorrente da falta de acesso a outros recursos. Uma tentativa similar de restringir o uso da imaginação foi encontrada na entrevista com as estudantes A02 e A16. Essas estudantes, todavia, concordaram plena e espontaneamente com todas as quatro proposições do quadro V.3. Vejamos, então, de que modo a restrição ao papel da imaginação ocorreu com essa dupla.

E62⇒P: E o uso desses elementos de imaginação, quer dizer, você misturar coisas que você não vê, mas apenas imagina, para poder explicar: isso é uma coisa que pode ser evitada? Isso pode tornar a explicação mais fraca? É legítimo usar coisas que a gente apenas imagina?

E63⇒A02: Olha, é mais fácil para a gente explicar alguma coisa.



E64⇒A16: É, por exemplo, bactérias, aqueles negócios, a gente não vê; a gente precisou do telescópio [sic] para ver. Tipo assim, talvez, um dia, se essa teoria for realmente uma teoria verdadeira, talvez alguém um dia a gente consiga ver as partículas, sei lá.

Em E64, encontro elementos que me permitem conjecturar sobre a existência de uma região do perfil epistemológico da estudante A16, que pode ser associada a pontos de vista característicos do positivismo lógico⁵³. Nessa enunciação, A16 afirma que a observação de elementos que inicialmente podem ser apenas imaginados seria alcançada no futuro por meio do avanço tecnológico e da melhoria das técnicas e recursos de observação desde que, é claro, a teoria que supõe a existência desses elementos seja “verídica”.

Essa condição deixa claro que, para A16, a observação é uma etapa privilegiada e não problemática de “confirmação” da teoria. Além disso, esse mesmo ponto de vista aponta, virtualmente, para a crença de que o avanço tecnológico vai nos permitir ter “acesso direto” ao mundo natural. Em outras palavras, trata-se de uma crença que parece coerente com o mito do “fim das ciências”, fim esse que coincidiria com o momento a partir do qual conheceríamos o mundo natural “tal como ele verdadeiramente é”.

A associação das idéias de A16 e das idéias iniciais de A09 e A15 com o positivismo lógico ou, de modo ainda mais pejorativo, ao realismo ingênuo, pode ser sustentada se nos lembrarmos que essas ideologias das ciências consideram a imaginação como uma etapa necessária, mas intermediária, no fazer das ciências, de modo que se pode vincular, por um lado, a imaginação com o processo de produção e, por outro lado, a observação ou “confirmação”, com o processo de validação do conhecimento sobre o mundo natural.

⁵³ Utilizo aqui o termo perfil epistemológico de modo apenas parcialmente similar àquele proposto por Bachelard (1991). O exemplo dado por Bachelard (ibidem) envolve o conceito de massa e ele se refere ao modo como ele próprio varia sua maneira de utilizar o conceito de massa de modo mais empirista (uma coisa que resulta de uma medida) ou mais racionalista (a medida da inércia de um corpo) em função do contexto no qual o conceito de massa surge e é utilizado. O meu entendimento do conceito de perfil epistemológico tende a incorporar aquilo que Leach et al. (2001), Leach e Ryder (2002) ou Leach e Lews (2003) denominam como dependência contextual do raciocínio epistemológico. Para mim, entretanto, esse conceito ainda está em construção de modo que não posso defini-lo de modo claro e não controverso.



Desde o capítulo anterior venho argumentando que não me interessa em recortar extratos de idéias e raciocínios dos estudantes para forçar sua associação com ideologias das ciências historicamente constituídas. Prefiro acreditar no dinamismo e na falta de formalização e de sistematicidade das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências. Prefiro acreditar que tais imagens e os raciocínios a elas associadas fazem parte de “bandas” de um perfil epistemológico sobre o qual a escola deve atuar ao integrar o “saber ciências” com o “saber sobre as ciências” e o “saber fazer ciências”. Voltarei a essa discussão no próximo e último capítulo desta tese.

A região do perfil epistemológico de alguns estudantes, a partir da qual encontrei tentativas de restringir o uso da imaginação, não são de todo ruins, já que contêm germes de uma compreensão histórica do desenvolvimento das ciências e da estreita vinculação entre desenvolvimento científico e tecnológico. Acredito que esses germes podem ser explorados durante um processo de reflexão assistida ou compartilhada que promova a compreensão de que a imaginação é um recurso imprescindível à atividade científica, e que essa é uma das razões pelas quais o conhecimento científico é sempre provisório.

Ao contrário dos estudantes que iniciaram a entrevista impondo restrições ao papel da imaginação, os estudantes que o admitiram inequivocamente desde o início exibiram imagens de ciências e raciocínios epistemológicos mais sofisticados que apontaram claramente para a questão da provisoriedade do conhecimento científico. O trecho abaixo ilustra uma entrevista em que isso aconteceu.

E65 ⇒ P: Mas se a explicação tem tanta imaginação, por que as pessoas acreditam tanto na ciência?

E66 ⇒ A11: Porque sem imaginação não haveria explicação para as coisas, porque as pessoas são curiosas. Porque se eles não acreditarem na ciência, eles não vão acreditar em nada.

E67 ⇒ A17: É imaginação e tudo, mas é a única coisa que eles tem do negócio. A única coisa que eles sabem. Eles sabem aquilo. Se eles não acreditarem...

E68 ⇒ P: A ciência é um conhecimento que usa a imaginação. Portanto, pode ser que um dia o cientista até mude de opinião?



E69⇒A11: Ele pode achar outro jeito de explicar.

E70⇒P: Mas enquanto não arrumar uma explicação melhor, usa aquela?

E71⇒A11: É

E72⇒A17: E aí a pessoa vai acreditar no...(inaudível)

E73⇒P: Mas, o fato de nunca dar para ter certeza se a imaginação é correta, não deve levar a gente a pensar: “Então, se a ciência usa a imaginação, eu não quero nem saber de ciência. Ciência é besteira!”.

E74⇒A11: Não, porque as pessoas vão querer saber.

E75⇒P: Pode falar assim: “Isso é coisa da imaginação. Então não vou acreditar no que a ciência fala!” Vocês concordam com isso?

E76⇒A11: Não.

E77⇒A17: Cada dia eles inventam uma nova coisa, cada dia eles vão aperfeiçoando as idéias. Então, cada dia elas ficam mais certas. Eles descobrem alguma coisa mais legal.

E78⇒P: Quer dizer, você vai aproximando da verdade, mas nunca chega lá, nunca tem certeza. Vai melhorando, melhorando, melhorando. É isso?

E79⇒A11: Talvez um dia chegue.

E80⇒P: Você acha que esse dia vai chegar?

E81⇒A11: Acho que chega.

E82⇒P: A opinião final? E aí não precisa mais mexer, de jeito nenhum? Você também acha, A17, que um dia pode-se chegar a ter certeza absoluta de tudo?

E83⇒A17: Certeza absoluta de tudo não tem jeito não!

E84⇒A11: Acho que não a explicação de tudo, mas boa parte das coisas.

E85⇒A17: Em algumas partes sim, porque a tecnologia...

E86⇒A11: Só vai avançando, né?

E87⇒P: E o que a tecnologia tem a ver com isso?

E88⇒A17: Os equipamentos ficam cada vez mais...mais precisos.

E89⇒P: E os equipamentos mais precisos ajudam em quê?

E90⇒A17: Ah, ajuda a provar algumas coisas.



No caso de A17 não houve nenhuma evolução ou avanço em relação à entrevista inicial, uma vez que esse estudante já havia exibido, naquela ocasião, a mesma compreensão sofisticada do papel da imaginação na produção das ciências e da provisoriedade do conhecimento científico. A constatação de avanço fica assim atribuída ao estudante A11, que na entrevista inicial havia se mostrado muito menos assertivo e mais dependente dos pontos de vista e argumentos elaborados por A17. Por outro lado, A11 apresenta uma visão ainda limitada da provisoriedade das ciências, ao exibir a crença na possibilidade de que um dia será possível alcançar “certeza sobre tudo”. Tal esperança não é compartilhada por A17, cuja fala em E83 indica que a certeza absoluta não deve ser encarada como uma meta das ciências.

V.3- A função dos experimentos nas ciências

Esta fase é uma extensão ou refinamento da fase anterior e complementa a pesquisa sobre as imagens dos estudantes acerca das estratégias usadas pelas ciências para produzir explicações e desenvolver teorias.

Os dados da entrevista inicial mostraram que os estudantes enfatizavam muito o papel da experimentação ao tratar do processo de produção do conhecimento científico. Será, então, que o modo como o professor de ciências lidava e passou a lidar com a experimentação em sala de aula, após o período em que eu estive com ele em sala de aula, contribuiu para que os estudantes avançassem sua compreensão acerca do papel da experimentação nas ciências naturais?

Para tentar responder a esta pergunta, resgatei uma das atividades desenvolvidas durante a intervenção que registrei em áudio e vídeo. Os estudantes foram convidados a ler a ficha que reproduzo a seguir e que trazia um trecho de uma das atividades.

Quadro V.4- Um exemplo de experimento criado em uma investigação científica:

A disputa entre Newton e Hooke sobre a origem das cores do arco-íris

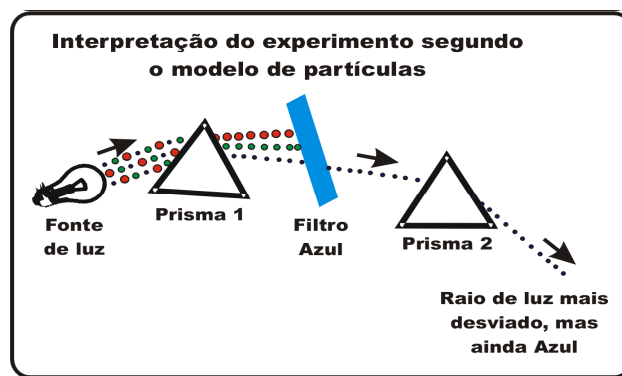
Robert Hooke (1635-1703) era um cientista de grande prestígio na época em que Newton (1642-1727), ainda pouco conhecido, publicou seu primeiro trabalho sobre a decomposição da luz branca que atravessa um prisma.



Hooke acreditava que apenas o azul e o vermelho eram cores básicas, já presentes na luz branca do Sol. Essas são as cores que podem ser observadas no céu. Para Hooke as outras cores eram criadas pelos próprios prismas. Como se vê, a teorias de Hooke e Newton para a decomposição da luz são bastante diferentes.

No contexto da disputa entre essas teorias, Newton criou o experimento mostrado na figura acima.

Do ponto de vista do próprio Newton, o experimento que ele realizou mostrava que era ele, e não Hooke, que tinha razão sobre a composição da luz branca. Afinal, o segundo prisma não cria outras cores quando recebe luz azul. O raciocínio de Newton para explicar os resultados do experimento baseava-se em seu “modelo de partículas”, que está ilustrado na figura ao lado.



Após a leitura e a análise das informações contidas na ficha, fiz uma série de perguntas aos estudantes (vide anexo A.3). Mais uma vez, recorro a um quadro para exibir uma síntese categorizada dos pontos de vista apresentados pelos estudantes e utilizo transcrições para ilustrar o modo como esses pontos de vista se relacionam com o conteúdo de cada proposição apresentada no quadro V.5.

Quadro V.5- Respostas e opiniões dos estudantes na 2ª fase da entrevista final		
PROPOSIÇÃO	CONCORDA PLENAMENTE	PENSA DIFERENTE
1. Não se faz um experimento ingenuamente para observar se “alguma coisa interessante pode vir a ocorrer”, mas sempre para testar ou avaliar uma idéia.	$\frac{11}{14}$	$\frac{03}{14}$



2. A natureza costuma resistir às idéias que criamos a seu respeito. Por isso, experimentos com resultados inesperados muito nos ensinam sobre o comportamento do mundo natural.	$\frac{12}{14}$	$\frac{02}{14}$
--	-----------------	-----------------

De forma similar ao que havia ocorrido na primeira fase da entrevista, uma análise geral dos *scores* do quadro V.5 permite encontrar, novamente, uma banda do perfil epistemológico da maioria dos estudantes que apresenta uma concepção sofisticada da função da experimentação na produção das ciências. Assim, apenas três estudantes apresentaram um ponto de vista diferente daquele associado à primeira proposição exposta no quadro V.5. Começarei a expor o modo como a dupla constituída pelas estudantes A09 e A15 interagiu com a idéia de que os experimentos são oportunidades para coordenar teorias e evidência e como essa idéia foi exposta a elas. Afirmar que a função do experimento no exemplo apresentado pela ficha era a de resolver uma disputa entre duas teorias e, então, perguntei:

E01 ⇒ P: As experiências, em geral, são assim? Uma experiência tem sempre essa função ou a experiência é usada mais para outros casos, para um outro tipo de uso?

E02 ⇒ A15: Eu acho que é para todo tipo de uso. Acho que naquela época tinha muita competição, hoje eu não sei. Acho que naquela época, todo mundo queria ser o melhor, o melhor cientista...

E03 ⇒ A09: Ele queria fazer a melhor experiência, aí pra... para ver quem faz a experiência melhor, e aí todo mundo faz a mesma para ver qual é a melhor.

E04 ⇒ A15: Mas, hoje eu acho que não. Pode até existir, mas, por exemplo, a cura do câncer que a gente tá procurando: tá todo mundo procurando junto, todo mundo junto tentando achar. Tudo bem que um quer ser...

E05 ⇒ P: Vocês estão dizendo o seguinte: na época do Newton, a ciência era uma atividade mais de pessoas, mais individual. E agora é mais de grupo, de equipes, é isso? Mas, qual seria a função de uma experiência, de um experimento? Com que objetivo os cientistas fazem os experimentos, se não é para escolher entre duas idéias, ou entre duas explicações. Se não é para isso, o que leva um cientista a fazer um experimento?

E06 ⇒ A15: Descobrir, desvendar os mistérios da ciência.

E07 ⇒ P: Mas como é que o cientista decide qual a experiência que ele vai fazer, como ele cria a experiência? Vocês acham que a experiência surge naturalmente, quer dizer, é só



observar como a natureza está funcionando e vem a idéia de qual experiência deve ser feita?

E08⇒A15: Eu acho que ele vai observando, ou então ele vai tentar mesmo, até ele descobrir, para depois ele...

E09⇒P: Mas, não tem que ter alguma teoria, alguma explicação para ser testada?

E10⇒A09: É, ele tem que achar alguma coisa antes.

E11⇒P: Ele cria uma explicação provisória e quer saber se a explicação está certa?

E12⇒A15: É.

E13⇒A09: É, ele faz uma teoria, e depois ele quer testar para ver se dá certo.

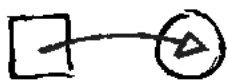
E14⇒P: Pode não ter disputa entre teorias, mas tem que ter pelo menos uma teoria, porque senão não tem jeito de criar a experiência?

E15⇒A09: É.

E16⇒A15: É, tá certo.. (risos...)

Em E02, a estudante A15 afirma que o experimento serve “*para todo tipo de uso*”, ao discordar da idéia de que os experimentos são concebidos, necessariamente, para resolver disputas entre idéias e conjecturas que devem ser confrontadas e avaliadas (conteúdo da primeira proposição do quadro V.5). A oposição desta estudante a esse ponto de vista parece se basear na idéia de que, atualmente, as disputas entre cientistas são menos freqüentes do que na época em que ocorreu a disputa entre Newton e Hooke.

Em E05, eu faço um esforço para voltar o foco da discussão para a função da experimentação e sobre os processos que levam à concepção de um experimento, interrompendo a conversa sobre o papel da disputa e da cooperação na produção das ciências. Considero legítimo esse tipo de intervenção. Com ela, é claro que perdi oportunidades para conhecer as idéias de A15 acerca da evolução do papel das controvérsias e dos processos de cooperação na história das ciências, mas há que se lembrar que as entrevistas foram feitas com horário marcado, que os estudantes haviam sido retirados da sala de aula e que isto me fez ficar bastante atento aos objetivos que eu havia concebido para cada fase da entrevista.



Em E06 e em E08, sob efeito das enunciações que produzi em E05 e em E07, A15 apresenta uma visão ingênua ou pelo menos difusa do papel da experimentação ao dizer que os experimentos servem para *descobrir, desvendar os mistérios da ciência* (E06) e que o cientista *vai observando, ou então ele vai tentar, até ele descobrir* (E08).

Em E09, eu nitidamente ultrapasso aquilo que chamei anteriormente de uma linha tênue que separa as intervenções destinadas a colocar as imagens de ciências dos estudantes em movimento daquelas que simplesmente forçam os estudantes a apresentar pontos de vista que agradam ao entrevistador. Fiz referência a essa linha tênue ao comentar um trecho da entrevista com essa mesma dupla de estudantes e que corresponde às enunciações E31 a E47 transcritas e apresentadas na análise dos dados da primeira fase da entrevista.

O aspecto mais problemático da intervenção que faço em E09 – transcrito na análise da segunda fase da entrevista - é o fato de que com ela eu interrompo a fala da estudante E15, o que demonstra uma inquietação ou uma insatisfação subjacente com o ponto de vista que a estudante começara a construir, além de uma insistência em vincular a experimentação à avaliação de idéias, conjecturas ou teorias. Essa insistência fica mais nítida, ainda, nas intervenções que realizo em E11 e em E14. Isso é algo muito menos sutil que alterações no tom de voz e tende a influenciar a conduta dos estudantes durante a entrevista por mais assertivos e confiantes que eles possam ser em relação aos seus pontos de vista iniciais.

É bem possível que a percepção da minha inquietação e da interrupção que promovi na fala da estudante A15 tenham provocado a reação da estudante A09, que parece produzir, em E10, uma fala “contaminada” pela minha insistência em afirmar que não se faz um experimento ingenuamente para observar se “alguma coisa interessante pode vir a ocorrer”, mas sempre para testar ou avaliar uma idéia.

Tamanha insistência, obviamente, compromete a “concordância” posterior que as estudantes A09 e A15 manifestaram em relação a esse ponto de vista. Não é por outra razão que, ao escutar a fita e perceber que havia “forçado a adesão das estudantes”, eu acabei por excluir, inicialmente, as estudantes A09 e A15 do grupo que concordou plenamente com o ponto de vista expresso na primeira proposição do quadro V.5.



Na continuidade do diálogo com as estudantes, que transcrevo a seguir, parece que mesmo exagerando na intenção de instigar o raciocínio epistemológico das estudantes, e de certo modo “coagindo-as” a adotar um determinado ponto de vista, eu contribuo para promover um avanço autêntico da compreensão da estudante A09 acerca da natureza da experimentação. Essa estudante extrapola as informações e raciocínios embutidos em minhas intervenções e amplia a discussão sobre o processo de experimentação, enriquecendo-o com um elemento novo.

E17⇒P: Como é que seria, então, a melhor maneira de falar como a experiência é criada, eu não quero que vocês expliquem do meu jeito não.

E18⇒A15: Ah, professor, deixa eu ver...(pausa...)

E19⇒A09: Professor, (eu acho que) deve ser isso mesmo, porque olha só: tem que ter uma teoria... Por exemplo, igual a gente tá falando da cura do câncer. Não se sabe o que pode ser a cura do câncer. Mas, você vai testar para ver se isso pode ser, você acredita que aquilo pode ser. Então, você vai inventar um jeito para poder provar que é isso, ou não.

E20⇒P: Então, é basicamente isso mesmo, não é? Observa-se quando se está preocupado em descobrir alguma coisa. E aí você cria uma explicação que você acha que pode ser...

E21⇒A09: Mas pode acontecer ao acaso também, não pode?

E22⇒P: Como seria isso?

E23⇒A09: Sei lá, ele (o cientista) está fazendo uma experiência qualquer, e ele descobre que pode ser bom.

E24⇒P: Ele descobre outra coisa?

E25⇒A15: É.

E26⇒A09: É, vamos supor: usa uma cobaia, um ratinho lá. E aí vai que o ratinho tem problema de coração e o ratinho melhora, sei lá.

E28⇒P: Ele está querendo, por exemplo, testar um shampoo no ratinho, para ver se cresce o cabelo do ratinho.

E29⇒A15: É.

E30⇒P: E aí ele descobre que o ratinho fica todo fofo.

E31⇒A15: É.

E32⇒A09: É



E33⇒P: Então, esse shampoo seria um exemplo de descoberta ao acaso?

E34⇒A15: Isso, ele faz uma coisa e acaba que descobre outra.

Em E19, percebe-se que a estudante A09 fez mais do que aderir cegamente ao ponto de vista sobre a experimentação que eu estava a lhes “impor”. Ela resgata um tema que a própria dupla havia proposto na primeira fase da entrevista analisada neste capítulo e o utiliza para argumentar a favor da primeira proposição apresentada no quadro V.5. Sua lembrança do processo de “descoberta ao acaso” não aparece como um contraponto a essa adesão, mas como uma ilustração de um caso peculiar onde um resultado surpreendente é alcançado no desenvolvimento de um experimento concebido para testar ou avaliar uma determinada idéia que, a princípio, não tinha relação com o resultado que o experimento acabou por apresentar.

Essa análise me fez incluir A09 entre os estudantes que vinculam a experimentação à avaliação de idéias, conjecturas ou teorias, mas eu mantive A15, entre os estudantes que “pensam diferente”, pois a estudante A15 só manifestou impressões mais ingênuas acerca da experimentação em E06 e em E08. Além disso, foi A09 e não A15 quem assumiu meu ponto de vista para depois extrapolá-lo e elaborar suas próprias conclusões a partir dele. Ao incluir A09 na lista de estudantes que “concordam plenamente” com a proposição de número um, eu estou assumindo a perspectiva de que as imagens das ciências dos estudantes são dinâmicas e surgem de trocas ou interações nas quais outros sujeitos apresentam e negociam suas próprias imagens acerca da natureza das ciências.

Seguindo esse mesmo critério, eu poderia voltar ao quadro V.3, na linha em que eu apresento as posições dos estudantes em relação à primeira proposição, para aumentar em 14/14 o *score* que indica plena concordância com a idéia de que a explicação produzida por Newton para o fenômeno da dispersão contém elementos extraídos da imaginação.

A outra dupla que, junto com a estudante A15, apresentou uma visão mais ingênuo do papel da experimentação nas ciências é composta pelas estudantes A03 e A06. Essa dupla havia concordado completa e espontaneamente com todas as proposições que foram tratadas na primeira fase da entrevista (vide quadro V.3). Com essa outra dupla, eu não assumi a mesma



postura impositiva que eu havia apresentado na entrevista com a dupla anterior (A09 e A15). Vejamos, então, como aconteceu minha interação com as estudantes A03 e A06:

E35 ⇒ P: (...) Sempre é assim? Um experimento está sempre envolvido com uma disputa entre duas idéias?

E36 ⇒ A06: Às vezes pode ter mais de uma idéia. Às vezes também a pessoa pode nem ter a idéia e está fazendo só para ver se é aquilo mesmo. Ou às vezes ela não tem idéia do que seja, e está fazendo aquilo para ver se dá uma idéia, e que explicação pode ter.

E37 ⇒ P: Mas se ele não tem idéia, por que razão ele vai fazer o experimento? Para fazer um experimento é preciso selecionar os materiais adequados, organizar os materiais, não é? Como é que a gente consegue preparar todas essas coisas sem uma idéia do que quer fazer?

E38 ⇒ A03: É, pode ser... (demonstrando falta de interesse em persistir no assunto).

E39 ⇒ A06: (permanece em silêncio sem reagir à provocação que fiz em E37).

E40 ⇒ P: Ah, então tá. Bom, basicamente é isso.

A estudante A06, em E36, apresenta uma concepção de experimentação que teria uma função meramente exploratória, e do tipo tentativa-e-erro, com pouca ou nenhuma sustentação teórica. Essa concepção me remete à caracterização que Kuhn (1977) faz da tradição baconiana e sua tendência a realizar experiências para “produzir novidades”, mais do que para responder a questões suscitadas por especulações ou suposições de natureza teórica. Por outro lado, é também próxima da forma como a experimentação às vezes é representada em livros didáticos, paradidáticos e na mídia.

Vejamos agora o trecho de uma entrevista em que os estudantes apresentam um ponto de vista condizente com a primeira proposição do quadro V.5. Trata-se, nesse caso, da dupla A11 e A17, que, como tive a oportunidade de dizer várias vezes, apresentam, em linhas gerais, as imagens mais sofisticadas sobre a atividade científica dentre o conjunto de estudantes entrevistados.

E41 ⇒ P: Ficou claro para vocês que havia uma disputa entre duas explicações, entre duas idéias sobre a luz?

E42 ⇒ A11: Ficou!



E43 ⇒ P: O Hooke achava que parte das cores era o prisma que criava, e o Newton achava que o prisma não criava nada, só separava.

E44 ⇒ A17: E ele (Newton) provou fazendo essa experiência.

E45 ⇒ P: Essa experiência foi criada para resolver uma disputa entre duas idéias, concordam? Vocês acham que nas ciências isso é raro ou, geralmente, os experimentos são feitos para resolver uma disputa entre idéias ou explicações?

E46 ⇒ A17: Eu acho que é sempre assim, porque se não tiver ninguém para competir com a idéia do outro, sempre vai continuar a mesma coisa. E aí, se ele achar uma outra pessoa com uma outra idéia melhor, aí ele vai ter que provar. Desse jeito as idéias vão melhorando.

E47 ⇒ P: A existência de mais de uma idéia, então, é uma coisa interessante?

E48 ⇒ A11 e A17 (juntos): É!

E49 ⇒ P: Então tá. Se as experiências geralmente têm esse objetivo, de avaliar uma idéia, significa que elas não têm outros objetivos? Elas têm algum outro objetivo, existe alguma outra coisa que pode levar um cientista a fazer uma experiência?

E50 ⇒ A17: A pessoa, por ser cientista, deve ser muito curiosa. Então ela deve querer...

E51 ⇒ A11: Descobrir coisas...

E52 ⇒ A17: Descobrir coisas novas.

E53 ⇒ P: E como é que se monta uma experiência baseada só na curiosidade? Como é que o cara decide que materiais ele vai usar? É a curiosidade que orienta ele em tudo?

E54 ⇒ A17: É a imaginação.

E55 ⇒ P: O que seria a curiosidade nesse caso?

E56 ⇒ A17: A imaginação do cara também.

E57 ⇒ P: Eu sei, mas a curiosidade é o que, é uma pergunta que ele tem que responder? O que é?

E58 ⇒ A17: Curiosidade..., assim..., por exemplo...

E59 ⇒ A11: Ele pensa, ele é curioso, tipo: “nossa, eu queria fazer isso...”, ou “será que...”, tipo um bicho: ele quer abrir para ver se dentro do bicho as coisas são como ele pensa.

E60 ⇒ P: Então, no “será que..”, ele cria uma idéia sobre o que tem lá dentro.

E61 ⇒ A11: É.

E62 ⇒ A17: Ele vai inventando.

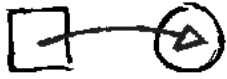


Em E46, o estudante A17 defende a fecundidade da existência de várias hipóteses, conjecturas e explicações e vê essa proliferação de teorias como algo saudável e desejável. Trata-se de um ponto de vista cuja identificação e investigação estava prevista para a terceira fase da entrevista, que será discutida mais adiante. Nessa oportunidade terei melhores condições de justificar porque considero a manifestação deste ponto de vista como uma evidência importante da sofisticação do raciocínio epistemológico dos estudantes.

Outra evidência que atesta a riqueza das imagens de ciências dos estudantes A11 e A17 pode ser encontrada na seqüência de enunciações que se inicia em E50. Provocados sobre a possibilidade de existirem outros objetivos para a experimentação, além da avaliação do mérito relativo de duas idéias ou teorias, eles recorrem à idéia que os experimentos podem ser motivados pelo desejo de “descobrir coisas novas”. Todavia, diferentemente do que havia acontecido com a estudante A15, a experimentação destinada a se descobrir “coisas novas” não está associada à idéia de “ir observando até descobrir”, mas, ao contrário, está baseada na idéia de se ir “imaginando e especulando” para poder depois verificar os possíveis fundamentos ou a fecundidade da conjectura concebida por meio desse processo.

O trecho a seguir mostra como se deu a adesão dos vários estudantes à idéia de que a natureza costuma resistir às idéias que criamos para compreendê-la e, por isso, experimentos com resultados inesperados muito nos ensinam sobre o comportamento do mundo natural. A entrevista que escolhi para ilustrar essa adesão revela não apenas uma concordância com esse ponto de vista, mas também uma referência bastante clara ao trabalho feito pelo professor de ciências em sala de aula. Considero essa referência como uma evidência da influência do trabalho realizado pelo professor na evolução das imagens de ciências e dos raciocínios epistemológicos dos estudantes. Referências ao trabalho feito em sala de aula surgiram na interação com diversas duplas de estudantes em diferentes fases da entrevista, como teremos a oportunidade de ver na continuidade deste capítulo.

E63 ⇒ P: Pois é, e quando uma experiência dá o contrário do que a gente espera? Na sala de aula e no caso dos cientistas, isso é muito ruim?



E64 ⇒ A08: Não, porque ele pode... ele pode, assim, é melhor... realmente... acho que é porque.. porque ele tava vendo só o modelo que ele tava a fim de explicar... (inaudível...). Aí ele vai poder estudar né? Para ter outro modelo para explicar melhor.

E65 ⇒ P: Então, no caso, não existe um mau resultado. O que “der errado”, entre aspas, “dá certo”, entre aspas?

E66 ⇒ A14: Ele vai ver que aquele jeito que ele fez não deu o que ele pensava. Então, ele vai fazer de várias maneiras para poder chegar na resposta que ele achava que é a certa.

E67 ⇒ P: E na sala de aula? Isso já aconteceu com vocês?

E68 ⇒ A14: Uma vez o professor deu uma experiência que era assim: ele dava várias experiências e, antes de fazer a experiência, ele pediu para a gente pensar o que ia acontecer.

E69 ⇒ A08: Não, não....

E70 ⇒ A14: É sim, das partículas mesmo, que era a água e o óleo, para ver se ficavam juntos ou separados, se as partículas iam se misturar ou não. Aí ele chegou e falou: “Olha, primeiro vocês escrevem o que vocês pensam que vai dar certo ou não, aí depois vocês fazem a experiência e vêem o que deu, aí vocês comparam as duas respostas”.

E71 ⇒ P: Vocês acham ruim também quando está errada a idéia de vocês?

E72 ⇒ A08: Não, eu achei que foi melhor, porque a gente pôde... assim... pensar antes de... ter feito a experiência. A (inaudível...) não se desfaz.

E73 ⇒ P: Então, tanto no caso da sala de aula, quanto na atividade científica... Tanto num caso como no outro, quando a experiência “dá errado” tem como aproveitar?

E74 ⇒ A08: É, porque na hora... A gente tem que pensar mais ainda para fazer outra... Outro modelo.

E75 ⇒ A14: Tem que estudar mais ainda...

E76 ⇒ A08: Para poder explicar o que você quer explicar.

Com a dupla A09 e A15, ao seguir o protocolo da entrevista, fiz intervenções muito similares àquelas que podem ser encontradas em E63, E65 e E67. Infelizmente, um problema com a gravação da entrevista não permitiu resgatar o que as estudantes A09 e A15 responderam, exatamente. Dos fragmentos de que disponho, percebo que essas estudantes elaboraram muito pouco a partir da questão que eu lhes propus, bem como não chegaram a desenvolver a idéia de



que “experimentos com resultados inesperados muito nos ensinam sobre o comportamento do mundo natural”. Essa é a razão pela qual eu coloquei essa dupla de estudantes na coluna “pensa diferente”, quando avalei seu posicionamento em relação à segunda proposição do quadro V.5.

Houve ocasiões nas quais eu não pedi que os estudantes se imaginassem, em sala de aula, em uma situação semelhante ao dos cientistas confrontados com resultados experimentais inesperados. Esse foi o caso da entrevista com as estudantes A02 e A16 da qual extraio a pequena transcrição abaixo.

E77 ⇒ P: Se o cientista faz um experimento, acha que vai observar uma coisa e dá tudo ao contrário. Nesse caso, será que isso é um péssimo resultado, ele tem que ficar frustrado com isso, ou pode aprender alguma coisa com isso?

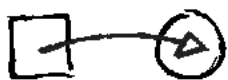
E78 ⇒ A02: Ele vai descobrir. É até bom que ele descobre o jeito que ele devia raciocinar. Pode ser até o começo para um outro raciocínio, mas ele vai descobrir realmente como é.

E79 ⇒ P: O cientista acha que as coisas funcionam de um jeito e aí o experimento fala: “Não, não funciona!”. Então, de qualquer jeito o experimento responde à pergunta que levou o cientista a fazer o experimento?

E80 ⇒ A02 e A16: Responde!

A transcrição acima mostra uma grande aproximação entre o ponto de vista das estudantes A02 e A16 e o ponto de vista apresentado na segunda proposição do quadro V.5. Isso, certamente, não significa que essas estudantes ou seus colegas que também aderiram a esse ponto de vista deixarão de exibir comportamentos de “negação” ou de resistência a resultados experimentais contra-intuitivos ou avessos às suas expectativas iniciais. Tais comportamentos, identificados por Chinn e Brewer (1993), constituem uma reação bastante esperada e correspondem àquilo que Piaget (1976) afirmou ser uma consequência do caráter autoconservativo das estruturas cognitivas e das teorias que elas sustentam como forma de interpretar e significar o mundo natural.

Ainda assim, é razoável admitir que a compreensão dos estudantes pesquisados sobre a capacidade da natureza resistir às nossas idéias iniciais os coloquem em uma posição de maior abertura para dialogar criticamente com a enorme série de evidências contra-intuitivas que as ciências naturais desenvolveram para sustentar teorias igualmente contra-intuitivas acerca do



comportamento do mundo natural. Em outras palavras, trata-se de uma atitude diante do conhecimento que pode facilitar a interação dos estudantes com as idéias das ciências em ambientes de aprendizagem dirigidos pela premissa de que aprender ciências é aprender a coordenar teorias e evidências. Mais uma vez, a expressão mais sofisticada desta atitude ficou a cargo dos estudantes A11 e A17, como veremos no trecho a seguir.

E81 ⇒ P: Será que tem situações em que o cara faz experiência e que dá o contrário do que ele pensava?

E82 ⇒ A11: Tem.

E83 ⇒ A17: Tem, dá errado, e aí...

E84 ⇒ A11: É porque ele usa a imaginação a maioria das vezes. Aí, ele usando a imaginação, ou pode dar certo, ou errado.

E85 ⇒ A17: Aí ele tem que mudar o pensamento dele.

E86 ⇒ P: Pois é, mas quando dá errado, o cara fica desesperado, frustrado, ou ele pode tirar uma coisa positiva da experiência?

E87 ⇒ A17: Ele tem que saber porque aconteceu aquilo. Então, como que deve ser.

E88 ⇒ P: Mas é bom ou ruim dar errado? Dar errado é ruim, não é?

E89 ⇒ A17: De vez em quando é ruim, e de vez em quando é bom porque ele pode descobrir outras coisas além.

E90 ⇒ P: Então, não é uma coisa, assim, em que não se aproveita nada?

E91 ⇒ A17: Não.

E92 ⇒ P: Tem o que se aproveitar?

E93 ⇒ A17: É.

E94 ⇒ A11: É.

E95 ⇒ P: Então, tem que mudar a idéia e perseguir uma outra idéia?

E96 ⇒ A11: É.

E97 ⇒ P: E essa outra idéia pode dar mais, o quê? Mais frutos ou alguma coisa assim?

E98 ⇒ A11: É, pode melhorar.

E99 ⇒ P: Entendi. Na sala de aula já aconteceu com vocês, em uma experiência, de vocês acharem que ia acontecer alguma coisa e ter dado diferente?



E100⇒A17: Ah, isso acontece o dia inteiro.

E101⇒A11: O dia inteiro.

E102⇒P: E para aprendizagem de vocês? Para a ciência, tem um lado bem positivo, porque a cara pensa que vai acontecer alguma coisa, aí acontece diferente. Quer dizer que o que ele tinha imaginado não era tão bom assim. Na sala aula tem alguma utilidade, ou dá para aprender alguma coisa?

E103⇒A11: Ham, ham, porque a gente faz a experiência, e aí, se der errado, a gente vai tentar fazer o certo, igual o caso...

E104⇒A17: ... ele dá uma explicação..

E105⇒A11: É, ele dá uma explicação.

E106⇒P: Você pode aprender quando você faz experiência e dá algum resultado diferente?

E107⇒A11: É, você pode aprender também outras coisas também, e depois pode ir melhorando.

E108⇒A17: E dentro disso, você vai tirando idéias.

E109⇒A11: E vai tentar saber o porquê também.

E110⇒P: Entendi. Te deixa curioso, te abre a cabeça para aprender outras coisas? (Após receber gestos com resposta positiva à pergunta) Entendi. Legal.

V.4- A escolha entre teorias

Na entrevista inicial, não investiguei as imagens dos estudantes sobre o processo de escolha e fortalecimento de teorias nas ciências. Abordei, todavia, outros aspectos do processo de validação do conhecimento científico, relacionados ao teste empírico de explicações ou teorias (terceira fase da 1ª entrevista) e ao processo de produção de um fato científico (quarta fase da 1ª entrevista).

Na entrevista final, decidi investigar a opinião dos estudantes sobre a possibilidade de duas teorias diferentes serem usadas para interpretar um mesmo conjunto de dados. Ao fazer isso, queria conhecer os processos e critérios que, na opinião dos estudantes, poderiam ser usados pelos cientistas para sustentar a crença na superioridade de uma teoria ou, ao contrário, para ajudar o cientista a tomar a decisão de abandoná-la e substituí-la por outra.



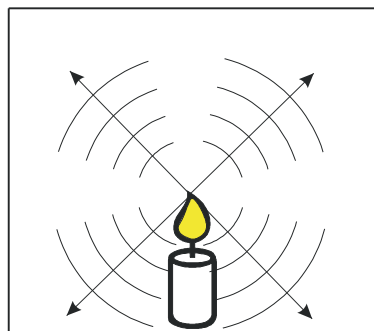
Para fazer essa investigação utilizei a ficha que reproduzo a seguir com um texto extraído de uma atividade utilizada em sala de aula no segundo trimestre letivo de 2001. Após a leitura da ficha fiz algumas perguntas aos estudantes (vide questões propostas aos estudantes no anexo A.3).

**Quadro V.6- Um exemplo de disputa entre teorias:
Duas explicações diferentes sobre a natureza da luz**

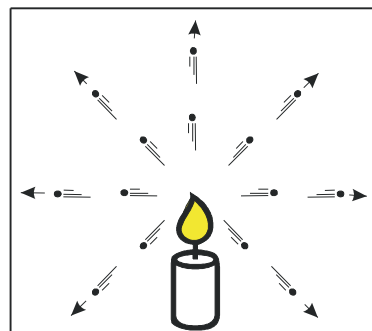
Antes de Newton, muitos outros cientistas já haviam publicado trabalhos relatando experiências e teorias sobre a luz e as cores. O próprio Newton publicou mais de um trabalho sobre o tema. Passaram-se 32 anos entre o primeiro trabalho que Newton publicou nessa área (1672) e sua obra “definitiva” sobre o assunto (1704).

O trabalho publicado em 1672 foi alvo de várias críticas. Dentre os principais críticos desse trabalho, destacamos os físicos Robert Hooke e Christian Huygens.

Um dos motivos de discordância entre Newton, Hooke e Huygens era a idéia mantida por Newton de que a luz é constituída por corpos microscópicos, tal como ilustrado na figura abaixo. Robert Hooke, assim como Christian Huygens, acreditava que a luz era constituída por pequenas vibrações produzidas pela fonte luminosa e distribuídas como ondas no ambiente ao seu redor.



Modelo sobre a luz proposto por Huygens: a luz é constituída por pequenas vibrações produzidas pela fonte luminosa; essas vibrações espalham-se pelo ambiente na forma de ondas.



Modelo sobre a luz proposto por Newton: a luz é constituída por pequenas partículas produzidas pela fonte luminosa; essas partículas podem atravessar objetos transparentes.

As teorias para explicar o comportamento da luz - formuladas por Newton e Huygens - são muito diferentes entre si. No entanto, ambas são bastante estruturadas e dão conta de explicar uma grande quantidade de fenômenos. Além disso, não havia na época de Newton e Huygens nenhuma experiência ou evidência que pudesse levar um cientista a decidir racionalmente a favor de uma das duas teorias.



O sucesso das teorias de Newton em outras áreas do conhecimento, em particular na mecânica, fez com que sua teoria sobre a luz fosse mais prestigiada que a de Huygens e influenciasse a pesquisa durante todo o século seguinte à sua morte.

O texto apresentado na ficha destaca a inexistência de experimentos conclusivos que pudessem funcionar como critério de restrição e escolha entre duas teorias distintas que foram concebidas para tratar da natureza e do comportamento da luz: a teoria corpuscular de Isaac Newton e a teoria ondulatória de Christian Huygens.

O conteúdo do texto, a maneira como as perguntas foram formuladas, assim como os pontos de vista e raciocínios epistemológicos apresentados pelos estudantes deram origem a uma série de proposições e categorias de análise sumarizadas no quadro V.6. Irei explorá-lo do mesmo modo que fiz com os quadros semelhantes apresentados nas duas seções anteriores deste capítulo.

Quadro V.7- Respostas e opiniões dos estudantes na terceira fase da entrevista		
PROPOSIÇÃO	CONCORDA PLENAMENTE	PENSA DIFERENTE
1. O recurso à autoridade ou ao prestígio como critério de escolha entre teorias em disputa é algo prejudicial às ciências e, por essa razão, tal recurso deve ser evitado.	$\frac{14}{14}$	$\frac{0}{14}$
2. Nas ciências, é relativamente comum a existência de teorias distintas concebidas para explicar um mesmo conjunto de fenômenos.	$\frac{10}{14}$	$\frac{04}{14}$
3. Independentemente de ser ou não comum, a existência de várias teorias em disputa é algo que em muito contribui para o desenvolvimento das ciências.	$\frac{12}{14}$	$\frac{02}{14}$
4. A coexistência de teorias em disputa é algo transitório. A tendência é a de que a teoria que se mostra em maior concordância com as evidências disponíveis vença a disputa.	$\frac{14}{14}$	$\frac{0}{14}$



Como se pode deduzir a partir da leitura do quadro, todos os estudantes consideram que é prejudicial ao desenvolvimento das ciências recorrer à autoridade ou ao prestígio de cientistas ou grupos de cientistas na hora de avaliar o mérito relativo de teorias em disputa. Isso pode ser considerado a expressão de um comportamento típico da adolescência que tende a contestar a autoridade à priori e a reivindicar o direito de expressão. Vejamos um trecho que mostra a opinião dos estudantes em relação a essa questão.

*E01 ⇒ P: Bem, antes de virar a fita do gravador eu estava perguntando para vocês o seguinte...
Eh, vocês me ajudam a lembrar?*

E02 ⇒ A10: Se tem outro jeito de...

E03 ⇒ P: Ah é, se tem vários cientistas disputando qual é a melhor explicação, como é que se faz para descobrir qual é a melhor. Aí A18 falou que é através da realização de experiências. Então, fazer experiências é o critério, mas não corre o risco de....

E04 ⇒ A18: (interrompendo a fala do entrevistador e resgatando a questão do critério) Ah, e também olhar nas experiências passadas para ver qual acertou mais, tipo assim: o Newton fez um monte de experimentos que deram certo; o próximo deve estar certo, mais do que o do outro cara.

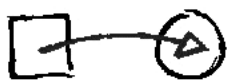
E05 ⇒ P: Então, esse peso da autoridade é uma coisa legítima, não é uma coisa errada. O cientista que tem uma história de sucesso, então, é mais razoável escutá-lo, dar um valor maior ao que ele disser do que uma pessoa que está começando a carreira. Então, isso pesa, a autoridade pesa, e é certo pesar? É isso?

E06 ⇒ A18: Não, não é certo!

E07 ⇒ P: Não é certo? (em tom de surpresa)

E08 ⇒ A18: Não, porque todas as pessoas têm direito de falar sobre as teses delas e o que elas pensam sobre isso.

A estudante A18 foi uma das poucas que admitiu, em algum momento, ser legítimo recorrer ao currículo e à autoridade do cientista na avaliação do mérito das explicações ou teorias que ele propõe. Em minha opinião, é isso o que sugere a enunciação E04. A estudante, contudo, não sustentou esse ponto de vista. Um pouco mais adiante, em E08, ela apresentou, basicamente, o mesmo argumento de todos os seus outros colegas para alegar que não considerava correto utilizar o critério da autoridade no contexto de uma disputa entre duas ou mais teorias.



Provavelmente, os estudantes consideram que tal recurso fere o direito que deve ser dado a todo o cientista de apresentar idéias e de ser ouvido por uma platéia interessada e qualificada.

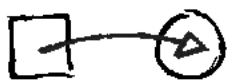
Não irei me deter por demais na análise desse ponto, mas considero interessante especular um pouco sobre a tensão que julgo existir entre, por um lado, os valores cognitivos associados à crença na ilegitimidade de se recorrer à autoridade no contexto da disputa entre teorias e explicações e, por outro lado, as características da cultura escolar e da prática pedagógica atual na educação em ciências.

Em geral, a ciência escolar não coloca o estudante em contato com celeumas que historicamente estiveram presentes na produção dos fatos e teorias que a escola veicula de maneira simplificada e caricatural. O resgate dessas disputas é, efetivamente, algo difícil de ser feito e a tentativa de reduzir a complexidade dos debates envolvidos na produção das ciências para apresentar relatos históricos desses debates gera resultados que jamais estarão a salvo de controvérsias.

Por outro lado, a ciência escolar também não costuma estar centrada na análise e avaliação de evidências, de modo que a presença do discurso dialógico em sala de aula é, normalmente, reduzida. Em seu lugar, prevalece o discurso de autoridade e as idéias e fatos científicos a serem aprendidos e compreendidos pelos estudantes costumam ser sustentados por afirmações tais como “pode-se provar que”, “as experiências comprovam que”, “em tal época ou em tal circunstância foi descoberto pelos cientistas que”, etc.

No período de dois anos, enquanto o grupo de estudantes que eu investiguei cursava a sétima e a oitava série do ensino fundamental, o professor de ciências cujo trabalho eu acompanhei vivenciou, em diversas oportunidades, uma prática pedagógica centrada na coordenação entre teorias e evidências⁵⁴. Após terminar a oitava série, o grupo de estudantes que eu entrevistei estava prestes a ingressar no ensino médio. Pergunto-me, então: que impacto esse ingresso teria para o desenvolvimento do raciocínio epistemológico desses estudantes, considerando que a

⁵⁴ Devido ao desenho de minha pesquisa não tenho como avaliar todo o trabalho que foi realizado pelo professor. A esse respeito, possuo dados do período de três meses em que eu estive em sala de aula, assim como dados indiretos obtidos por meio da entrevista final que realizei com o professor e com os estudantes.



grande maioria das escolas de ensino médio em nosso país apresenta uma abordagem das ciências naturais que é maçante, fragmentada e pouco dialógica?

Feito esse comentário, convido o leitor a voltar a me acompanhar na análise do modo como os estudantes manifestaram os pontos de vista sumarizados através das outras proposições apresentadas no quadro V.7. Uma leitura do quadro permite constatar que, em relação à segunda proposição, dez entre quatorze estudantes consideram relativamente comum a existência de teorias distintas concebidas para explicar um mesmo conjunto de fenômenos. Em outras palavras, eles consideram que o caso retratado na ficha seria antes regra do que exceção. Não perguntei aos estudantes as razões que os levaram a considerar a disputa entre teorias como algo comum, mas acho difícil atribuir essa opinião ao currículo de ciências. Não o fiz, porque estava mais interessado em investigar como os estudantes concebiam o processo de disputa entre teorias.

Isso nos leva à análise do *escore* da terceira proposição do quadro V.7. Essa análise nos mostra que, em sua grande maioria, os estudantes rejeitam o argumento de autoridade porque valorizam a crítica e o confronto entre idéias como fonte básica de desenvolvimento das ciências. Vejamos um trecho de entrevista que ilustra esse posicionamento.

E09 ⇒ P: Esse negócio de ter opiniões diferentes sobre como explicar as coisas, seria uma coisa boa ou ruim? Até certo ponto, ajuda ou atrapalha?

E10 ⇒ A16: Acho que ajuda, porque...

E11 ⇒ A02: (interrompendo) Ajuda porque eles vão tem mais modos de descobrir... Se só o Newton chegasse (inaudível) ou se só o Huygens (inaudível)...

E12 ⇒ A16: Se o Huygens chegasse com a teoria dele e a teoria dele fosse verdadeira, para ele seria, e para os outros não. A gente nunca sabe se a teoria...(pausa) Ah, seria até legal.

E13 ⇒ P: Se tivesse só a autoridade do cara, aí seria pior, não é? Não haveria como contestá-lo.

E14 ⇒ A16: E aí você passa a acreditar numa coisa que não seria verdadeira. A gente não sabe qual está certa. Mas pelo menos a gente tem duas coisas. Se tivesse só uma, a gente não estaria nem perto da verdadeira.

E15 ⇒ P: Quer dizer, o conflito de idéias pode ajudar. Cada cientista vai refinando sua idéia para poder responder às críticas do outro, e aí vai sofisticando essa idéia?

E16 ⇒ A16: Hum, hum.



Em um ponto mais à frente nessa mesma fase da entrevista, as estudantes A02 e A16 voltaram a manifestar esse mesmo ponto de vista ao serem questionadas sobre os recursos que poderiam ser usados para se resolver uma disputa entre teorias.

E17 ⇒ P: Nesse caso aqui, o que resolveu foi o prestígio do Newton mesmo. Mas tem alguma outra maneira de escolher, ou não vai ter jeito, vai ser sempre uma questão de opinião ou de autoridade, de quem é mais influente?

E18 ⇒ A16: Sei lá, acho que eles deviam usar a experiência... para provar qual está certa.

E19 ⇒ A02: Tem aquele tanto de teoria. Uma pode dar certo, mas a outra também pode dar certo. Eles poderiam também... (inaudível) mais de uma teoria para comprovar.

E20 ⇒ P: Tem um experimento que as duas explicam, mas é possível que se encontre um experimento que acaba mostrando que uma é mais forte do que a outra?

E21 ⇒ A02: E em uma, eles podem encontrar uma coisa mais nova, descobrir outra coisa, porque se eles ficarem só em uma, eles não vão ter a oportunidade de descobrir outra coisa.

E23 ⇒ A16: É, por mais que a teoria possa estar errada, nessa experiência pode descobrir uma coisa que mostre que talvez nenhuma das duas esteja certa.

Quando o instrumento de pesquisa foi concebido, eu imaginava que o posicionamento dos estudantes em relação à questão da disputa entre teorias permitiria que eu avaliasse sua compreensão acerca da natureza provisória e conjectural do saber produzido pelas ciências. Se os estudantes afirmassem ser incomum a existência de disputas entre teorias eu pretendia perguntar a eles o que impedia que tais disputas se tornassem mais frequentes. Se eles dissessem que as disputas não contribuem ou prejudicam o desenvolvimento das ciências eu perguntaria por que razão isso ocorreria. Como encontrei a tendência oposta, pude perguntar aos estudantes se era possível “resolver” as disputas e como se poderia fazê-lo.

Eu admitia a possibilidade de encontrar diversas concepções entre os estudantes a começar pelo ponto de vista derivado do realismo mais ingênuo para o qual as teorias reproduzem “fatos” e são estabelecidas mediante uma confrontação não problemática com a “realidade” conhecida por meio da “observação”. Desde esse ponto de vista, as disputas entre teorias seriam raras ou ao menos indesejáveis, visto que o foco da atividade científica estaria voltado não para a produção



teórica e para a conseqüente disputa entre teorias, mas para a sofisticação de métodos observacionais que geraria disputas essencialmente técnicas, tecnológicas e metodológicas.

Bem distante do realismo ingênuo, em outro extremo, estaria a idéia de que as teorias são conjecturas criativas que nos permitem criar experimentos, investigações e modos distintos de encarar a realidade. Desde esse ponto de vista, as disputas entre teorias permitiriam desenvolver diferentes olhares para um mesmo conjunto de fenômenos. Olhares diferentes alimentariam tanto a capacidade de crítica quanto a criatividade dos grupos de pesquisadores comprometidos com teorias distintas e envolvidos nas disputas.

Parte dessa segunda perspectiva parece ser encontrada no diálogo das estudantes A02 e A16, que vai de E09 a E16. Nele vemos que elas constroem - com o auxílio das minhas intervenções - a idéia de que a dissensão entre cientistas contribui para o avanço das ciências. Todavia, nesse e em outros momentos da entrevista, as estudantes A02 e A16 insistem no uso de termos tais como “prova”, “certeza” e teoria “verídica”. Essa é a razão pela qual não posso identificá-las como adeptas de um ponto de vista mais radical em relação a provisoriedade e ao devir das ciências.

Pode-se notar, em E09, que o modo como eu abordei a questão das disputas entre teorias com os estudantes está razoavelmente distante da discussão realizada por aqueles que desacreditaram o realismo ingênuo ao produzirem descrições mais sofisticadas da atividade científica. O confronto entre as idéias dos autores responsáveis por esse feito estabeleceu uma tensão entre o princípio da proliferação defendido por Karl Popper, Imre Lakatos e Paul Feyrabend e o conceito de ciência normal construído por Thomas Kuhn⁵⁵. Podemos entender essa tensão como o fruto de uma dissensão acerca do período no qual ocorreria a disputa entre teorias. Para Kuhn esse fenômeno ocorreria em períodos específicos, identificados com a “ciência revolucionária”, enquanto para os outros autores citados a proliferação de teorias seria o *modus operanti* da atividade científica.

No calor da referida discussão, Popper, Lakatos, Feyrabend, de um lado, e Thomas Kuhn, de outro, trocaram acusações insinuando que a concepção da atividade científica da qual eles discordavam seria o resultado de uma idealização de características que as ciências deveriam

⁵⁵ A caracterização dessa tensão foi realizada no capítulo III desta tese.



apresentar para, supostamente, “funcionar melhor”, e não uma descrição da “ciência real”. Ignorando o tom depreciativo que nesse contexto está associado às idealizações eu convidei os estudantes, justamente, a avaliar de modo idealizado se a existência de várias teorias em disputa seria algo desejável e profícuo para o pleno desenvolvimento das ciências.

As imagens dos estudantes a esse respeito estiveram efetivamente situadas entre o realismo ingênuo e a imagem bem mais sofisticada da atividade científica a partir da qual as teorias são consideradas como conjecturas criativas. Ao analisar os dados obtidos com as entrevistas, não encontrei nenhuma expressão pura de realismo ingênuo, mas apenas alguns poucos momentos nos quais podem ser encontrados termos e modos de enxergar a atividade científica que são característicos dessa epistemologia elementar. Por outro lado, também não encontrei afirmações cabais de que as teorias são conjecturas criativas, mas apenas raciocínios coerentes com essa perspectiva.

Incluindo as estudantes A02 e A16, o caráter benéfico da existência de disputas entre teorias e suas contribuições para o desenvolvimento das ciências foi destacado por doze dos quatorze estudantes. A exceção, portanto, ficou a cargo de uma única dupla, formada pelas estudantes A09 e A15. O trecho da entrevista em que essas estudantes se posicionam a respeito do tema está reproduzido abaixo.

E24 ⇒ P: Bom, é comum isso que está sendo tratado aqui, esse fato histórico? Quer dizer, é comum existir mais de uma teoria científica sobre o mesmo assunto?

E25 ⇒ A15: É.

E26 ⇒ A09: É

E27 ⇒ P: Vocês podem me dar algum exemplo?

E28 ⇒ A15: (após uma pausa...) Não.

E29 ⇒ P: Não tem problema não. Mas é uma coisa interessante ter mais de uma teoria sobre um assunto, ou seria melhor que não houvesse?

E30 ⇒ A15: É interessante, mas acho melhor que não houvesse. Se você quer a verdade, e você tem que escolher entre duas, como é que você vai saber qual que é?

E31 ⇒ P: Entendi. E você, acha isso mesmo?

E32 ⇒ A09: É (risos...)



Em uma análise apressada da enunciação E30, poderíamos julgar que a estudante A15 afirma que a proliferação de teorias retarda o acesso à verdade, uma posição que se aproxima das teses do realismo ingênuo. Considero, contudo, que seria arriscado isolar esse trecho para tentar classificar o raciocínio epistemológico da estudante antes de analisar sua manifestação em outros momentos da entrevista. Afinal, a estudante A15 começa sua fala dizendo que a disputa entre teorias é algo interessante.

Estaria essa estudante a dizer, em E30, que gostaria que pudéssemos ter acesso direto à verdade, mas ao mesmo tempo a reconhecer que tal acesso é problemático ou mesmo inviável? Seria, então, a proliferação de teorias para ela uma consequência de uma limitação das ciências, associada ao caráter conjectural das teorias e do conhecimento científico? Uma resposta a esses questionamentos pôde ser encontrada na continuidade da entrevista.

E33 ⇒ P: Não sei se vocês vão lembrar, mas eu propus uma questão parecida na primeira entrevista. Era sobre a extinção dos dinossauros... se era possível explicar a extinção dos dinossauros com outras teorias, além da teoria do impacto com um grande meteoro. Lembram disso?

E34 ⇒ A09: Ham, ham.

E35 ⇒ P: (lendo os registros da primeira entrevista para as estudantes) E aí A15 disse assim: “Eu acho que sim, porque nem todo mundo tem a mesma opinião. Cada cientista acha uma coisa”. E aí eu perguntei assim: “Tá bom. Mas como é que faz quando cada cientista fala uma coisa, como é que faz para resolver isso? Pode ficar assim, cada um achando uma coisa?” E aí a A09 disse assim: “Eles pesquisam”. E aí eu perguntei: “Como é que se pesquisa isso? Você tem alguma idéia?” E aí, a A09 falou assim: “Não”. Aí, A15 falou assim: “Sei lá, pelos fósseis”.

E36 ⇒ A15: Que ridículo (rindo...)!

E37 ⇒ P: Por quê ridículo?

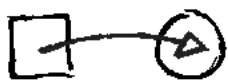
E38 ⇒ A15: Para mim, é (rindo).

E39 ⇒ P: Não: é muito interessante!

E40 ⇒ A09: Professor, mas para quê adianta os fósseis?

E41 ⇒ A15: Adianta para você poder saber, mas você não vai saber a experiência que eles fizeram pelos...

E42 ⇒ A09: pelos fósseis...



E43 ⇒ A15: Como é que vai saber que foi um meteoro? Como é que ele vai saber através dos fósseis?

E44 ⇒ P: Vocês acham que é esse negócio de decidir qual é a teoria melhor é uma coisa, tipo caso a caso, que não tem um procedimento padrão?

E45 ⇒ A15: Eu acho que tinha que fazer várias experiências, tanto que essa aqui (referindo-se à disputa entre Newton e Huygens) ficou meio complicada, olha só: as duas sempre estavam dando a mesma coisa, mas você tem que buscar cada vez mais experiências para ver qual que tá certa.

E46 ⇒ P: Até encontrar uma experiência...

E47 ⇒ A15: Que uma dá e a outra não.

E48 ⇒ P: Que é coerente com uma explicação, mas não é coerente com a outra explicação? Quando não houver critério para decidir, tem que passar por aí?

E49 ⇒ A15: Eu acho.

E50 ⇒ P: E você A09?

E51 ⇒ A09: Concordo.

Em E36 e em E38 vemos um exemplo de um comportamento que foi encontrado em outras entrevistas e que talvez seja característico da idade e do grupo social ao qual pertencem os estudantes com os quais trabalhei. Nas situações a que me refiro, os estudantes apresentam dificuldades em estabelecer um diálogo com as idéias que eles mesmos apresentaram um ano e meio antes, na época da entrevista inicial. A esse respeito, a estudante A15 afirma que as palavras que havia proferido naquela ocasião são “ridículas” como se estivesse a se mostrar desconfortável com a perspectiva de ser comparada consigo mesmo e com suas opiniões anteriores. Além disso, ela parece ser muito menos confiante na possibilidade de se usar fósseis para a avaliação de teorias distintas sobre a extinção dos dinossauros. De E40 a E43 as estudantes parecem constatar a insuficiência dos fósseis como evidência direta, bem como a reconhecer a falta de acesso a outras evidências.

Em E45, E47 e E49, a estudante A15 apresenta uma imagem das ciências que não pode ser rigorosamente associada com o realismo ingênuo, tal como parece acontecer com a enunciação E30. A estudante apresenta um critério para resolver as disputas entre explicações e teorias que



vai além do apelo à mera observação ou “à experiência”, no singular. O critério que ela propõe é a realização de múltiplas experiências na expectativa de que possam surgir indícios de que uma das teorias em disputa apresenta-se melhor coordenada, ou mais ajustada, às evidências experimentais disponíveis.

Do mesmo modo como pode ser temerário isolar uma enunciação para classificar a estudante como realista ingênua, também não se pode isolar uma ou outra fala para dizer, com convicção, que a estudante concebe o processo de validação das teorias nas ciências como o resultado de um longo processo de coordenação entre teorias e evidências. Como para nos mostrar como é difícil interpretar sua compreensão da atividade científica, a estudante A15 utiliza, no final da enunciação E45, alguns termos que parecem vincular, diretamente, conhecimento científico e verdade. Ela faz isso ao afirmar que *you tem que buscar cada vez mais experiências para ver qual está certa*. Como disse anteriormente, não acredito ser possível afirmar, com segurança, que o uso do termo destacado em negrito é evidência suficiente para vincular as imagens das ciências da estudante às teses do realismo ingênuo e sua crença na possibilidade de acesso definitivo à verdade.

Em minha opinião, a impossibilidade de identificar com absoluta convicção quais são os pensamentos e concepções subjacentes à linguagem que os estudantes utilizam para expressar suas opiniões em relação às questões que eu lhes propus no decorrer da entrevista cria sérias dificuldades para uma caracterização não problemática de suas imagens das ciências. Minha tendência torna-se, portanto, a de identificar imagens que, às vezes, nos parecem difusas e híbridas, como se fossem manifestações de diferentes bandas de um perfil epistemológico, que ora apresenta uma aparência mais sofisticada, ora uma versão mais ingênua da atividade científica.

A oscilação na imagem de ciências dos estudantes, que pode ser descrita com a ajuda do conceito de perfil epistemológico, é encontrada em outros momentos da entrevista. Assim como havia feito em E45, eu voltei a resgatar registros da primeira entrevista e apresentá-los às estudantes A09 e A15 em uma segunda ocasião. Desta vez, meu objetivo era lembrar às estudantes o momento em que elas afirmaram que as fotos feitas por satélite seriam evidências mais contundentes da esfericidade da Terra do que a viagem da circunavegação ou o modelo de



Aristóteles que deduzia a forma da Terra pelas sombras que a Terra projeta na superfície da Lua, durante os eclipses lunares. O diálogo transcrito abaixo esclarece aquilo que estou a chamar de oscilação e de manifestação de diversas bandas de um perfil epistemológico.

E52 ⇒ P: (referindo-se às três diferentes evidências sobre a forma da Terra) Uma hora você fala que uma é melhor e outra hora você fala que as três são boas. Como é que fica isso?

E53 ⇒ A15: Porque é difícil, entendeu? Eu acho que as três são boas, mas a única que você pode ter certeza absoluta é a da foto.

E54 ⇒ A09: É a da foto.

E55 ⇒ P: Então, tá.

E56 ⇒ A15: Todas são boas e, geralmente, a gente acredita (nelas). Mas, a única que você pode chegar e provar é a da foto. As outras, como é que você vai provar?

E57 ⇒ P: E como os cientistas fazem? Tem muitas situações que não tem jeito de tirar foto. Tirar foto de molécula? Não tem jeito, não é? Então, que argumentos um cientista usa para convencer o outro, ou os professores usam hoje para convencer os alunos? O que vale é o “ver para crer”? Quando puder usar o “ver para crer”, o teste de São Tomé, tem mais é que usar, porque nos outros casos a gente fica desconfiada?

E58 ⇒ A09: Não!

E59 ⇒ A15: Professor... Depende; igual das moléculas que a gente falou, a gente não vê, mas a gente acredita. Até hoje é a melhor explicação e todo mundo acredita nisso.

E60 ⇒ P: Tá... Entendo. Então, vocês não estão falando que vocês são adeptas do “ver para crer”.

E61 ⇒ A15: Não.

E62 ⇒ A09: Não.

E63 ⇒ P: Aquele negócio do “não vi, então não acredito”. Vocês não estão falando isso não?

E64 ⇒ A09 e A15: (Falam juntas) Não.

Em E53, E43 e E56 encontramos evidências da manifestação da banda do perfil epistemológico das estudantes que pode ser identificada com o realismo ingênuo. Isso é evidência da natureza situada das imagens dos estudantes sobre as ciências. A maior valorização da evidência direta e visual como prova da esfericidade da Terra e o próprio uso de termos como “prova” e “certeza absoluta” são indícios disso. Contudo, ao serem levadas em E49 a refletir sobre outros contextos



e outras áreas da pesquisa e do conhecimento científico, as mesmas estudantes reafirmam sua adesão a conhecimentos obtidos sem o auxílio de evidências diretas e sensoriais que são, além disso, o resultado de um longo processo de coordenação entre teorias e evidências, processo esse ao qual as estudantes também fizeram alusão durante a entrevista.

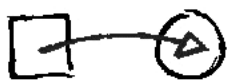
As próprias estudantes não concordam em serem identificadas com a postura do “ver para crer”, que eu menciono na entrevista e atribuo ao “teste de São Tomé”. A precedência da “prova da foto” sobre outras evidências acerca da esfericidade da Terra é restrita àquele contexto. No caso das moléculas, as estudantes nitidamente exibem outra banda de seu perfil epistemológico. No interior dessa outra banda, uma conjectura criativa como a teoria atômica recebe o crédito das estudantes e o veredicto de que *até hoje é a melhor explicação e todo mundo acredita nisso*. Isso ilustra a dificuldade em classificar as imagens das ciências dos estudantes sob critérios estritos e me faz acreditar na adequação do conceito de perfil epistemológico de Bachelard que também me pareceu profundamente útil para a análise das entrevistas com os outros estudantes.

Passemos agora para a análise do amplo consenso alcançado entre os estudantes em relação à tese de que a coexistência de teorias em disputa é algo transitório e de que a teoria que se mostra em maior concordância com as evidências disponíveis tende a vencer as disputas. Apesar da diversidade de opiniões identificadas por detrás desse consenso, o próprio consenso em si é um indicativo de um aspecto central das imagens das ciências que prevalece entre os estudantes. Trata-se da confiança no conhecimento científico e na capacidade dos cientistas em resolver, de modo racional e apropriado, as controvérsias geradas pela disputa entre teorias.

Para os estudantes, o modo privilegiado de se resolver as disputas entre as teorias é sem dúvida alguma a experimentação. Em diversos casos a experimentação é vista de modo não problemático, mas há vários estudantes que a concebem como uma parte integrante do processo de coordenação entre teorias e evidências. No trecho abaixo, vemos o ponto de vista de dois dos estudantes que concebem a experimentação dentro desta perspectiva.

E66 ⇒ P: Então, terminando já esse bloco, a próxima pergunta é a seguinte: os cientistas mudam de idéia, de explicação? O que pode levar um cientista a mudar de teoria?

E67 ⇒ A08: Pegar outro modelo que explica mais...



E68 ⇒ P: *Mas o que pode levá-lo a mudar?*

E69 ⇒ A08: *Ah, porque um outro modelo...sei lá.*

E70 ⇒ P: *Ele está convencido de que a outra explicação é melhor?*

E71 ⇒ A08: *Tem um outro modelo que explica melhor ainda o que ele estava...(pausa)*

E72 ⇒ P: *Mas vocês acham que ele muda fácil?*

E73 ⇒ A14: *Não, ele vai fazer a experiência de novo...*

E74 ⇒ A08: *Ele vai estudar tudo de novo, a experiência, para ver se descobre qual o melhor modelo.*

E75 ⇒ A14: *É igual um negócio que o professor fez na sala: ele falou para gente escrever o que a gente achava, qual era a nossa teoria do que ia acontecer. E aí, o que a gente fez? A gente fez a experiência e deu uma outra coisa, parece que deu ao contrário. E aí o que a gente fez? A gente fez experiência até... a gente foi persistindo até a experiência... até a gente ter certeza que não tinha jeito da experiência mudar. Que era daquele jeito.*

E76 ⇒ P: *Não tinha jeito da experiência obedecer a sua idéia?*

E77 ⇒ A14: *É, a gente esquentava, esfriava mais...*

E78 ⇒ P: *Aí não funcionava a ordem: “faz do jeito que eu quero, oh experiência!”.*

E79 ⇒ A14: *É.*

E80 ⇒ P: *Então, última pergunta: o cientista pode cometer erro? O que leva o cientista ao erro?*

E81 ⇒ A14: *Ele faz o negócio e dá errado.*

E82 ⇒ P: *Mas, faz o que? Uma idéia falsa, uma idéia que depois se mostra furada?*

E83 ⇒ A14: *Uai, ele vai fazer a experiência...*

E84 ⇒ A08: *.. ele vai estudar mais a teoria..*

E85 ⇒ P: *Mas o que pode levar o cientista ao erro? Ele erra porque não observa direito as coisas? O que é?*

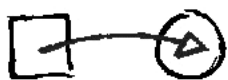
E86 ⇒ A08: *Acho que ele erra... ele tem que fazer outro modelo (inaudível)...*

E87 ⇒ P: *Não tem nada que explique especialmente o erro? O erro é comum?*

E88 ⇒ A08: *É.*

E89 ⇒ A14: *Eu acho que o cientista não erra não, ele pensa numa coisa e não dá certo.*

E90 ⇒ P: *É mais uma tentativa que não dá certo do que erro?*



E91 ⇒ A14: É.

Em E75, o estudante A14 refere-se ao trabalho em sala de aula demonstrando utilizar reflexões geradas a partir da metacognição para sustentar suas imagens das ciências e raciocínios epistemológicos. Isso aparentemente leva tanto A14, quanto A08, não apenas a considerar a experimentação como parte do processo de coordenação entre teorias e evidências, mas também a conceber o erro como um elemento intrínseco ao caráter tentativo e conjectural da atividade científica. Além disso, e ao contrário do que aconteceu com a dupla A10 e A18 quando provocadas com a mesma questão que foi rerepresentada em E85, os estudantes A08 e A14 não atribuem o erro à falta de cuidados com a observação, nem parecem considerar a observação como uma instância imparcial e não problemática que dá acesso direto à verdade.

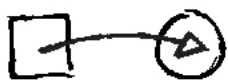
V.5- A ciência escolar e a compreensão da atividade científica

O momento mais importante da quarta fase da entrevista final foi aquele em que eu disse aos estudantes que suas respostas e argumentos para as questões propostas durante a entrevista mostravam que eles tinham acesso a muitas informações sobre as ciências através da mídia. Solicitei, então, que eles tentassem avaliar as contribuições da escola para sua compreensão acerca de como as ciências funcionam.

Dez dentre os quatorze estudantes afirmaram acreditar que a escola havia contribuído positivamente para que eles viessem a conhecer algo sobre os processos de produção e validação do conhecimento científico. O trecho a seguir ilustra o ponto de vista de estudantes que questionaram a contribuição da escola e seu compromisso com a compreensão da atividade científica.

E01 ⇒ P: A ciência que se estuda na escola ajuda vocês a entenderem como é que a ciência funciona? Ajuda a entender para que serve a ciência, como a ciência produz explicação, como é que um cientista pode escolher entre uma teoria e outra?

E02 ⇒ A15: Ajuda, acho que ajuda.



E03 ⇒ P: Como? Qual é o limite disso? Vocês acham que não ajuda tanto assim ou que em algumas coisas ajuda mais que em outras?

E04 ⇒ A15: Ajuda as pessoas a descobrir, assim, a descobrir como que é a ciência é... O que mais?

E05 ⇒ P: Que tipo de aprendizagem ocorre na escola sobre como é que a ciência funciona?

E06 ⇒ A15: Ham???

E07 ⇒ A09: (risos) Sei lá, eu acho que é muito bom. Mas, não sei dizer.

E08 ⇒ P: Não sabe especificar?

E09 ⇒ A15: Isso.

E10 ⇒ P: Esse negócio de como os cientistas decidem que experiências devem fazer ou como é que eles escolhem a melhor experiência... Nesses aspectos, vocês acham que a ciência na escola ajuda?

E11 ⇒ A15: Mais ou menos. Eu não tenho muita certeza, assim, de como que é e tal. Eles (o professor e o livro texto) não mostram muito isso. Eles procuram mostrar mais a matéria.

E12 ⇒ P: Vocês acham que seria interessante a ciência da escola investir um pouco mais em entender como a ciência funciona, ou isso é mais importante para os cientistas mesmo?

E13 ⇒ A09: Sei lá... (risos).

E14 ⇒ A15: Eu acho interessante a gente compreender... como é que (a ciência) é...(pausa)

Nesse trecho de entrevista vemos que as estudantes tiveram um pouco de dificuldade em entender exatamente o que eu estava querendo saber, quando insisti em obter detalhes sobre o tipo de contribuição que a escola poderia ter trazido para a compreensão que elas pareciam exibir acerca de como as ciências funcionam. Se levássemos em consideração o que essas estudantes disseram poderíamos chegar à conclusão de que a escola exerceu um papel muito limitado para promover sua compreensão da atividade científica. Em E13, a estudante A09 aparenta pouco se importar com essa “limitação” da ciência escolar, mas a estudante A15 afirma que gostaria de compreender melhor *como é que a ciência é*. A15 chega a dizer, em E11, que a ciência escolar contribuía pouco para isso porque o professor e os livros estavam mais interessados em *mostrar a matéria*.



Na entrevista com essas estudantes não cheguei a solicitar que elas comparassem as contribuições específicas da escola e da mídia para a compreensão do funcionamento das ciências. Essa solicitação esteve presente na maioria das outras entrevistas, embora não constasse no protocolo que eu havia preparado. A idéia de propor essa questão pode ter surgido em razão de eu ter pedido ao professor, na mesma época em que a entrevista final foi realizada, para aplicar um questionário em sala de aula.

Esse questionário (vide a segunda parte do anexo A.2) foi concebido como um instrumento auxiliar para avaliar em que bases se sustentavam as opiniões dos estudantes acerca das contribuições da escola para a compreensão das ciências como instituição social e empreendimento cultural. Quando concebi o questionário pensei: estudantes com maior acesso a veículos de divulgação científica teriam, a princípio, melhores condições de compreender o papel da escola ou criticar possíveis limitações de sua contribuição para a compreensão da atividade científica. Além disso, a princípio, poderiam apresentar uma visão mais sofisticada dessa atividade.

No questionário preenchido pela estudante A09, filha de um gerente operacional e de uma comerciante, pude notar que seu acesso a veículos comprometidos com a divulgação científico-tecnológica era muito pequeno. A estudante A15, filha de um administrador de empresas e de uma dona de casa declarou não ter acesso a revistas especializadas, mas afirmou assistir aos programas de divulgação científica dos canais *Discovery* e *Animal Planet*.

Todavia, não há como saber, apenas a partir do questionário, com que frequência essa estudante assistia a programas exibidos nesses canais e que interesse ela mantinha por eles. Ainda assim, seu interesse geral por veículos de divulgação científico-tecnológica pode ser, de certo modo, inferido pela leitura de suas respostas ao questionário, quando consideramos o fato de que a estudante diz que gostaria de ter acesso a uma série de veículos que foram citados e com os quais ela havia tido pouco ou nenhum contato até aquela ocasião.

As estudantes A10 e A18 formam, com as estudantes A09 e A15, o grupo dos que disseram que a ciência escolar ajuda pouco a entender a atividade científica e que fica mais restrita ao tratamento de certos conceitos e teorias das ciências. Eu só disponho do questionário preenchido pela



estudante A10, filha de um comerciante e de uma dona de casa. Nesse questionário pude notar que o acesso da estudante a veículos comprometidos com a divulgação científico-tecnológica, a exemplo do que havia ocorrido no caso da estudante A09, também era muito pequeno.

Como tive a oportunidade de dizer anteriormente, o posicionamento das estudantes A09 e A15, ou A10 e A18, é bastante diferente daquele que encontrei entre os outros dez estudantes entrevistados. Para esse outro grupo de estudantes, a ciência escolar cumpriu, sim, um papel importante para o avanço de sua compreensão sobre a atividade científica. Todos se manifestaram claramente em relação a isso, com exceção da estudante A03, que se limitou a concordar com A06, sua colega de dupla. Essa última disse o seguinte quando lhe pedi para avaliar o papel da escola em seu conhecimento sobre as ciências:

E15 ⇒ A06: (A ciência escolar) Ajuda sim, porque na escola a gente aprende e vendo televisão a gente não aprende como que os átomos são trocados. Acho que na escola a gente aprende mais o... porque na televisão a gente aprende mais o efeito prático e na escola a gente não aprende... a gente aprende as teses, como as teses foram formadas. E os outros meios de comunicação servem mais para mostrar os efeitos que as teses provocaram.

A estudante A06, filha de um empresário e de uma dentista, declarou ter acesso a vários veículos especializados em divulgação científica, há mais de dois anos, e sempre demonstrou interesse pelas aulas de ciências. Além disso, ela está entre os estudantes com imagens razoavelmente sofisticadas acerca do papel da imaginação e da função dos experimentos na produção das ciências. Acredito que isso deve ser levado em consideração quando avaliamos sua afirmação de que *os meios de comunicação servem mais para mostrar os efeitos que as teses provocaram* e que *na escola a gente aprende as teses, como as teses foram formadas*. Ao dizer isso, essa estudante afirma que a escola apresenta um tipo de informação diferente daquele oferecido pela mídia, bem como parece reconhecer que a escola está mais comprometida com a formação do que com a mera informação.

Na análise das entrevistas, não verifiquei qualquer relação de causalidade entre o maior acesso a veículos de divulgação científica e a capacidade dos estudantes em comparar o papel da escola e da mídia na compreensão das ciências enquanto empreendimento cultural e social. Também



parece não haver uma relação muito evidente entre o acesso a esses veículos e a sofisticação das imagens e raciocínios epistemológicos em relação aos aspectos da atividade científica abordados nas três primeiras fases da entrevista. Esse último resultado não chega a ser estranho, visto que parece não haver uma política ou uma pedagogia que oriente os veículos de divulgação científica na formação de concepções mais sofisticadas da natureza das ciências entre o público juvenil.

A estudante A08, filha de um professor de física de ensino médio e de uma dona de casa, declarou em seu questionário não ter tido acesso a nenhum veículo especificamente voltado para a divulgação científica. Ainda assim, ela foi muito mais clara e assertiva do que vários outros estudantes quando realizou uma comparação entre os papéis da escola e da mídia. Além disso, ela apresentou imagens de ciências bem mais articuladas e sofisticadas do que, por exemplo, o estudante A15 nas três fases anteriores da entrevista. O estudante A14, companheiro de dupla da estudante A08, apresentou o mesmo posicionamento que ela. Ele é filho de um professor e de uma corretora de imóveis e tem acesso regular a revistas e canais de TV por assinatura. A seguir, transcrevo um trecho da entrevista realizada com esses dois estudantes.

E16 ⇒ P: O que eu queria que vocês tentassem me dizer é se a ciência que se aprende na escola ajuda a entender como é que as Ciências funcionam.

E17 ⇒ A08: Eu acho que na maioria das vezes ajuda.

E18 ⇒ A14: Porque mostra como é que a ciência passa a descobrir as coisas. Ela faz umas experiências, descobertas, faz com a prática.

E19 ⇒ P: E isso tem, assim, um sentimento de quê para vocês? Se vocês não tivessem tido essa oportunidade de ter contato com as ciências na escola, vocês acham que vocês entenderiam a atividade científica de um modo muito diferente?

E20 ⇒ A08: Às vezes eu nem poderia compreender essas coisas.

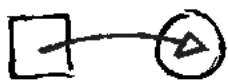
E21 ⇒ P: Teria menos confiança nas coisas que os cientistas dizem?

E22 ⇒ A08: É

E23 ⇒ A14: É.

E24 ⇒ P: Apesar de não ser o conhecimento certo, de poder mudar, dá a idéia de que existe uma disputa, um rigor na explicação? É isso?

E25 ⇒ A14: Ham, ham.



O vínculo que, em E18, os estudantes A08 e A14 estabelecem entre a experimentação em sala de aula e a compreensão da atividade científica aparece nas entrevistas com as outras três duplas, cujas falas eu estou prestes a analisar. Devido à importância que esse vínculo tem para esta tese irei transcrever os trechos das entrevistas com todas essas três duplas. Darei destaque aos momentos nos quais os estudantes vinculam a experimentação na sala de aula de ciências e a compreensão da atividade científica.

Começarei pela entrevista com as estudantes A02 e A16. A estudante A02, filha de um engenheiro e de uma dona de casa, conhece alguns dos veículos especializados em divulgação científica citados no questionário, mas diz ter tido acesso a eles poucas vezes. Ela também não conhece a maioria dos outros veículos também mencionados no questionário. A estudante A16, filha de um engenheiro e de uma intérprete de francês, declarou ter acesso a diversos veículos de divulgação científica. Mais uma vez, essas diferenças não se refletiram nas opiniões manifestadas pelas estudantes nesse momento da entrevista.

E26 ⇒ P: O que vocês acham da ciência que se aprende na escola? Será que ela coloca a gente para pensar sobre essas questões, tipo, como a ciência produz explicações, qual a função da ciência, e mesmo para que serve a ciência?

E27 ⇒ A02: Tem muita coisa a ver com..., muitas vezes, as experiências é que fazem a gente pensar nessas perguntas. Porque que a gente está fazendo essas experiências, para saber o quê?

E28 ⇒ A16: Igual, uma vez o professor estava falando na sala, tipo uma idéia de aula: “Faz uma teoria de como isso pode acontecer”. E depois a gente fez um experimento para comprovar se a nossa teoria estava certa.

E29 ⇒ P: Legal. Então, na aula de ciências vocês conseguem perceber que esse negócio de pensar no que está sendo feito acaba ajudando a entender um pouco como é que a ciência funciona. Ao fazer uma atividade, vocês pensam no que vocês estão fazendo. Então, vocês acham que esse tipo de aula ajuda, contribui para entender e imaginar como é a ciência?

E30 ⇒ A16: Acho que sim. Acho que foi até no ano passado, a gente tava fazendo uma experiência e o professor falou: “Não, você pode fazer mais experiências em casa”.

E31 ⇒ A02: Porque no nosso livro tem. Nas últimas páginas, tem um tanto de experiência. E na hora de a gente estudar, ele diz: “Para vocês entenderem melhor, faz essa



experiência aí...”. Aí depois, ele dava a experiência para a gente tentar entender a matéria, para depois a gente chegar na sala de aula, para ver se a gente conseguia explicar.

E32 ⇒ A16: Um relatório da experiência para a gente explicar...

O momento em que as estudantes avaliam as contribuições da escola para a compreensão da atividade científica não foi o primeiro em que elas destacam a importância da atitude do professor de ciências de sua escola em recorrer sistematicamente ao uso da experimentação. Em trechos anteriores da entrevista, as estudantes A02 e A16 haviam apresentado o uso de experimentos como critério para resolver as disputas entre teorias, também se referindo ao trabalho feito em sala de aula como fonte de convicção para sustentar sua crença na importância da experimentação. É importante dizer, a esse respeito, que a referência à experimentação, no caso dessas estudantes, não vem acompanhada de uma compreensão por demais ingênua da função do experimento na produção das ciências. Uma evidência disso pode ser encontrada no momento em que essas estudantes foram questionadas sobre o que poderia levar os cientistas a cometer erros.

Nessa ocasião, as estudantes A02 e A16 demonstraram possuir uma compreensão muito distante do realismo ingênuo, já que não vincularam erros a descuidos na experimentação ou à falta de rigor na observação. A estudante A16 disse que o levava um cientista ao erro era *uma idéia errada que ele tiver sobre o assunto*. Ela, portanto, interpreta o erro como algo derivado de uma espécie de insuficiência teórica. A estudante A02 vincula o erro a equívocos metodológicos ao dizer que ele surge quando *no meio da experiência ele (o cientista) conclui que já tem tudo, o que seria um erro, porque ele não sabe o que mais viria pela frente*.

Os trechos recuperados acima, de um segmento anterior da entrevista realizada com essas estudantes, nos mostram que suas idéias sobre a função da experimentação e sobre a relação entre teorias e evidências não são totalmente ingênuas. Sendo assim, pode-se concluir que o tipo de atividade experimental que foi desenvolvida em sala de aula realmente parece ter contribuído para que as estudantes pudessem avançar sua compreensão em relação a alguns aspectos da complexa e multifacetada atividade científica.



A avaliação de que a ciência escolar realmente contribui para o desenvolvimento do saber sobre as ciências foi claramente expressa na entrevista das estudantes A07 e A13. Antes de transcrevê-la vejamos que informações eu obtive com o questionário preenchido por essas estudantes. A estudante A07 declarou ter acesso a revistas e canais de TV por assinatura especializados em divulgação científica há mais de dois. A estudante A13, por outro lado, declarou conhecer apenas um desses veículos dizendo que gostaria de ter acesso a todos eles com mais frequência. Afirmou, também, desconhecer a maioria dos veículos citados no questionário. No trecho da entrevista que estou a analisar, as estudantes disseram:

E33 ⇒ P: A ciência que vocês aprendem na escola ajuda de alguma maneira a entender como a ciência funciona, ou não ajuda?

E34 ⇒ A13: Ajuda! A escola ajuda pra caramba!

E35 ⇒ P: Ajuda em quê, em que aspecto? Do mesmo jeito que o jornal e a TV?

E36 ⇒ A07: Não!

E37 ⇒ A13: Eu acho que na escola explica melhor, porque a gente faz atividades em cima do que a ciência está propondo. E no jornal não, eles só dão a notícia.

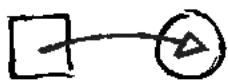
E38 ⇒ P: Entendi. Mas vocês acham que o tipo de atividade que vocês fazem na escola permite entender como é que a ciência produz as idéias, de onde as idéias das ciências vêm?

E39 ⇒ A13: Lógico! Ajuda!

E40 ⇒ P: Então, não é só uma coisa, assim: “Eu vou pegar essas idéias para decorar, mas não vou querer saber de onde veio isso”. Quer dizer, tem algum esforço do professor em explicar de onde surgiram as idéias, por que elas são razoáveis, por que essas idéias são boas?

E41 ⇒ A07: Lógico, porque se não tivesse esse esforço do professor, eu não ia entender. Esse modelo mesmo do Newton, eu não ia entender, mesmo estando ali escrito. Tinha que ter o esforço do professor.

Em minha opinião, a dupla constituída pelas estudantes A07 e A13 foi aquela que mais evoluiu no período que separou as entrevistas inicial e final. Trata-se da dupla cuja entrevista foi transcrita no capítulo anterior com a intenção de caracterizar as imagens de ciências mais ingênuas e os raciocínios epistemológicos mais limitados encontrados dentre todos os estudantes.



Na segunda entrevista, as estudantes A07 e A13 não demonstraram os mesmos traços de realismo ingênuo que haviam apresentado na entrevista inicial. Elas, todavia, recusaram-se a reconhecer que suas imagens de ciências mudaram, quando foram levadas a reavaliar trechos de sua entrevista inicial. Isso também aconteceu com as estudantes A09 e A15, o que pode ser interpretado como uma dificuldade dos adolescentes em reavaliar suas idéias anteriores e constatar mudanças, em uma época em que as mudanças são tantas e tão confusas para suas cabeças.

Os outros dois estudantes cuja entrevista foi transcrita no capítulo anterior foram identificados como aqueles que apresentavam imagens de ciências e raciocínios epistemológicos mais sofisticados. Na entrevista final, eles também destacaram a experimentação em sala de aula como oportunidade de reflexão e aprendizagem sobre como as ciências funcionam. O estudante A11, filho de um engenheiro e de uma dona de casa, declarou ter interesse pela grande maioria dos veículos de divulgação científica citados no questionário. Ele, todavia, acompanhava apenas o programa de TV Globo Ciências e a revista Galileu, ambos de responsabilidade das organizações Globo. Já o aluno A17 tem acesso aos canais de TV por assinatura *Discovery* e *Animal Planet*, tendo também interesse por outros programas de TV e revistas especializadas em divulgação científica que são citadas no questionário, mas em relação aos quais ele ainda não tem acesso. Esse estudante é filho do motorista do transporte escolar que presta serviços à escola e de uma funcionária pública. Vejamos, então, o que esses dois estudantes disseram sobre as contribuições da educação escolar para a compreensão da atividade científica.

E42 ⇒ P: Vocês acham que a escola ajuda a entender como a ciência funciona, ou o que vocês sabem sobre isso foi aprendido em outros lugares como jornais, revistas e TV?

E43 ⇒ A11: Eu acho que a escola ajudou bastante.

E44 ⇒ P: Em quê?

E45 ⇒ A11: Nas matérias. A gente aprendeu a função das ciências, as experiências...

E46 ⇒ P: Você acha que fazer experiências ajudou?

E47 ⇒ A11: Ajudou.

E48 ⇒ A17: Eu acho que convivendo com isso, a gente tendo aulas de ciências e tudo, a gente vai pelo menos tendo idéia mais ou menos de como as coisas acontecem. Então...



E49 ⇒ A11: Mas, também a gente deve procurar, assim, fora da escola também.

E50 ⇒ P: Vocês gostam de algum programa ou revista que fala como as ciências funcionam? Você tem informação disso onde, além da escola?

E51 ⇒ A11: Ah, tipo naquela revista Galileu. Na televisão, eu acho, também. Na televisão de vez em quando passa.

E52 ⇒ P: Algum programa especial que você gosta de ver?

E53 ⇒ A11: Não, é quando passa na televisão alguma reportagem.

E54 ⇒ P: E você A17?

E55 ⇒ A17: Ah, eu gosto de ciências. Também de vez em quando Ah, até esses programas de animais também de vez em quando fala de alguma coisa assim... De venenos, esses negócios assim.

E56 ⇒ P: Ah, vocês assistem o Discovery?

E57 ⇒ A17: Eu vejo “Animal Planet”.

E58 ⇒ P: Legal. Então, essas informações, vocês acham que tanto a escola quanto essas outras fontes colaboram?

E59 ⇒ A17: E a escola normalmente aprofunda mais em um determinado assunto.

Reforçando um ponto de vista já apresentado pela estudante A06, os estudantes A11 e A17 fazem uma distinção entre informação - especialidade dos veículos de mídia - e formação, entendida como uma responsabilidade da escola. Eles também destacam o foco da ciência escolar na experimentação como meio de aprender ciências e aprender sobre as ciências de forma integrada.

O consenso alcançado entre dez dos quatorze estudantes acerca do papel da experimentação escolar no desenvolvimento de um saber sobre as ciências é algo que merece uma atenção especial de nossa parte. Afinal, não há consenso entre os especialistas sobre isso. A polêmica estabelecida pela literatura sobre o papel do laboratório didático na evolução do saber dos estudantes sobre as ciências será retomada no capítulo de conclusão, na ocasião em que apresentarei uma resposta à minha terceira questão de pesquisa que trata das estratégias destinadas a promover reflexões sobre a natureza das ciências na educação básica.

Como veremos nos trechos de entrevista citados a seguir a compreensão dos estudantes acerca das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (relações CTS) é um aspecto particularmente



frágil do trabalho que parece ter sido desenvolvido em sala de aula. O trabalho pedagógico calcado na dinâmica envolvendo problematização, investigação e avaliação parece ter contribuído para os estudantes avançarem sua compreensão acerca do papel da imaginação, da função da experimentação e do processo de escolha entre teorias, mas não sobre outros aspectos importantes da atividade científica.

Os dados que tenho do tempo em que eu estive em sala de aula e as informações que obtive do período em que eu me ausentei indicam que a função social das ciências e as relações entre ciência-tecnologia-sociedade não constituíram um foco de reflexões sobre as ciências em sala de aula. Sem informações mais apuradas a respeito das imagens dos estudantes acerca desse tema, decidi apresentar algumas questões a seu respeito na entrevista final.

Perguntei aos estudantes para que servem as ciências, se todas as pesquisas que as ciências desenvolvem viram novas tecnologias ou têm um retorno econômico imediato e, finalmente, o que a sociedade ganha por financiar a dispendiosa atividade científica. Como resposta, em linhas gerais, não obtive nada de essencialmente diferente dos dados que construí ao interpretar a primeira fase da entrevista inicial na qual eu pedi aos estudantes para avaliar um conjunto de dez questões classificando-as como sendo ou não de interesse das ciências. Vejamos um pequeno trecho de entrevista que me ajudará a estabelecer uma comparação entre as entrevistas inicial e final, sob esse aspecto em particular.

E60 ⇒ P: Vocês acham que vale o custo, isto é, será que a ciência merece toda essa valorização que ela está recebendo da sociedade?

E61 ⇒ A06: Acho que merece, porque se não houvesse essas explicações, ficaria tudo vago, ninguém saberia o que é o mundo. Cada um ia ter uma idéia muito vaga do mundo, e o mundo não teria o funcionamento certo. Nas áreas biológicas, por exemplo: se não houvesse empenho em descobrir o tratamento do câncer, hoje em dia não teria o tratamento do câncer e de outras doenças também. Por exemplo, não se investe milhões de reais para descobrir a cura da AIDS? Daqui a algum tempo acho que vai ter a cura da AIDS.

Na entrevista inicial, o critério mais frequentemente utilizado para classificar as questões como sendo de interesse das ciências era associar a questão sob avaliação com a curiosidade humana.



Os cientistas estariam mais preparados para investigar tais questões curiosas, o que sugere que eles seriam mais capazes do que qualquer outra pessoa para produzir respostas convincentes e bem estruturadas para cada questão. Em algumas ocasiões, mas nem sempre, os estudantes também se referiram a aplicações tecnológicas e a produtos materiais advindos da pesquisa científica. A enunciação E61 reúne esses diversos elementos. Nela também podemos notar o grande valor e confiança que os estudantes atribuem ao conhecimento científico.

Na entrevista inicial, vez por outra, os estudantes classificavam algumas questões como “não científicas” em virtude de sua pequena relevância social ou de sua ligação com interesses por demais particulares e subjetivos. Diversas vezes, entretanto, eles se limitavam a afirmar que sabiam, por experiência, que determinadas questões pertenciam ao campo de interesses das ciências. Basicamente, a mesma imagem das ciências surgiu na entrevista final. Vejamos um trecho que apresenta uma resposta típica encontrada entre os estudantes.

E62 ⇒ P: Em geral, para que vocês acham que serve a ciência?

E63 ⇒ A18: Para estudar... vários assuntos.. (risos...) Para estudar... ué, modelos, é... o porquê das coisas... Para explicar, por exemplo, o por quê de a vela soltar o fogo. Aí tem a explicação, ele (o cientista) explica várias coisas... ele faz o modelo de várias experiências.

E64 ⇒ P: Então, na verdade vocês estão reafirmando o que já tinham dito na primeira entrevista. A ciência existe para explicar as coisas que “precisam ser explicadas”. Basicamente é isso, não é? Tudo bem, a ciência tenta explicar as questões. Mas qual o critério para poder dizer que uma questão é assunto da ciência?

E65 ⇒ A10: O que tem a ver com a energia... com a luz...

E66 ⇒ P: Então, para explicar o que interessa às ciências, eu tenho que pegar um conjunto de assuntos, energia, luz... É assim que eu vou ter uma noção do que as ciências estudam?

E67 ⇒ A10: Vai ser assim, as coisas principais.

E68 ⇒ P: Mas essa lista não pode mudar não? Vai ser a mesma lista a vida inteira?

E69 ⇒ A18: É, pode mudar.

E70 ⇒ P: Pois é, e como é que uma coisa nova entra na lista? Qual é o critério?

E71 ⇒ A18: Uai, ele (o cientista) faz critérios sobre um novo assunto.



E72 ⇒ P: *Então, são os próprios cientistas que definem o que é da natureza da ciência? Não entra a sociedade, o que a sociedade pensa? Isso não influi em nada, quer dizer, vocês entenderam o que eu estou perguntando? Quem define se um novo assunto deve fazer parte da natureza da ciência são os próprios cientistas?*

E73 ⇒ A10: *É.*

E74 ⇒ P: *É da cabeça deles?*

E75 ⇒ A10: *E através dos experimentos, eles têm idéias para outros assuntos.*

E76 ⇒ P: *Mas olha só um probleminha no que vocês estão falando: ciência hoje em dia custa muito caro. Um cara, por exemplo, um pesquisador de uma instituição pública federal. Ele é funcionário público, concorda? Então, as coisas que ele gasta, os equipamentos, o próprio salário dele é dinheiro do povo. A ciência custa caro. Então, se são os cientistas que decidem o que a ciência deve fazer, o que a sociedade ganha com isso? Entenderam a minha dúvida?*

E77 ⇒ A10: *A gente ganha...*

E78 ⇒ P: *Por que a sociedade paga à ciência?*

E79 ⇒ A18: *Porque que vai ser bom para o futuro. Os cientistas vão poder afirmar alguma tese, alguma coisa que as pessoas estão querendo saber. Se eles estudarem, se eles tiverem aparelhos sofisticados, ele são caros... E se eles forem estudar, vai ser bom para a gente, porque vai beneficiar todo mundo.*

E80 ⇒ P: *Então, é tipo um voto de confiança? Tem aquela expectativa de que, financiando a pesquisa, por cara que ela seja, uma hora sai uma coisa que interessa? É isso?*

E81 ⇒ A18: *Hum, hum.*

Como tive a oportunidade de dizer no capítulo anterior, um dos critérios que os estudantes utilizaram na avaliação das dez questões propostas na entrevista inicial foi a identificação das questões com áreas de interesse que eles sabiam “factualmente” pertencer à atividade científica. Algo semelhante à evocação da “experiência de vida” dos próprios estudantes como critério de identificação dos propósitos das ciências ocorre em E65. Em E63, as estudantes vinculam a função social das ciências à produção de teorias e explicações sobre fenômenos naturais, algo que também tinha ocorrido com certa frequência na entrevista inicial, inclusive com essa dupla de estudantes A10 e A18.



Em E68, eu provoco as estudantes para saber como a lista de temas que interessam às ciências pode mudar ou evoluir com o passar do tempo. Em E75, a estudante A10 sugere que as questões que interessam aos cientistas se ampliam pelo andamento das próprias pesquisas e experimentos, o que se aproxima bastante da idéia de que a fonte das questões de interesse das ciências tem uma dinâmica interna. A referência a esse tipo de dinâmica interna havia ocorrido com algumas duplas na entrevista inicial, o que não inclui as estudantes A10 e A18. Na primeira versão que vinculava questões de interesse dos cientistas às dinâmicas internas de desenvolvimento das pesquisas o interesse por determinadas questões era atribuído à necessidade de avaliar melhor a consistência de determinadas conjecturas ou teorias científicas, como a teoria de que o homem descende do macaco.

O desdobramento da resposta dada em E75, no entanto, é a afirmação de que os próprios cientistas definem as questões e as áreas de pesquisa que deverão compor os propósitos e metas das ciências. Minha reação a esse posicionamento ocorre em E76 onde eu introduzo o problema do financiamento e do custo das pesquisas. Confirma-se em E79 e em E81 a visão extremamente ingênua e desinformada das estudantes sobre a função social das ciências e das relações entre ciência-tecnologia-sociedade.

Nada muito mais sofisticado que isso pôde ser encontrado nas outras entrevistas, mesmo entre os estudantes que demonstraram imagens razoavelmente sofisticadas acerca do papel da imaginação na produção das ciências, da função dos experimentos, ou do processo de escolha entre teorias. Um pequeno trecho da entrevista com as estudantes A02 e A16 ilustra esse ponto.

E82 ⇒ A16: Acho que o ser humano tem muita..., sei lá, ele é muito egoísta. Ele quer fazer as coisas para matar a curiosidade dele. Ele não pensa no que isso pode causar à sociedade. O clone humano é uma coisa totalmente proibida, né? Mas tem cientista que fala que fez o clone humano. E isso deu a maior polêmica. O homem é muito egoísta, sabe! Ele quer mais é satisfazer o prazer dele conseguir. Ele não pensa nas outras pessoas. Ele quer se satisfazer, fazer o que ele quer.

E83 ⇒ A02: Mesmo a bomba atômica, ele pode destruir o mundo inteiro. E para quê ele vai destruir o mundo inteiro? Para que ele vai destruir um planeta?



E84 ⇒ P: A bomba atômica é disputa militar, tem motivação econômica, mesmo não é? Um país quer sobrepujar o outro. Na época, os Estados Unidos e a União Soviética faziam isso, buscando hegemonia, quer dizer, poder para influenciar o resto do mundo, a economia e tal.

Neste trecho podemos notar que as estudantes parecem reduzir as decisões acerca os objetos de estudo das ciências aos desejos individuais dos cientistas. As próprias estudantes, entretanto, em um trecho anterior da entrevista, haviam mencionado a existência de grandes corporações de pesquisa, citando a agência especial norte americana (NASA) como exemplo e dando a entender que compreendiam as ciências como um empreendimento coletivo. À luz do que as estudantes disseram em E82 e em E83 podemos deduzir, todavia, que sua compreensão de empreendimento coletivo se restringe à cooperação entre os cientistas e não se estende às relações entre demandas sociais e atividade científica.

Vejamos uma fala bastante interessante sobre a função social das ciências que colhi na entrevista com os estudantes A11 e A17. Ao reafirmarem o vínculo entre atividade científica e satisfação das curiosidades humanas eles apresentam uma visão bastante interessante das relações entre “ciência básica” associada por eles à curiosidade humana e “ciência aplicada”, voltada para o desenvolvimento de aplicações tecnológicas.

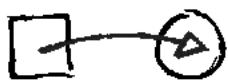
E85 ⇒ P: Será que justifica todo esse custo só para satisfazer a curiosidade da gente ou a ciência tem algum tipo de aplicação que não seja explicar como é que as coisas do mundo funcionam?

E86 ⇒ A17: Eu acho que tem coisas que ... precisa mesmo. Então, cada vez vão aperfeiçoando as idéias até alguma coisa, assim, pode ser... resposta para outra. Então, cada vez que eles aperfeiçoam mais as idéias, alguma coisa pode ajudar a outra..

E87 ⇒ P: Legal. Entendi.

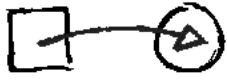
E88 ⇒ A17: Por exemplo, eles podem descobrir cura de câncer usando coisas de outro planeta. Então, cada vez que eles aperfeiçoam.

Apesar de interessante, as idéias desses estudantes mostram-se, ainda, completamente lacunares, no que diz respeito à compreensão das relações entre ciência-tecnologia-sociedade. Não há qualquer referência à apropriação desigual dos frutos do trabalho científico ou sobre o fato de que



grande parte da produção científico-tecnológica vincula-se ao atendimento de demandas oriundas de setores específicos da sociedade.

A aparente falta de discussão sobre as relações ciência-tecnologia-sociedade fez com que os estudantes da turma que eu pesquisei permanecessem bastante ingênuos a respeito dessas relações. É possível, também, que a provisoriedade das ciências não tenha sido um tema para o qual foi dada a devida atenção. Sendo assim, a idéia de que as ciências um dia alcançarão a “verdade” esteve presente em boa parte das entrevistas, embora tal idéia seja, em princípio, conflitante com o amplo reconhecimento apresentado pelos estudantes acerca do papel da imaginação na produção das ciências.



Capítulo VI- Aprender sobre as ciências e aprender a pensar com as ciências



Meu principal objetivo neste último capítulo da tese é o de retomar as questões de pesquisa e as respostas produzidas para elas, dialogar com a literatura à luz de meus dados e achados e examinar as implicações de meu trabalho para o ensino e a pesquisa em educação em ciências. Com esse esforço, pretendo, ainda, nutrir meus leitores com razões para manter o otimismo em relação à possibilidade de transformar o conhecimento sobre as ciências em conteúdo e meta curricular.

O leitor certamente irá notar que neste último capítulo, a exemplo de capítulos anteriores, eu apresento uma revisão bibliográfica onde assinalo as contribuições de outros autores para o tratamento das questões que estarei a discutir. A razão pela qual não produzi um capítulo especialmente dedicado a uma revisão bibliográfica da literatura pertinente é que a minha intenção não é apenas a de resenhar contribuições de outros autores, mas, principalmente, de colocá-las em diálogo com minha pesquisa e com os dados que pude obter através dela.

Em relação à questão sobre as imagens das ciências que poderiam integrar um currículo de ciências naturais da educação básica que esteja comprometido com o desenvolvimento da autonomia moral e intelectual dos estudantes, eu pretendo ampliar a discussão que iniciei no capítulo III desta tese, centrada na epistemologia e sociologia das ciências, para apontar para a necessidade de uma nova cultura escolar no interior da qual a evolução das imagens das ciências faça parte de um processo maior que coordena o aprender ciências, o aprender sobre as ciências e o aprender a “fazer ciências”.

A discussão das estratégias que poderiam nos ajudar a promover reflexões sobre a natureza das ciências na educação básica será realizada principalmente na segunda seção do capítulo quando discutirei diferentes modos de considerar o conhecimento epistemológico como conteúdo da educação escolar.

Na última seção deste capítulo pretendo tratar especificamente da quarta questão de pesquisa apresentada no capítulo de introdução desta tese, ao analisar alguns dos principais desafios que enfrentei e aqueles que imagino estarem colocados diante dos professores que se dispuserem a incluir explicitamente o conteúdo epistemológico no currículo da educação básica. Alguns desses desafios envolvem a necessidade de novas pesquisas e essa é a razão pela qual também utilizarei



essa última seção para situar as contribuições da minha própria pesquisa para a área em que ela se insere. Ao fazer isso, indicarei as questões sobre as quais eu, particularmente, acredito que nós precisamos saber mais.

Apesar de todas as limitações da experiência que vivenciei junto a um professor e sua turma - inicialmente na 7^a e, posteriormente, na 8^a série do ensino fundamental – eu acredito ter reunido evidências que apontam para avanços no conhecimento epistemológico dos estudantes e indicam relações entre esses avanços e os impactos de meu projeto de pesquisa no ambiente em que ele se desenvolveu.

VI.1- Por uma noção ampliada de conteúdo curricular

A relação entre o aprender ciências e o aprender sobre as ciências é o centro do trabalho de Leach e Lewis (2002). Esses autores partem do pressuposto de que o conhecimento conceitual dos estudantes tem uma dimensão epistemológica intrínseca. Assim, parte da aprendizagem de leis, teorias ou conceitos das ciências envolve aprender a reconhecer como esses itens específicos do conhecimento científico são usados para fazer previsões e gerar explicações ou para orientar escolhas e decisões em situações específicas. Por isso, Leach e Lewis (ibidem) consideram útil fazer uma distinção entre aprender leis, teorias e conceitos das ciências (tradicionalmente chamados de aprendizagem de conceitos científicos) e aprender como o conhecimento é usado em situações reais (o que necessariamente envolve conhecimento epistemológico sobre a natureza dos conceitos científicos e as condições-limite que governam a aplicação desses conceitos em situações particulares)⁵⁶.

O argumento desses autores de que todo conhecimento conceitual possui uma dimensão epistemológica é completamente coerente com a perspectiva fundamental que motivou essa tese: a idéia de que é necessário coordenar três dimensões do saber das ciências e promover o aprender

⁵⁶ É possível, por exemplo, aprender diversos conceitos da termodinâmica e ter uma idéia de como esses conceitos relacionam-se uns aos outros sem saber usá-los em situações da vida real. Aliás, diga-se de passagem, esse é exatamente o aprendizado da física que eu tive oportunidade de fazer quando me graduei nessa disciplina pela UFMG nos idos de 1986.



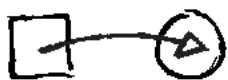
as idéias das ciências, o aprender sobre as ciências e o aprender a fazer ciências. Ainda assim, o modo como eles lidam com esse argumento e sua ênfase na idéia de que o saber escolar deve ser relevante para a vida em sociedade, com seus problemas e demandas reais, me trouxe um novo olhar sobre minha compreensão original da integração entre as três dimensões citadas.

Adotando o ponto de vista desses autores, pode-se inferir que o saber sobre as ciências transcende o argumento cultural em defesa de conteúdos do currículo, que eu apresentei na introdução desta tese, e que foi caracterizado originalmente por Millar (1996). Hoje compreendo que o foco na perspectiva cultural foi predominante no material que elaborei para sustentar a experiência em sala de aula concebida para coordenar o aprender ciências com o aprender sobre as ciências.

Antes de conceber esse material, eu não antevi situações do dia a dia para as quais haveria uma diferença fundamental entre interpretar ou não os fenômenos luminosos associados aos processos de luz e visão sob o ponto de vista das ciências. Meu objetivo era tão somente o de produzir atividades que permitissem a discussão dos aspectos da natureza das ciências mencionados no diagrama I.1, mas que também garantissem uma aprendizagem significativa dos conceitos, modelos e teorias historicamente produzidos nas ciências para a compreensão dos fenômenos luminosos.

Todavia, em outros temas em relação aos quais eu tenho mais clareza acerca de como a adoção do ponto de vista das ciências mudaria as ações, decisões e escolhas dos sujeitos em situações reais, eu entendo o enorme alcance do que Leach e Lews (2002) querem dizer quando caracterizam a dimensão epistemológica intrínseca a todo conhecimento conceitual. A partir do que eles nos dizem é legítimo perguntar: do que adianta saber ciências sem compreender as limitações ou os contextos de validade desse saber?

Em algumas situações, o argumento cultural mostra-se legítimo e é suficiente para sustentar a inclusão de certos temas no currículo. Todavia, é um equívoco restringir o currículo ao cultural, entendido como pitoresco e ilustrativo. Fazer isso é abandonar a perspectiva de que os processos de formação que ocorrem na educação básica devem valer “para além dos muros da escola”. É também esquecer que a função social da escola é mudar a relação dos sujeitos com situações encontradas comumente na sociedade contemporânea, para as quais as práticas culturais



historicamente desenvolvidas pelas ciências mostram-se especialmente úteis. Resumindo: não podemos admitir conteúdos no currículo cujos sentidos e usos se restrinjam completamente à escola!

Uma das razões que leva a educação básica a produzir uma ciência escolar cuja validade fica restrita aos muros da escola é apontada por Lemke (2002) quando ele faz uma dura crítica ao modelo cognitivo da educação em ciências. Ao questionar os professores de ciências sobre quais são seus princípios objetivos pedagógicos, esse autor relata que se depara sempre com respostas tais como: “contribuir para que meus alunos compreendam os conceitos básicos da física, da química e da biologia”. A restrição dessa declaração aos termos “comprender” e “conceitos” impõe graves e desnecessárias limitações às diversas contribuições que a educação em ciências pode apresentar para a formação dos estudantes.

Lemke (ibidem) propõe outras respostas à pergunta fundamental sobre qual é o objetivo da educação em ciências. Ele sugere que se incorpore a intenção de contribuir para que os alunos raciocinem como fazem os cientistas, que sejam capazes de empregar as ferramentas e práticas científicas destinadas à resolução de problemas, de debater temas científicos e de participar da vida cotidiana em uma sociedade tecnológica. Em síntese, ele propõe que pensemos na educação científica como um processo de aquisição de práticas culturais. Esse ponto de vista está sustentado na avaliação de que:

A ciência não pode ser reduzida a seus produtos: o que a ciência diz sobre o mundo não é propriamente ciência. A ciência propriamente dita é uma atividade humana que produz essas afirmações e teorias e, portanto, aprender ciências não é apenas conhecer o que a última geração de cientistas pensava sobre o mundo: é descobrir como se re-elaboram nossas imagens do mundo a cada nova geração de cientistas (LEMKE, 2002, p. 162).

A posição desse autor vai de encontro a um amplo movimento internacional de renovação pedagógica que tem como perspectiva a ampliação do conceito de conteúdo escolar. Os PCN são a expressão nacional desse movimento. Sistemas de avaliação como o SAEB, também defendem



teoricamente a mesma ampliação ao utilizarem termos como habilidades e competências para descreverem os objetivos da educação básica⁵⁷.

A perspectiva de ampliação do conceito de conteúdo escolar contida nos PCN está relacionada à proposição de três dimensões para o currículo e para o planejamento pedagógico vinculadas aos conceitos de conteúdo conceitual, atitudinal e procedimental. Uma outra maneira de nos referirmos a essas dimensões é utilizar, respectivamente, os termos “aprender”, “aprender a ser” e “aprender a fazer”.

Há uma relação bastante clara entre a perspectiva de ampliação do conteúdo curricular proposta pelos PCN e aquela que eu escolhi e que apresentei na introdução desta tese quando me referi ao “aprender ciências” (compreensão dos conceitos, modelos e teorias das ciências), ao “aprender sobre ciências” (compreensão dos métodos de investigação e dinâmicas sociais que caracterizam as ciências como um empreendimento cultural) e ao “aprender a fazer ciências” (apropriação das práticas culturais que permitem às ciências produzir conhecimentos confiáveis e pôr em cheque saberes constituídos).

Cada uma dessas dimensões contamina e altera a maneira como concebemos as outras duas. Embora o foco de minha pesquisa tenha recaído na aprendizagem **sobre as ciências**, defendo a perspectiva de que essa aprendizagem só adquire sentido em articulação com a aprendizagem das duas outras dimensões do currículo de ciências. Assim, de acordo com a minha convicção, o desenvolvimento das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências não é um objetivo em si, mas uma dimensão importante para a construção de uma prática pedagógica comprometida com a exploração de todas as contribuições do ensino de ciências para a formação de cidadãos críticos e socialmente responsáveis.

Partindo dessa perspectiva, a unidade de ensino cujo desenvolvimento eu concebi e acompanhei não criou situações artificiais concebidas exclusivamente para promover discussões ou reflexões

⁵⁷ Termos como habilidades e competências ganharam muito espaço na mídia em função do discurso em prol do “aprender a aprender” ao qual me referi brevemente na introdução desta tese, quando descrevi as expectativas criadas na atualidade em relação à função social da escola. Contudo, como a lista de descritores que especifica os conteúdos das avaliações do SAEB se restringe a tópicos de conteúdo programático maquiados com a linguagem de objetivos operacionais de Bloom (1974), os termos habilidade e competência caem no vazio.



sobre a natureza das ciências, mas buscou identificar e “aproveitar” as oportunidades nas quais essas discussões e reflexões poderiam ocorrer durante o desenvolvimento da unidade de ensino.

Na introdução desta tese eu defendi o ponto de vista de que o “aprender ciências” e o “aprender sobre ciências” são duas dimensões indissociáveis da educação em ciências e estarão sempre articuladas, independentemente, do fato de existir ou não uma intenção premeditada ou um planejamento pedagógico explícito para promover esta articulação. Mas, por que eu excluí o “aprender a fazer ciências” dessa relação de indissociabilidade, já que defendo a articulação entre os três tipos de aprendizagem?

Para compreender o tratamento diferenciado que dei a essa terceira dimensão da educação em ciências é preciso, em primeiro lugar, lembrar que a atividade científica regular é uma atividade bastante específica e é conduzida por profissionais. A escola não forma cientistas e nem, necessariamente, futuros cientistas. Os estudantes que vierem a se dedicar a outras áreas de atuação, fora da carreira científica, jamais farão ciência no sentido literal. Por esta razão, “aprender a fazer ciências” é assumido aqui como equivalente a desenvolver habilidades associadas à produção de conhecimento confiável ou avaliação de proposições e “fatos” atribuídos às ciências. Como eu disse anteriormente, ao dar voz a Lemke (2002), estimular o “aprender a fazer ciências” equivale a inserir os estudantes na cultura das ciências.

Ainda são relativamente raras pesquisas como as de Ryder (2002) que investigam os impactos da educação científica escolar e, particularmente, do conhecimento epistemológico adquirido pelos estudantes, em situações do dia a dia⁵⁸. Mesmo assim, eu continuo a acreditar na importância de desenvolver habilidades associadas ao “fazer ciências”, do modo como eu as caracterizei acima. O modo como essas habilidades são definidas depende, obviamente, de como concebemos tanto a atividade científica, quanto a práxis social dos sujeitos envolvidos no processo educacional.

⁵⁸ Há alguns anos, encontrei-me com uma ex-aluna de ensino médio que disse ter muitas saudades de mim e de minhas aulas. No meio da conversa, ela enumerou algumas ocasiões, experiências e frases que ficaram em sua memória. Dentre elas, disse-me lembrar de uma ocasião em que discutimos em uma aula de mecânica newtoniana a distinção entre o que é lógico e o que é “verdadeiro”. Segunda essa ex-aluna essa discussão foi marcante para ela e mudou o modo como ela passou a considerar as idéias de lógica e verdade.



Se ainda não posso basear essa minha convicção em resultados de pesquisas empíricas, que contrastem o que uma pessoa que “aprendeu a fazer ciências” pode fazer em relação a uma pessoa que não teve acesso a essa aprendizagem, acredito poder apresentar depoimentos pessoais, que vinculam minha própria aprendizagem em ciências às coisas que pude realizar e à maneira como eu enxergo e me posiciono diante de minha própria realidade.

Definir um projeto pedagógico para ensinar os estudantes a “fazer ciência”, em seu dia a dia, é uma tarefa difícil e, sob certo ponto de vista, beira à utopia⁵⁹. É importante dizer que não tive essa pretensão, ao produzir as atividades utilizadas na unidade de ensino que gerou os dados de minha pesquisa empírica. Como disse anteriormente, eu estava mais preocupado em articular o aprender ciências e o aprender sobre ciências. Contudo, já que acredito na complementaridade⁶⁰ entre as três dimensões da educação citadas anteriormente, decidi produzir algumas reflexões, neste último capítulo da tese, sobre o que poderia vir a ser o “aprender a fazer ciências”.

Na literatura encontramos referências muito distintas sobre o que pode significar a pretensão de educar os estudantes a “fazer ciência”. Zimmermam (2000) apresenta um cuidadoso trabalho de revisão bibliográfica das pesquisas que têm focalizado o desenvolvimento de habilidades de raciocínio científico e resolução de problemas, envolvidas na geração de hipóteses, na concepção de experimentos, na condução dos experimentos e na avaliação de evidências. Embora essa área de pesquisa tenha migrado, nos últimos anos, das pesquisas de cunho predominantemente psicológico e cognitivista para a investigação de habilidades de raciocínio em domínios específicos do conhecimento escolar, ela produziu poucos desdobramentos capazes de gerar diretrizes de intervenção pedagógica e metas curriculares para o desenvolvimento do “aprender a fazer ciências”.

Millar (1998) ressalta a falta de consenso entre pesquisadores na educação em ciências, no que diz respeito à caracterização das habilidades e estratégias que configuram os métodos da

⁵⁹ A utopia, para mim, define valores e estabelece metas. Esta dimensão da educação em ciências, presente em meu referencial teórico, deve seu valor, justamente, à sua natureza utópica.

⁶⁰ A complementaridade é um tipo de relação diferente da indissociabilidade. Elementos indissociáveis não existem independentemente um do outro. Elementos complementares, por sua vez, reforçam-se mutuamente.



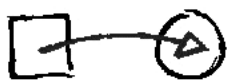
ciência⁶¹. Ele identifica quatro diferentes modelos educacionais a partir dos quais se pode conceber o que eu estou chamando de “aprender a fazer ciência”. O primeiro modelo aborda essa aprendizagem como um processo de treinamento que leva ao domínio de um conjunto de habilidades supostamente necessárias à utilização do “método científico”, que é concebido como uma espécie de algoritmo. O segundo modelo enfatiza o domínio de estratégias e procedimentos lógicos associados ao controle de variáveis e à avaliação de evidências. Estes dois primeiros modelos retratam a ciência como seguindo padrões e métodos invariáveis de investigação e, por esta razão, estão situados em uma perspectiva epistemológica muito distante da que eu apresentei no corpo desta tese.

Um terceiro modelo, que trabalha sob uma perspectiva cognitivista, concebe a investigação científica e o “fazer da ciência” como uma forma de resolução de problemas. Nele se inserem os trabalhos contemplados pela cuidadosa revisão bibliográfica realizada por Zimmermann (2000).

Existe ainda um quarto modelo que desloca o foco dos modelos anteriores, do assim chamado “contexto da descoberta”, para o “contexto da justificação”. Esse modelo, segundo o autor, situa-se em um terreno menos impreciso e polêmico do que os anteriores, pois se centra na capacidade de ensinar modos de avaliar dados e evidências e de apresentar justificativas para sustentar conclusões, ao invés de tentar ensinar aos estudantes como produzir conhecimento autêntico de modo mais criativo ou tentar resolver autonomamente novos desafios.

Além das razões citadas por Millar (1998), para afastar meu modo de conceber o “aprender a fazer ciências” da perspectiva apresentada pelos três primeiros modelos que ele descreve, eu encontrei uma outra razão associada a reflexões não mencionadas no trabalho desse autor. Essas mesmas reflexões modificam o modo como Millar (ibidem) caracteriza o quarto modelo. A outra razão é derivada da idéia de que as ciências são um empreendimento coletivo.

⁶¹ O autor afirma que esta falta de consenso explica porque a compreensão e o ensino dos métodos de investigação científica são frequentemente tratados como um aspecto tácito da aprendizagem em ciências. Ele propõe um modo de ensinar os estudantes a fazer ciências como o desenvolvimento de sua capacidade em: (a) selecionar e conceber questões passíveis de investigação, a partir de um determinado problema; (b) conceber observações controladas e experimentos adequados para produzir dados e evidências que tragam informações e esclarecimentos ao tratamento das questões de pesquisa; (c) adotar os devidos cuidados para aumentar a validade e a confiabilidade dos dados e evidências; (d) interpretar os dados e evidências para extrair deles conclusões possíveis e sustentáveis em relação às questões iniciais.



O fazer das ciências não é um fenômeno individual, embora seja realizado por indivíduos. A ciência se produz no interior de comunidades que compartilham teorias, ontologias, metodologias, compromissos epistemológicos, valores sociais e cognitivos, tanto no nível do conhecimento formalizado e consciente, quanto no nível do conhecimento tácito.

Existem modos de conceber a educação em ciências que levam em consideração a dimensão social do processo de produção e validação do conhecimento. Chinn e Brewer (1993), após discorrerem sobre variações nos comportamentos individuais dos estudantes diante de fenômenos que desafiam seu conhecimento prévio, defendem a constituição de comunidades de aprendizagem capazes de compartilhar e nutrir valores que permitam aos estudantes superar a seguinte dicotomia: ou ficar avessos a qualquer nova idéia que desafie seus modos de compreensão e interpretação da realidade, ou aceitar qualquer nova idéia sem apreciação crítica. Esta proposta entende que a educação em ciências pode contribuir para a formação do espírito crítico ao estabelecer critérios e estratégias para a avaliação de idéias.

As pesquisas de Kuhn, D. (1993a e 1993b) sugerem a existência de uma provável relação entre habilidades de argumentação e habilidades de avaliação da relação entre explicações e evidências, tanto em contextos formais e científicos, quanto em contextos informais ou cotidianos. Pode-se concluir daí que desenvolver habilidades de argumentação e de avaliação de evidências no ambiente escolar acentua o caráter formador da educação em ciências. Essa formação pode contribuir para o desempenho de atividades importantes em contextos de vida extra-escolar.

Além de tudo o que eu disse nos parágrafos anteriores, ao definir a argumentação como estratégia fundamental do processo de produção e validação do conhecimento científico (ZIMAN, 1979), eu apresento um modo de conceber o “fazer da ciência” que privilegia certas características da educação em ciências em detrimento de outras. No nível do ensino fundamental, esta perspectiva enfatiza as atividades concebidas para desenvolver a capacidade dos estudantes em construir argumentos baseados em evidências e extrair implicações das idéias e explicações sob avaliação, ampliando a perspectiva proposta por outros enfoques predominantemente preocupados com o desenvolvimento de destrezas para a condução de experimentos e para a adoção dos devidos cuidados na realização de medidas experimentais.



Há, ainda, uma outra contribuição importante que quero acrescentar. Parte do processo de aprender a “fazer ciência” é de natureza tácita e tem, portanto, uma dimensão de “aprender fazendo”. Assim, por exemplo, ao articular este tipo de aprendizagem com a afirmação de que ciência é imaginação e modelização, no quadro III.5, resaltei uma dimensão do fazer ciência que diz respeito à realização de atividades nas quais os estudantes sejam estimulados a produzir modelos e esquemas para descrever, representar e comunicar raciocínios ou explicações sobre fenômenos naturais ou tecnológicos.

No quadro III.7, ao articular este mesmo tipo de aprendizagem com a afirmação de que ciência é devir acentuei a necessidade de que os estudantes sejam estimulados e assistidos na tarefa de utilizar idéias e conceitos provenientes das ciências para produzir novos modos de compreender e intervir em sua própria realidade. O devir, a criatividade e a provisoriade são, dentro dessa perspectiva, marcas que o sujeito passa a reconhecer e a atribuir, não apenas ao conhecimento científico, mas ao seu próprio conhecimento do mundo. Colocar esse conhecimento em permanente diálogo com os conhecimentos produzidos pelas ciências passa a ser um valor cognitivo e uma atitude a ser alcançada pela educação em ciências.

A relação entre aplicação de conceitos e teorias a novos contextos, provisoriade do conhecimento, atividade científica e criatividade é consistentemente estabelecida em Bohm e Peat (1987). Pois bem, são atos criativos similares aos apontados por esses autores que nossos estudantes devem se tornar capazes de realizar ao “fazer ciência” em seu cotidiano. Chamo de ato criativo, nessas circunstâncias, à capacidade de derivar implicações de um conceito ou teoria numa dada situação. O ineditismo do ato criativo concebido desse modo passa a ser uma característica secundária da criatividade. A medida do ineditismo, nesse caso, recai sobre o próprio sujeito. Para o sujeito, toda nova idéia construída a partir de seu raciocínio pode ser entendida como um ato de criação.

Muito do que consideramos construção autêntica e criativa de conhecimento consiste na extração de implicações de idéias, conceitos e teorias que aprendemos nas diversas esferas de nossa inserção na realidade. O conhecimento nunca é completamente inédito, na medida em que ele se constitui a partir da apropriação pelo indivíduo de segmentos da cultura na qual ele está inserido.



Como professor, eu reconheço que grande parte de minha compreensão dos conceitos e teorias das ciências foi sendo gerada, paulatinamente, enquanto eu dava aulas e derivava conseqüências e implicações das idéias das ciências, aplicando-as aos fenômenos e criando modelos destes mesmos fenômenos⁶². É essa capacidade de extrair implicações dos princípios e teorias científicas que permite avançar e tornar mais complexo o nosso conhecimento sobre o significado destes mesmos princípios e teorias, e sobre os “mundos possíveis” e realidades aos quais eles se referem.

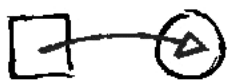
Os modelos cumprem um papel central neste processo, pois, além de um poderoso meio de comunicação, são instrumentos também poderosos de organização do pensamento e permitem derivar implicações das teorias, representando o real e produzindo simulações de fenômenos, processos e acontecimentos. São instrumentos de comunicação na medida em que transformam teorias e pensamentos em objetos que podem ser submetidos à análise e à consideração de nossos interlocutores, sejam eles alunos ou colegas de profissão. Isso é muito similar ao que eu imagino ocorrer também com os cientistas que utilizam as teorias e modelos admitidos em suas áreas, para a produção de conhecimentos sobre fenômenos naturais ou sociais. É, também, similar àquilo que acredito que a educação em ciências deve permitir aos estudantes realizar com o conhecimento a que eles têm acesso na escola.

VI.2- O conhecimento epistemológico como conteúdo da educação escolar

A década de 90 marcou o crescimento do número de pesquisas associadas ao desenvolvimento de projetos ou metodologias de ensino especialmente orientados para transformar a ciência escolar em um instrumento para compreensão da atividade científica.

Millar e Osborne (1998), por exemplo, propõem uma série de diretrizes para orientar a ação dos professores de modo a desenvolver a compreensão dos estudantes sobre as ciências e a produção do conhecimento científico. Essas diretrizes concebem esse processo de desenvolvimento a longo

⁶² Paulo Freire (FREIRE, 1981) afirmou de modo enfático que quem ensina também aprende, ao nos explicar a relação dialética entre ensino e aprendizagem.



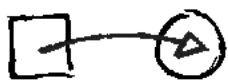
prazo. Há metas propostas para cada um dos segmentos que compõem a educação básica dos cinco até os dezesseis anos de idade.

De acordo com as metas apresentadas no documento organizado por esses autores, os estudantes de seis aos onze anos devem começar a compreender o papel das medições na realização de um registro mais preciso de eventos e ter acesso a relatos não fictícios sobre como novas idéias foram concebidas nas ciências. O objetivo desses relatos seria ilustrar a importância que as evidências têm para o convencimento e a aceitação de novas idéias pela comunidade científica.

Dos doze aos quatorze anos, os estudantes deveriam ter a oportunidade de aprender por meio de reflexões realizadas a partir de seu próprio trabalho prático de investigação que: (a) nenhuma observação ou medida pode proporcionar certeza ou exatidão, pois existe sempre um nível de incerteza envolvida; (b) repetir medidas e usar seus valores médios é uma boa maneira de reduzir o efeito de erros aleatórios sempre presentes nos processos de medida; (c) em diversas circunstâncias, o controle de variáveis é uma estratégia eficaz para se investigar a relação entre duas variáveis, mantendo outros fatores constantes.

Os estudantes dessa faixa etária também deveriam conhecer histórias sobre o desenvolvimento de conquistas importantes nas ciências que ilustrem as seguintes idéias gerais: (a) as explicações científicas vão além dos dados disponíveis e não emergem desses dados de modo simples ou direto, pois envolvem necessariamente *insights* criativos; (b) novas idéias frequentemente encontram forte oposição para se estabelecerem, tanto por parte de indivíduos quanto de grupos sociais, algumas vezes em função de compromissos religiosos, filosóficos, políticos ou econômicos mais amplos; (c) qualquer relato de um novo achado científico ou explicação proposta a um determinado conjunto de fenômenos deve se submeter ao escrutínio de outros cientistas que trabalham no mesmo campo, antes de ser aceito como conhecimento científico.

Esses mesmos estudantes deveriam ser levados a refletir sobre algumas das aplicações atuais das ciências com grandes impactos sociais de modo que eles se tornem capazes de: (a) reconhecer que as inovações trazem tanto benefícios quanto riscos, incluindo os que ainda são desconhecidos pelos cientistas e pela sociedade; (b) compreender que as decisões sobre quais soluções podem ser consideradas mais apropriadas a um determinado problema são influenciadas



por uma larga faixa de fatores, incluindo a viabilidade técnica, o custo econômico, o impacto social e ambiental, as implicações éticas e os compromissos de natureza política ou religiosa.

À medida que os estudantes progredem dentro de uma nova faixa etária, avançando dos quinze aos dezesseis anos, eles deveriam ampliar sua compreensão das idéias gerais delineadas nos estágios anteriores, vendo como elas se aplicam em uma grande faixa de situações e casos. Além disso, eles deveriam compreender que a existência de uma correlação entre duas variáveis não necessariamente implica em que elas têm entre si uma relação de causa e efeito, assim como estarem aptos a conceber investigações com controle de variáveis em situações que envolvem diversas variáveis independentes.

Nessa nova faixa etária, os estudantes deveriam ser familiarizados com histórias sobre o desenvolvimento de idéias importantes nas ciências, as quais ilustrem as seguintes idéias: (a) as evidências carregam freqüentemente incertezas e não apontam conclusivamente para nenhuma explicação de modo simples; (b) se uma explicação prediz um evento que de outra forma não seria esperado (ou sequer imaginado), isto aumenta fortemente nossa confiança na explicação; (c) o progresso científico pode depender de um trabalho cuidadoso e meticuloso, tanto quanto de conjecturas criativas.

No que diz respeito à compreensão das aplicações do conhecimento científico pretende-se que os estudantes sejam capazes de reconhecer que muitas coisas que nós gostaríamos de compreender não podem ser completamente explicadas em função da enorme complexidade dos processos envolvidos. Nessas circunstâncias, o melhor que podemos fazer é identificar correlações entre possíveis fatores e determinar a probabilidade de ocorrência de certos resultados. Por fim, os estudantes deveriam tornar-se aptos a distinguir entre questões técnicas (o que é possível) e questões éticas (o que deveria ser feito) ao considerar problemas que envolvem ciência e tecnologia.

No trabalho de Millar e Osborne (*ibidem*), vemos a importância que os autores atribuem aos processos de experimentação em sala de aula e à análise das medições, ao significado dos erros de medida e à compreensão dos limites do conhecimento científico derivados dos próprios limites da experimentação como processo de produção e validação de conhecimento. Eu também



acredito nessa importância e na necessidade de nos preocuparmos com esses aspectos, mas percebo que é mais difícil promover reflexões sobre a natureza das ciências a partir deles, aqui no Brasil.

Nesse caso, não se trata, obviamente, de limitações cognitivas ou culturais de estudantes ou professores brasileiros, mas da precariedade material de nossas escolas. Eu não fiz nada relacionado a isso na experiência de ensino-aprendizagem que constituiu a parte empírica de minha pesquisa, mas se tivesse a pretensão de fazê-lo, teria que levar materiais específicos para o desenvolvimento de atividades experimentais, não podendo contar com os materiais já disponíveis na escola. A realização de experimentos quantitativos, dependendo do assunto que estamos a desenvolver, exige materiais e equipamentos mais sofisticados, geralmente não disponíveis na grande maioria de nossas escolas.

Como tive a oportunidade de dizer no capítulo de metodologia, a escolha dos aspectos do conhecimento científico sobre os quais trabalhei foi influenciada pelo trabalho de Driver et al. (1996). Nesse trabalho, os autores investigam as concepções de estudantes de diversas faixas etárias sobre o propósito do trabalho científico, as formas científicas de pesquisa (com o foco no papel da experimentação no processo de produção do conhecimento científico), a natureza das explicações na ciência, os processos de avaliação de uma teoria, o caráter provisório, conjectural e controverso do conhecimento científico.

Esse último aspecto só foi avaliado em estudantes de 16 anos. Para justificar essa decisão, os autores alegaram que uma avaliação comparativa realizada, nas diversas faixas etárias, indicava esse tema como sutil e complexo demais para ser analisado por estudantes mais jovens. Para os estudantes de 16 anos, utilizou-se a controvérsia sobre a teoria da deriva continental proposta por Wegener, na década de 1920, como exemplo de uma situação na qual especialistas alcançam diferentes conclusões partindo de uma mesma base de evidências empíricas.

Apesar da grande influência do trabalho desses autores na concepção de algumas das diretrizes fundamentais do meu projeto de pesquisa, eu decidi investigar o entendimento de sujeitos de 13 anos de idade do mesmo aspecto da atividade científica que esses autores realizaram apenas com estudantes de 16 anos. A ótica era o assunto programado pelo professor para o trimestre em que



nós trabalharíamos juntos a partir de atividades que eu produzi para subsidiar nossa experiência de ensino-aprendizagem com os estudantes. Por isso, eu propus a análise da disputa entre os modelos ondulatório e corpuscular da luz.

Essa escolha não se mostrou problemática. Ao contrário, os estudantes se envolveram na discussão a ponto de ser possível encontrar influências dessa experiência em suas imagens das ciências, cerca de um ano e meio depois dela ter efetivamente acontecido em sala de aula. A avaliação da pertinência dessa discussão para alunos de 7ª série, com 13 anos de idade, não é apenas minha. O professor com o qual eu vivi a experiência de tratar dessa controvérsia em sala de aula, no segundo trimestre letivo de 2001, resolveu repetir e até estender o tratamento da controvérsia com uma nova turma de 7ª série, no ano posterior, em 2002.

Driver et al. (ibidem), baseando-se nos dados obtidos com a sua pesquisa, montaram um quadro de referência propondo uma tipologia geral dos compromissos e do raciocínio epistemológico dos estudantes. O quadro discrimina três diferentes níveis epistemológicos que foram assim denominados: 1º- Raciocínio baseado nos fenômenos; 2º- Raciocínio baseado em relações; 3º- Raciocínio baseado em modelos.

Os critérios adotados para discriminar esses três níveis foram: (a) a representação do aluno sobre o que constitui uma investigação científica; (b) a maneira como o aluno compreende a natureza e a função das explicações científicas; (c) o modo como o aluno estabelece relações entre explicações e descrições.

Segundo os autores, a característica central das representações do primeiro nível, denominado raciocínio baseado nos fenômenos, é a falta de distinção entre descrições e explicações. A investigação científica é retratada como uma busca para realização de observações que permitam estabelecer o que *realmente* ocorre nos fenômenos. A explicação equivale a uma re-descrição do fenômeno.

No segundo nível, denominado raciocínio baseado em relações, o estudante já realiza distinções entre explicações e observações. As explicações, contudo, são vistas apenas como generalizações ou leis empíricas, isto é, como relações ou regularidades que podem ser encontradas através das observações. Além disso, as relações causais são lineares ou constituídas por seqüências do tipo:



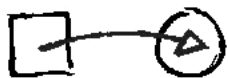
“isso causa aquilo e, portanto, quanto mais isso, mais aquilo” ou “isso causa aquilo que, por sua vez, causa esse outro fenômeno e, assim por diante”.

Ainda no segundo nível, o caráter conjectural do conhecimento científico não é explicitamente admitido e entidades inobserváveis como calor e energia tendem a ser substancializadas ou encaradas como entidades reais e não como construtos. Uma característica adicional desse nível é a preferência em acreditar que as explicações provêm dos dados de uma maneira indutiva. As investigações científicas são vistas, por isso mesmo, como especialmente orientadas para “provar” que uma determinada variável, de fato, influencia ou causa um determinado fenômeno.

O núcleo do terceiro nível epistemológico é a idéia de que a explicação é constituída através da modelização da realidade. Ao contrário dos níveis anteriores, nos quais a explicação é formulada na “linguagem das observações”, admite-se que a linguagem utilizada para produzir explicações no terceiro nível é povoada por entidades abstratas - que não podem ser observadas diretamente - como átomos, moléculas, campos magnéticos, código genético, etc. As explicações são constituídas por narrativas envolvendo tais entidades abstratas. Os autores assinalam o fato de que isso marca uma clara descontinuidade entre descrições e explicações.

Segundo os autores, praticamente nenhum estudante da grande amostra que eles pesquisaram demonstrou ter alcançado plenamente o terceiro nível descrito acima, embora alguns apresentassem idéias e pontos de vista que poderiam ser classificadas como próximos a esse nível. Além de fatores associados à idade, os autores sugerem que a limitação dos estudantes a níveis mais baixos de raciocínio e compromissos epistemológicos pode ter sido provocada pela falta de atenção dada ao tratamento explícito de questões de natureza epistemológica nos currículos tradicionais de ciências a que os estudantes estiveram expostos.

Os instrumentos que utilizei para realizar a entrevista final em minha própria pesquisa me permitem afirmar que os estudantes que pesquisei alcançaram - em diversos aspectos - o nível que os autores cujo trabalho venho discutindo denominaram como terceiro nível ou “nível do raciocínio epistemológico baseado em modelos”. Esses instrumentos estiveram centrados na unidade de ensino que havia sido desenvolvida com eles um ano e meio antes da entrevista. As atividades usadas nessa unidade insistiram na caracterização das ciências como atividades



estruturadas a partir da imaginação e modelização, uma das oito dimensões da natureza das ciências destacadas pelo diagrama III.1. Isso explica a grande incidência do raciocínio epistemológico baseado em modelos entre os estudantes que pesquisei.

Esse é um argumento a favor da ênfase na tomada de consciência por parte dos estudantes sobre o uso da modelização como estratégia privilegiada para produção do conhecimento científico. É óbvio, entretanto, que esse é um objetivo de longo prazo.

O trabalho realizado pelo professor no período que sucedeu a etapa na qual estive a acompanhar suas aulas reforçou essa caracterização das ciências. Isso fica evidente quando consideramos as referências realizadas pelo próprio professor, tanto quanto por seus alunos, às atividades sobre o modelo cinético-molecular da matéria, dentro de uma unidade de ensino dedicada à química. As referências espontâneas e coincidentes a esse trabalho e o significativo intervalo de tempo entre as entrevistas inicial e final me levam a acreditar que o objetivo de elevar os estudantes ao nível do raciocínio epistemológico baseado em modelos foi efetivamente alcançado. Acredito ter captado na entrevista final pontos de vista sedimentados entre os alunos, assim como ter conseguido evitar que eles apenas se limitassem a repetir “discursos sobre as ciências”, um risco que eu quis afastar por meio do desenho metodológico da minha pesquisa.

Os estudantes que pesquisei demonstraram conceber a investigação científica como uma atividade destinada a produzir conhecimento confiável sobre questões curiosas ou socialmente relevantes e compreender que as explicações científicas ultrapassam a mera descrição e contêm, necessariamente, elementos não observáveis e produzidos criativamente pela imaginação.

Uma implicação importante desse resultado para a prática pedagógica na educação em ciências é a de que o avanço nos modelos causais construídos ou compreendidos pelos alunos abre espaço para que eles admitam o caráter conjectural das explicações e teorias científicas. Torna-se claro, a partir desse avanço, que as teorias e explicações não podem ser deduzidas diretamente dos dados ou observações e que um ato criativo é necessário para produzir uma teoria ou modelo. A avaliação de teorias passa, também, a ser vista como uma avaliação da consistência das observações com as previsões do modelo conjectural. Além disso, se as explicações são



constituídas por modelos e representações, por que não admitir a possibilidade de que mais de uma explicação plausível seja formulada sobre uma determinada realidade?

Smith et al. (2000) usaram uma metodologia bastante diferente daquela usada por Driver et al. (ibidem). O instrumento de pesquisa usado nesse trabalho é um protocolo de entrevista constituído por 21 questões. As entrevistas são individuais e pré-estruturadas. Os temas contemplados são: (a) as metas da ciência; (b) os tipos de questões formuladas pelos cientistas e maneiras como eles buscam obter respostas; (c) a natureza e os propósitos dos experimentos; (d) os significados atribuídos pelos estudantes aos termos hipótese e teoria; (e) a natureza dos processos de mudança e avanço do conhecimento científico.

O protocolo da entrevista conduzida por esses autores traz questões bastante genéricas. Ao trocar atividades ricas e contextualizadas, por perguntas propostas em uma entrevista pré-estruturada, os autores acabam apresentando aos sujeitos entrevistados, definições padronizadas, singelas e problemáticas para os termos hipótese e teoria. Isso, obviamente, não decorre de fragilidades teóricas dos autores, mas da necessidade de que as perguntas propostas na entrevista fossem compreensíveis aos estudantes.

Ao abordar as diversas hipóteses encontradas na literatura para interpretar as dificuldades dos estudantes mais jovens em desenvolver epistemologias mais sofisticadas, esses autores distinguem as limitações das experiências escolares prévias dos alunos sobre as ciências e os constrangimentos ligados ao processo de desenvolvimento cognitivo do aluno. Suas conclusões reforçam a importância das limitações das experiências escolares para o desenvolvimento de uma epistemologia mais sofisticada pelos alunos, mas fornecem indícios contrários a constrangimentos ligados ao processo de desenvolvimento cognitivo, pelo menos na maneira como eles mesmos interpretam tais constrangimentos.

Realmente, os depoimentos atribuídos aos alunos do ambiente de ensino-aprendizagem construtivista, com idade máxima de 12 anos, são surpreendentemente avançados e revelam não apenas fortes traços de epistemologia construtivista, como também uma sofisticada capacidade de argumentação, reflexão e metacognição.



A partir desses dados, Smith et al. (ibidem) afirmam que ambientes construtivistas de ensino-aprendizagem, como o que eles descrevem em sua pesquisa, podem gerar grandes avanços na epistemologia dos estudantes. Essa resposta foi obtida mediante a comparação entre as entrevistas de alunos submetidos a uma perspectiva de ensino de ciências mais tradicional e as entrevistas de alunos que vivenciaram um ambiente construtivista de investigação e cooperação, por vários anos seguidos, na produção e validação de conhecimentos sobre o mundo natural.

Apesar de eu não ter tido acesso a um ambiente de aprendizagem similar àquele que esses autores descrevem em seu trabalho, eu acredito que sua constatação acerca da maior potencialidade exibida por ambientes construtivistas para a evolução do conhecimento epistemológico dos estudantes é corroborada em minha tese.

O vínculo estabelecido por esses autores entre ambientes construtivistas e evolução da compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências, tanto quanto o indicativo encontrado em Driver et al. (1996) de que o foco na modelização também contribui para essa evolução foram as diretrizes mais importantes para orientar as decisões que tomei ao conceber as atividades de ensino aprendizagem e negociar sua realização em sala de aula junto ao professor.

Além disso, são essas mesmas diretrizes que justificam minha opção em ter priorizado a escolha de um ambiente de aprendizagem gerenciado por um professor comprometido em estimular a atividade e a participação dos estudantes no desenvolvimento dos temas de estudo, ao mesmo tempo em que releguei a um segundo plano, o conhecimento prévio desse professor de literaturas especializadas no tratamento da questão da natureza das ciências como é o caso das literaturas nas áreas da epistemologia, história e sociologia das ciências.

Os trabalhos de Driver et al. (ibidem) e Smith et al. (ibidem) me permitiram, ainda, vislumbrar um amplo quadro de questões e aspectos problemáticos ou pendentes dentro dos quais eu comecei a me mover no início do desenvolvimento de meu projeto de pesquisa. Irei recuperar agora dois desses aspectos. O primeiro deles está relacionado à seguinte pergunta: as visões dos alunos podem ser classificadas como epistemologias ou são fragmentadas demais para merecer esse tipo de classificação? Afinal, qual é o grau de coerência das visões dos alunos acerca da natureza das ciências?



O segundo aspecto diz respeito à questão: o conhecimento sobre a ciência, que se pretende promover na educação básica, deve ser abordado de forma explícita com um forte componente de ensino e diretividade, ou implicitamente, como um subproduto dos processos de aprendizagem desenvolvidos segundo uma perspectiva construtivista?

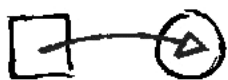
VI.2.A- A coerência das visões dos alunos acerca da natureza das ciências

Será que as concepções dos estudantes, normalmente ingênuas, constituem epistemologias, ou são apenas “imagens” e representações sem o grau de sistematicidade exigida por uma epistemologia?

Driver et al. (1996), embora não abordem esse problema diretamente, posicionam-se em relação a ele ao usarem o termo “imagens da ciência” para se referirem às crenças e concepções dos estudantes sobre o processo de produção e validação do conhecimento científico. Smith et al. (2000), por outro lado, posicionam-se em uma perspectiva oposta ao usarem o termo “epistemologia” para se referirem às crenças e concepções dos estudantes sobre as ciências.

O uso do termo epistemologia não me parece apropriado nessas circunstâncias⁶³. Classificar as crenças dos estudantes em diferentes níveis epistemológicos é diferente de atribuir a eles epistemologias constituídas. A classificação é um recurso do pesquisador e é realizada à luz de questões e parâmetros extraídos da epistemologia adotada por ele. A classificação pode ser entendida como o resultado de um processo de modelização que o pesquisador realiza para tentar compreender e dar coerência às imagens das ciências e aos compromissos epistemológicos que ele atribui aos estudantes. Todavia, enquadrar os estudantes em níveis epistemológicos não implica em lhes atribuir epistemologias estruturadas e sistematizadas.

⁶³ Minha busca por escolher contextos potencialmente significativos na hora de constituir os instrumentos de pesquisa que utilizei nas entrevistas inicial e final analisadas, respectivamente, nos capítulos IV e V desta tese, é um claro indicativo de que eu assumi a dependência contextual e a inconsistência do conhecimento epistemológico dos estudantes como uma hipótese de trabalho. Pesquisas que lidam com esse objeto de estudo e que utilizam ou utilizaram instrumentos descontextualizados, por outro lado, desconsideram essa dependência contextual. Eu, particularmente, acredito que esse é um fator que contribui para que os resultados dessas pesquisas indiquem ou constatem uma maior ingenuidade no conhecimento epistemológico dos estudantes.



Segundo Abrantes (1998), nem mesmo os próprios cientistas têm, necessariamente, epistemologias constituídas, embora todos tenham, certamente, “imagens da ciência”. Esse autor acredita que é mais útil para um historiador das ciências procurar por imagens das ciências dentre os cientistas do que por epistemologias claras e bem estruturadas. Uma “imagem da ciência” distingue-se de uma teoria da ciência, teoria do conhecimento ou epistemologia, pelo fato de que essas últimas são articuladas e explícitas, enquanto a primeira apresenta um caráter tácito, difuso, e por vezes ambíguo, *o que não impede que elas influenciem e moldem a atividade cognitiva de vários modos e em diferentes graus* (ABRANTES, 1998, p. 17).

Para Smith et al (2000) não são apenas as concepções dos alunos sobre a atividade científica que apresentam um certo grau de coerência e estruturação. Os conhecimentos espontâneos ou intuitivos dos alunos também são elevados a essa condição. A esse respeito, esses autores nos dizem que:

Nosso marco referencial teórico sobre o desenvolvimento epistemológico é baseado na suposição de que os conceitos das crianças mais jovens estão organizados em teorias intuitivas e que os conceitos nessas teorias experimentam processos de mudança conceitual. Essa visão assume que as crianças mais jovens podem fazer uso de termos teóricos abstratos ao gerar explicações de fenômenos de seu dia a dia e que alguns desses conceitos estão organizados em teorias explicativas coerentes (SMITH et al., 2000, p. 354).

Há que se notar que a idéia de que as crianças desenvolvem teorias explicativas consistentes sobre os fenômenos do dia a dia opõe-se frontalmente à perspectiva defendida por diSESSA (1988 e 2000). Para diSESSA (2000) não é sensato considerar que “qualquer coleção de idéias” constitua uma teoria. Segundo esse autor, as crianças, e mesmo adultos leigos, não dispõem de teorias, no sentido estrito da palavra. O conhecimento intuitivo é mais corretamente caracterizado como um conjunto de esquemas de conhecimento primitivos ou “sub-conceituais”, que ele chama de p-prims, um termo formado a partir da abreviatura da expressão “primitivos fenomenológicos”.

Os p-prims são mais primitivos, arraigados e fluidos do que os conceitos ou crenças e não são formulados na linguagem proposicional que caracteriza as teorias:



Especificamente, os p-prims respondem por nossos sentimentos de naturalidade ou falta de naturalidade, por julgamentos de plausibilidade e suficiência explanatória. A parte ‘primitiva’ de um p-prim indica que eles, caracteristicamente, constituem descrições primitivas dos eventos em termos explanatórios; se um p-prim aplica-se, nada mais precisa ser investigado: ‘É assim que as coisas são’. Coisas pesadas precisam de empurrões mais fortes para serem movidas. As coisas são puxadas para o vácuo. Não há muito mais para dizer em resposta a ‘por que?’ (diSESSA, 2000, p. 589).

Os p-prims se originam de abstrações empíricas de eventos comezinhos. Essas abstrações tendem a serem generalizadas e passam a desempenhar papéis explanatórios à medida que são associadas a uma ampla faixa de situações. Para diSESSA, p-prims e modelos mentais são as formas de conhecimento características da física intuitiva.

As idéias de diSESSA problematizam a concepção hoje corrente no ensino de ciências de que a passagem do conhecimento intuitivo ou pré-científico até os sistemas mais complexos de conhecimento - que caracterizam as teorias científicas - pode ser interpretada como um processo de mudança conceitual. Para diSESSA, os modelos de ensino que fazem uma analogia entre os processos de mudança conceitual na história das ciências e na sala de aula falham ao não perceberem que a estrutura do conhecimento intuitivo é qualitativamente diferente do conhecimento teórico das ciências.

Mas, essa não é a única consequência importante das idéias de diSESSA para o meu problema de pesquisa. Suas idéias também trazem consequências para a análise das perspectivas pedagógicas que têm sido desenvolvidas com o intuito de promover avanços no entendimento de estudantes jovens sobre a natureza da ciência. Afinal, se realmente os conhecimentos prévios dos estudantes não têm o status e a sistematicidade das teorias das ciências, como esperar que os alunos tornem-se capazes de compreender a complexa relação entre teorias e evidências, que é o aspecto mais fundamental para o desenvolvimento de uma compreensão mais sofisticada da natureza das ciências? A resposta a esta questão, em minha opinião, é a seguinte: não se pode pretender promover uma compreensão mais sofisticada da natureza das ciências sem promover uma compreensão mais sofisticada das próprias teorias das ciências e do modo como elas são sustentadas por evidências.

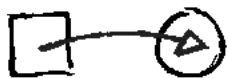


A experiência bem sucedida de ensino-aprendizagem acerca dos pontos de vista das ciências sobre Luz e Visão, da qual eu participei durante o semestre letivo de 2001, é uma evidência de um efetivo processo de mudança conceitual. Acredito piamente que o fato dessa experiência ter sido bem sucedida está relacionado ao sucesso relativo que foi alcançado na evolução das imagens das ciências e raciocínios epistemológicos dos estudantes, demonstrados pelos *scores* dos quadros V.3, V.5 e V.7 apresentados no capítulo anterior desta tese.

O trabalho de diSESSA (*ibidem*) não trata diretamente do problema da dependência contextual do conhecimento epistemológico dos estudantes. Leach e Lews (2002), por outro lado, citam diversos estudos que indicam que os estudantes apresentam conhecimentos epistemológicos diferentes em diferentes situações. Nesse trabalho de 2002, os autores reconsideraram um trabalho que haviam produzido anteriormente (LEACH et al., 2000), reconhecendo algumas de suas várias fragilidades metodológicas.

Esse trabalho publicado em 2000 concluiu a favor da forte dependência contextual do conhecimento dos estudantes sobre as ciências. Os dados foram produzidos por meio da comparação de dois questionários escritos aplicados a 731 estudantes do nível pós-médio ou dos primeiros ciclos do curso universitário. Um dos questionários continha questões descontextualizadas e formuladas de modo genérico, enquanto o outro apresentava uma tentativa de contextualização das questões.

Tais características foram concebidas para que os autores pudessem investigar a consistência dos raciocínios epistemológicos apresentados pelos estudantes em diferentes contextos e verificar se a consistência das opiniões pode ser afetada pelo tipo de instrumento de pesquisa que é utilizado. Como se trata de um 'levantamento', cada uma das questões apresenta opções com as quais os estudantes deveriam se identificar. As opções estavam associadas ao raciocínio: (a) focado nos dados, concebidos dogmaticamente como cópias da realidade; (b) relativista radical, no interior do qual as conclusões de estudos científicos permanecem abertas a uma avaliação pessoal de cada cientista ou participante do processo de investigação; (c) baseado na consciência da interdependência entre teoria e dados.



Apesar de seus problemas metodológicos, o trabalho que estou a comentar foi extremamente importante no desenvolvimento da minha pesquisa. A questão da consistência x dependência contextual das imagens e raciocínios epistemológicos dos estudantes, levantada inicialmente por Leach et all (ibidem) foi vista, desde o início, como sendo de suma importância para meu projeto. A hipótese da consistência dá mais sentido à construção de generalizações sobre o perfil epistemológico dos estudantes. Tais generalizações podem servir de base para a realização de previsões sobre seu comportamento diante de situações de ensino aprendizagem. A utilidade deste tipo de previsão para a concepção de atividades orientadas para avaliar ou para promover avanços nas imagens e raciocínios epistemológicos dos estudantes é indiscutível.

Por outro lado, a hipótese da forte dependência contextual das imagens e formas de raciocínio faz com que o desafio de promover vivências, discussões e reflexões acerca da natureza das ciências seja perseguido através do alargamento das oportunidades e idéias associadas ao debate sobre a natureza das ciências. Essa hipótese também aponta para o tratamento do conteúdo epistemológico do currículo de forma recursiva. Considero a recursividade como uma estratégia fundamental para promover a compreensão de aspectos-chave da natureza da atividade e do conhecimento científicos. O termo recursividade, traduzido originalmente como recursão, compõe um conjunto de quatro critérios propostos por Doll Junior (1997) para a estruturação de currículos. Além da “recursão” ou recursividade, esse conjunto também inclui a riqueza, a possibilidade do estabelecimento de relações e o rigor. Baseando-se nas idéias pioneiras de John Dewey, esse autor nos esclarece que:

A recursão e a repetição diferem no sentido de que nenhuma delas, de nenhuma maneira, reflete a outra. A repetição, um forte elemento no modo modernista, destina-se a melhorar o desempenho estabelecido. Sua estrutura é fechada. A recursão visa desenvolver a competência – a capacidade de organizar, combinar, inquirir, utilizar as coisas heurísticamente. Sua estrutura é aberta. A diferença funcional entre a repetição e a recursão está no papel que a reflexão desempenha em cada uma. Na repetição, a reflexão desempenha um papel negativo; ela interrompe o processo. (...) Na recursão, a reflexão desempenha um papel positivo e serve para que os pensamentos se conectem com eles mesmos, como na experiência secundária de Dewey, refletindo-se sobre a experiência primária, ou na inteligência reflexiva de Piaget, refletindo-se sobre a inteligência prática (DOLL JUNIOR, 1997, p. 195).



Esse diagrama mostra que o esteio dessas comunidades de aprendizagem é a dialogicidade. Por meio dela, vivências e experiências podem ser problematizadas de modo a dar origem a investigações e experimentos. Projetos e atividades compartilhadas podem ser discutidos de modo que, mediante um esforço eficaz de promover a metacognição, as discussões levem às reflexões e à tomada de consciência. Por outro lado, a problematização e a metacognição são processos interdependentes, indissociáveis e complementares.

Antes de encerrar essa subseção gostaria de fazer algumas considerações sobre terminologia. Considero o conceito de dependência contextual (LEACH et al., 2000 ou LEACH e LEWS, 2002) equivalente ao conceito de perfil epistemológico que utilizei no capítulo V desta tese, em uma referência direta a Bachelard (1991). Como os autores que utilizam o primeiro termo não se referem à obra de Bachelard e eu não tenho conhecimento das razões que os levaram a isso, fico sem elementos suficientes para comparar esses dois termos de modo mais apropriado e expressar minha predileção por um deles, em detrimento do outro.

Por sua vez, o conceito de conhecimento epistemológico, definido por Leach e Lews (2002), se superpõe com os conceitos de “imagens das ciências” e de “raciocínios epistemológicos” que eu utilizei ao longo da tese. Leach e Lews (ibidem) definem o termo conhecimento epistemológico como um modo geral de fazer referência ao conhecimento sobre como as ciências funcionam ou sobre a natureza e o status do conhecimento científico.

Devo admitir que utilizei o termo imagens das ciências por influência dos trabalhos de Driver et al. (1996) e Abrantes (1998). Esse é um termo coerente com a idéia da dependência contextual do conhecimento epistemológico dos estudantes. O termo raciocínio epistemológico, por outro lado, também possui similaridades e relações com conceitos utilizados por outros autores como, por exemplo, o termo compromissos epistemológicos (POSNER et al., 1982) ou o termo valores cognitivos (KUHN, 1977 ou LACEY, 1998) ambos utilizados por mim no capítulo III desta tese.



VI.2.B- Ensinar sobre as ciências de maneira explícita

As pesquisas conduzidas por Crawford et al. (1999) apresentam conclusões difíceis de serem contestadas no que diz respeito à necessidade de se abordar o conhecimento sobre a ciência de forma explícita, com um forte componente de ensino e diretividade. Ao analisar o impacto de experiências de aprendizagem em ciências esses autores concluem que vivenciar diretamente processos e métodos de investigação, supostamente utilizados pelas ciências, não garante, automaticamente, uma compreensão mais sofisticada da natureza das ciências.

Essa conclusão está calcada em uma clara diferenciação entre duas dimensões distintas da atividade humana: o fazer e o compreender. Existem várias evidências de que essas duas dimensões são realmente irreduzíveis uma à outra, apesar de serem claramente interdependentes e complementares. Bunge (1973), por exemplo, em seu “Decálogo do Físico Ingênuo”, mostra-nos que até aqueles que praticam a ciência podem ter conhecimento parcial e opiniões ingênuas sobre questões epistemológicas básicas.

Assim, promover o ensino de ciências como processo de investigação e permitir que os alunos se envolvam com projetos, problemas em aberto, ou experimentos de laboratório semi-estruturados, não garante, por si só, que os estudantes possam compreender os processos de produção e validação do conhecimento científico e as dinâmicas sociais e culturais envolvidas nesses processos. Em outras palavras, não é possível aprender sobre ciências de forma completamente implícita ou apenas a partir da experiência com as ciências escolares.

Por outro lado, não há sentido em esperar sucesso em sofisticar a compreensão dos estudantes sobre as ciências, em uma perspectiva tradicional ou transmissiva, na qual o aluno recebe passivamente um conjunto de informações sobre a natureza das ciências sem se envolver com algum tipo de “fazer ciências”. Acho desnecessário insistir nesse ponto, pois a ineficácia da perspectiva transmissiva é hoje amplamente reconhecida, tanto pelos pesquisadores, quanto pelos trabalhadores em educação.

É oportuno, todavia, resgatarmos o que nos aponta o trabalho de Ryder, Leach e Driver (1999) que afirmam ser a promoção de discussões explícitas sobre a natureza das ciências, afinadas com os pontos de vista das epistemologias contemporâneas, insuficiente para garantir avanços nas



concepções dos estudantes. Afinal, pode haver conflitos entre o discurso explícito e as mensagens implícitas no currículo e na prática pedagógica vivenciada em sala de aula sobre a natureza das ciências.

Grosso modo, os modelos de ensino que propõem a aproximação entre a prática científica e as vivências proporcionadas pelo processo de ensino aprendizagem em ciências apontam para a constituição de comunidades de aprendizagem e para a instauração de processos de produção, validação e crítica a conhecimentos desenvolvidos a partir da investigação de fenômenos e da resolução de problemas em aberto. Além de Smith et al. (2000), outros autores que representam esse ponto de vista são: Duschl e Gitommer (1991), Gil-Perez (1993, 1996), Duschl (1995 e 2001), Meyer e Woodruff (1997).

Eu mesmo acredito nessa perspectiva e julgo que ela pode propiciar a coordenação entre o aprender ciências, o aprender a fazer ciências e o aprender sobre ciências. Apesar disso, tenho consciência do caráter problemático dessa idéia. Esta é a perspectiva que eu tentei implementar no trabalho que desenvolvi na parte empírica de minha pesquisa. Todavia, é mais fácil dizê-lo do que fazê-lo!

Um modo particularmente polêmico de utilizar vivências realizadas em sala de aula para promover reflexões sobre a natureza das ciências e evolução nos padrões de raciocínio epistemológico dos estudantes é, curiosamente, investir no trabalho de laboratório.

A avaliação e a validação de teorias, explicações e formas de raciocínio utilizadas para interpretar um determinado conjunto de fenômenos costuma ser entendida como a função primordial dos experimentos nas ciências naturais. Vistos desse modo, os experimentos constituiriam uma das principais estratégias das ciências para produzir conhecimento. Embora exista certo consenso em relação à importância do laboratório e da experimentação, tanto na epistemologia, quanto na educação em ciências, não há consenso sobre sua função. A exemplo do que ocorre com outras tantas questões ou problemas epistemológicos, são temas ainda em aberto: (a) a existência de um processo de avaliação racional de teorias a partir de dados obtidos no laboratório; (b) o modo como as teorias se relacionam com as evidências experimentais e observacionais que, supostamente, lhes dariam sustentação empírica.



Ao conceber estratégias para promover avanços nos raciocínios epistemológicos dos estudantes, diversos pesquisadores e educadores compartilham a idéia de que é preciso aproximar as experiências de ensino-aprendizagem - vivenciadas na prática pedagógica do ensino de ciências - das atividades que caracterizam a prática científica. Essa aproximação pode ser considerada problemática e existem cuidados de diversos tipos, propostos por autores (KUHN, 1977 e HODSON, 1988) que se preocupam com comparações muito apressadas que, às vezes, são realizadas entre a ciência escolar e a prática científica. Afinal, as atividades vivenciadas na ciência escolar estão e sempre estarão razoavelmente distantes daquelas que caracterizam a produção do conhecimento científico.

Os estudantes não são pequenos cientistas, não dispõem do mesmo envolvimento afetivo com as questões e problemas propostos pela ciência escolar que os cientistas demonstram em relação aos seus objetos de estudo. Além disso, os estudantes não utilizam as mesmas estratégias de raciocínio e recursos que os cientistas usam para conceber experimentos, reunir evidências e coordená-las com as teorias e modelos disponíveis. Por outro lado, as interações sociais e os interlocutores que influenciam nas decisões dos cientistas e nos significados que eles atribuem às evidências obtidas através dos experimentos são completamente diferentes daqueles que podemos encontrar em comunidades de aprendizagem na educação escolar.

Apesar de todas as diferenças existentes entre o laboratório didático e os laboratórios de pesquisa científica, podemos afirmar que, em ambos os casos, nós lidamos com seres humanos construindo conhecimentos acerca da sua realidade. Isto quer dizer que podemos admitir basicamente o mesmo significado para a palavra experimento nessas duas circunstâncias distintas: o experimento é uma pergunta que fazemos à natureza.

Podemos dizer que quem formula qualquer tipo de pergunta possui uma expectativa inicial que espera ser negada ou confirmada mediante a obtenção da resposta. Essas expectativas desenvolvem um papel muito importante na atividade de investigação, pois dirigem toda a nossa atenção fazendo com que observemos e consideremos determinados aspectos da realidade, enquanto ignoramos outros.



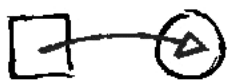
Acentuando as diferenças e não as semelhanças entre a experimentação didática e a experimentação responsável pela produção de conhecimento nas ciências naturais, Hodson (1988, p.112) nos diz que:

É também ingênuo supor que o trabalho de laboratório no ensino de ciências corresponde diretamente à fase experimental da pesquisa científica e há evidências de que é nisto que as próprias crianças acreditam (HOFSTEIN, MANDLER, BEN-ZVI e SAMUEL, 1980; KYLE, 1980). É importante que os professores lembrem às crianças de que as experiências da escola são conduzidas de modo a alcançar várias finalidades, mas não representam necessariamente um modelo do processo científico. A aprendizagem da natureza da experimentação na ciência é uma das metas do ensino de ciência e, paradoxalmente, é daquelas cuja melhor forma de abordagem não é necessariamente o trabalho de laboratório.

A descrição de Kuhn (1977) sobre o uso da experimentação para promover a aprendizagem das idéias das ciências dá sustentação à tese de Hodson (ibidem) apresentada acima. Tal descrição nos mostra que não existe apenas complementaridade, mas também tensão e conflito entre o aprender ciências e o aprender sobre as ciências. Assim, a utilização de experimentos e atividades de investigação em sala de aula pode ser eficaz no que diz respeito à aprendizagem de idéias das ciências, mas levar à produção de imagens ingênuas acerca da natureza das ciências. A este respeito Kuhn nos diz que:

Os modernos aparelhos laboratoriais projetados para ajudar os estudantes a estudar a lei da queda livre de Galileu fornecem um exemplo clássico, embora talvez absolutamente necessário, do modo como a pedagogia desvirtua a imaginação histórica sobre a relação entre a ciência criativa e a medição. Possivelmente nenhum dos aparelhos hoje usados poderia ter sido construído no século XVII (Kuhn, 1977, p. 236).

De acordo com Kuhn (ibidem), na ocasião em que a teoria de Newton foi enunciada pela primeira vez, no fim do século XVII, só a igualdade da ação e da reação podia ser diretamente investigada pela experimentação e, mesmo assim, em casos muito restritos ou especiais. Por sua vez, as primeiras demonstrações diretas e inequívocas da segunda lei esperaram quase um século até o desenvolvimento da máquina de Atwood, que é um aparelho constituído por pesos ligados a um sistema de roldanas. As investigações quantitativas diretas da atração gravitacional mostraram-se



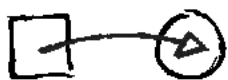
ainda mais difíceis e não foram apresentadas na literatura científica até 1798. Mesmo assim, ainda de acordo com Kuhn, são as demonstrações diretas como as permitidas pela máquina de Atwood que recebem maior atenção e valor na educação em ciências.

Eu sinceramente acredito em que o conflito que Kuhn (ibidem) e Hodson (ibidem) estabelecem entre o papel das atividades de laboratório como instrumento para aprender as idéias das ciências ou para aprender os processos das ciências pode ser contornado. Obviamente, contornar tal conflito implica em trazê-lo sob foco constante de atenção e não em ignorá-lo.

Por um lado, acredito que um ensino eficaz deve abordar a coordenação entre teorias e evidências do ponto de vista da persuasão e não da correção histórica. Afinal, a prática das ciências na escola não deve e não pode ser transformada em um simulacro da atividade científica atual ou retrospectiva e nem o compromisso com a construção de imagens mais sofisticadas do desenvolvimento histórico das ciências deve suplantar o compromisso de promover a compreensão das idéias das ciências com vistas à sofisticação dos recursos intelectuais de que os estudantes podem dispor para interagir com suas próprias realidades. Além disso, eu parto do ponto de vista de que a compreensão das idéias das ciências é condição indispensável para que se possa realizar uma boa avaliação da origem dessas idéias, de suas limitações e de seu status epistemológico.

Em relação ao problema levantado por Kuhn eu gostaria de apresentar uma série de questões que para mim são inquietantes e, ao mesmo tempo, iluminadoras. Afinal, o que nos impede de utilizar todos os recursos disponíveis para que os estudantes compreendam as leis de Newton e só depois relatar que não foram esses os recursos que contribuíram para a aceitação e a difusão da mecânica newtoniana na história das ciências? Por que não seria conveniente fazer uso dos experimentos didáticos para só depois colocar em debate as diferenças entre a experimentação nas ciências e no laboratório escolar?

Parece bem claro que sempre podemos dizer aos estudantes que se os contemporâneos e os sucessores de Newton tivessem sido obrigados a esperar o aparecimento de experimentos comprobatórios, ou experimentos ilustrativos tais como aqueles utilizados na escola, os aparelhos e estratégias capazes de fornecer tais experimentos nunca teriam sido projetados. É bem provável



que isso aumente a admiração dos estudantes em relação à tenacidade dos cientistas e em sua obstinação em sustentar idéias pelas mais diferentes razões, ainda que, em algumas situações, existissem poucas evidências que pudessem vir ao seu socorro na época em que tais idéias foram originalmente propostas. Trata-se, nesse caso, de caracterizar o gênio científico como aquele que salta adiante dos fatos, bem como afirmar que não existem nem fatos e nem gênios, a priori.

Essa espécie de relato, independentemente de sua capacidade em aumentar a admiração dos estudantes em relação às ciências ou estimular sua desconfiança em relação a proposições científicas ainda não suficientemente validadas, permitiria colocar em discussão as estratégias de convencimento e persuasão que levaram à enorme aceitação de teorias hoje consagradas como é o caso da mecânica newtoniana e de outras tantas que hoje compõem nossa maneira de olhar e conceber o mundo natural. O próprio Kuhn seria uma fonte importante de informações sobre esse tipo de relatos, pois os estudos históricos que ele desenvolveu mostram como os cientistas puderam prescindir de confirmações experimentais para aderir à mecânica newtoniana e continuar a desenvolvê-la⁶⁴.

Ao afirmar minha crença no potencial das atividades de laboratório didático como instrumento para aprender as idéias das ciências e subsidiar reflexões posteriores sobre os processos das ciências, eu me alinho com as opiniões de diversos educadores e especialistas em divulgação científica, que foram colhidas por meio de um estudo realizado por Osborne et al. (2003).

Desenvolver o potencial apresentado pelas atividades práticas no sentido de promover reflexões sobre a natureza das ciências na educação básica pressupõe, obviamente, uma mudança no modo como a experimentação costuma ser tratada e representada no laboratório didático. É certamente necessário que o conceito de laboratório seja ampliado, de modo que ele possa incorporar as idéias de indagação e investigação.

Autores como Arruda, Silva e Laború (2001) constroem uma ponte entre o debate epistemológico sobre o papel da experimentação na produção das ciências e o papel do laboratório no ensino de

⁶⁴ Manipulações matemáticas complexas, explorando todas as leis em conjunto produziram uma série de previsões que puderam ser comparadas com a observação quantitativa, particularmente com observações laboratoriais dos pêndulos e com observações astronômicas dos movimentos da Lua e dos planetas.



ciências. No plano epistemológico, esses autores concebem a relação entre a teoria e o experimento a partir da perspectiva kuhniana. Dentro dessa perspectiva, essa relação não é concebida como uma verificação de hipóteses, como crêem os empiristas lógicos, nem como um falseamento de hipóteses, como afirma Popper (1972), mas como um processo de adaptação entre a teoria e o experimento que eu identifiquei no capítulo III desta tese com a afirmação de que as ciências pressupõem a coordenação entre teorias e evidências. Nesse processo, tanto as teorias condicionam e contaminam as evidências, quanto estas condicionam e restringem as teorias. Em outras palavras, o fato da natureza responder às predisposições teóricas não significa que ela responderá a qualquer teoria.

Utilizando essa perspectiva no contexto da educação em ciências, Arruda, Silva e Laború (ibidem) concebem o papel da experimentação como um esforço em coordenar e dar unidade ao discurso teórico e experimental. Essa perspectiva também é defendida por BORGES (1997; 2002). Esse autor nos fala da necessidade de planejar atividades pré e pós-laboratório. Ele também propõe uma mudança no trabalho de laboratório didático, com o objetivo de deslocar o foco da atividade dos estudantes da exclusiva manipulação de equipamentos, preparação de montagens e realização de medidas, para outras atividades que se aproximam mais do “fazer ciência”. Essas atividades envolvem mais a manipulação de interpretações e idéias sobre observações e fenômenos do que a manipulação de objetos. O autor destaca a importância de se enfatizar a análise e a interpretação dos resultados, a reflexão sobre as implicações desses resultados e a avaliação da qualidade das evidências que suportam as conclusões obtidas.

A perspectiva defendida por Arruda, Silva e Laború (ibidem) ou Borges (ibidem) parece ter sido ao menos parcialmente utilizada na escola em que eu conduzi a pesquisa. Afinal, era essa a perspectiva que sustentava as atividades que eu concebi e que foram utilizadas no desenvolvimento do tema “Luz e Visão”, no período em que eu acompanhei as aulas. Além disso, segundo dados que pude obter na entrevista que realizei com o professor de ciências, essa perspectiva, que já estava próxima das crenças e da prática desse professor antes que tivéssemos iniciado nosso relacionamento, parece ter sido aquela que ele adotou, majoritariamente, na condução dos trabalhos em sala de aula, no período entre as entrevistas inicial e final.

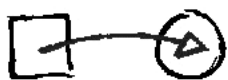


Ao que parece, o principal mérito do ambiente de aprendizagem configurado e gerenciado pelo professor de ciências cujo trabalho eu acompanhei foi o esforço em utilizar o laboratório como oportunidade para coordenar teorias e evidências e levar os estudantes a refletir sobre o que estavam fazendo, de modo que o desenvolvimento de suas capacidades metacognitivas permitisse a evolução de suas imagens das ciências e raciocínios epistemológicos, como ficou evidente na análise dos escores que aparecem nos quadros V.3, V.5 e V.7. Apesar de interessante, esse trabalho apresenta diversas restrições, quando consideramos todas as metas de desenvolvimento do saber sobre as ciências que podem ser propostas e defendidas como compromissos da educação escolar no nível fundamental.

Na terceira fase da entrevista inicial, pude constatar a dificuldade dos estudantes em compreender como explicações ou teorias podem ser avaliadas e como as ciências promovem a coordenação entre teorias e evidências por meio da experimentação. Acredito ter havido um significativo avanço no período que separou as entrevistas inicial e final, embora tenha utilizado instrumentos de pesquisa diferentes para avaliar esse aspecto do conhecimento epistemológico dos estudantes nas duas situações.

Antes da intervenção promovida pela minha pesquisa, os estudantes já tinham tido todo um trimestre letivo em que as aulas de ciências estiveram repletas de experimentos. Todavia, acredito que realizar experimentos sem promover reflexões epistemológicas a partir deles não contribui para o avanço do saber dos estudantes sobre as ciências ou para a evolução de seus valores cognitivos ou de seus padrões de raciocínio epistemológico.

Apesar de constituir um passo importante para esse avanço, a ênfase na realização de experimentos e na reflexão sobre a experimentação como processo de coordenação entre teorias e evidências não pode ser levada como um objetivo pedagógico-epistemológico isolado, sob pena de que os estudantes supervalorizem a experimentação como processo de produção e validação de conhecimentos nas ciências naturais. Por isso, é necessário coordenar os diversos objetivos pedagógico-epistemológicos apresentados nas tabelas que encerraram as seções de 2 a 9 do capítulo III, o que envolve conceber todo um currículo pensando no processo de formação dos estudantes a longo prazo (durante toda a educação básica).



VI.3- Desafios teóricos e práticos para o ensino-aprendizagem sobre as ciências

As diferenças entre as idéias nucleadoras do meu projeto de pesquisa e a prática pedagógica que prevalece na educação escolar são grandes. Assim, por exemplo, nem sempre a introdução de um novo assunto nas aulas de ciências está acompanhada de alguma justificativa que vincule o assunto aos problemas e questões que deram origem ao conhecimento que possuímos hoje a seu respeito.

Sendo um instrumento para introduzir os estudantes em uma cultura que ainda não é sua, a escola está condenada a ser um lugar que oferece respostas a perguntas que os estudantes jamais se fizeram. Mas, isso não quer dizer que a escola tenha que oferecer respostas a perguntas que jamais são apresentadas aos estudantes. Aliás, a insistência em oferecer tais “respostas” é, possivelmente, a característica da cultura escolar que mais contribui para o insucesso do ensino de ciências. Além disso, ela impede a compreensão do tipo de empreendimento que caracteriza as ciências.

Bachelard (1983) afirma que o conhecimento científico sempre nasce de uma pergunta. De modo semelhante, Popper nos diz que “o trabalho do cientista não começa com a recolha de dados, mas com a escolha apurada de um problema promissor” (POPPER, 1996:190).

Promover a compreensão do empreendimento científico implica em orientar o ensino de ciências para valorizar as perguntas e questões que estão na origem dos conhecimentos escolhidos para compor os programas de ensino. Essas questões caracterizam os propósitos e metas da atividade científica, a partir dos quais o conhecimento científico foi desenvolvido. Qual a natureza dessas questões? Qual sua relevância, isto é, que implicações elas têm para a vida dos estudantes e para a própria ciência? Como a criatividade humana permitiu seu enfrentamento ao longo da história? Responder essas perguntas de modo conseqüente implica em conceber o currículo de ciências como um projeto de interrogação (JIMÉNEZ ALEIXÁNDRE, 1998).

A dimensão *Ciência é Empreendimento* demarca um ponto de vista especialmente adequado para se considerar os propósitos e metas da ciência. Quando caracterizei essa dimensão da natureza das ciências no capítulo III, afirmei que o empreendimento científico possui dois grandes



objetivos interdependentes, indissociáveis e complementares: 1º- compreender e produzir explicações e modelos acerca dos fenômenos naturais ou tecnológicos; 2º- “controlar” os fenômenos naturais para produzir novos fenômenos.

Esses objetivos aproximam as ciências da tecnologia o que torna as prioridades e produtos da atividade científica um alvo de disputas e controvérsias. Ele também nos permite situar cada teoria das ciências no tempo histórico em que ela foi produzida, na medida em que revela as demandas sociais que ajudaram a definir os objetos de estudo das ciências, bem como as relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Ambos os objetivos do empreendimento científico criam demandas de origem interna associadas à necessidade de sofisticar as teorias. De certo modo, as ciências produzem os problemas que se dispõem a investigar e se estruturam para responder as questões que objetivam o tratamento destes problemas. Além disso, as questões produzidas pelas ciências dificilmente seriam formuladas por uma pessoa envolvida com os afazeres do dia a dia. Vejamos dois exemplos: Por que os metais brilham? Por que a água molha?

Essas são questões típicas das ciências naturais. Há realmente algo de estranho nelas. A princípio poderíamos responder a primeira delas de forma sucinta dizendo, por exemplo: um metal brilha porque é metal! A capacidade de brilhar é algo inerente aos metais, isto é, é algo que define o que é ser metal. O mesmo pode-se dizer em relação à questão sobre a água. Para entender o significado deste tipo de questão é preciso situá-la em um contexto mais amplo. Desse modo, a observação de metais opacos que perderam o brilho, após terem sido arranhados, pode dar outro significado à questão “por que os metais brilham?”, principalmente se aquele que formulou a questão estiver envolvido com o estudo da reflexão da luz ou com a tentativa de constituir um modelo da interação entre a luz e a visão.

A observação de materiais impermeáveis, que a água não é capaz de molhar, também dá um sentido especial à pergunta “por que a água molha?”, principalmente, quando situamos esses materiais em uma escala que vai desde os materiais impermeáveis até os muito higroscópicos. Apresentar estas questões e seus contextos como características das ciências naturais e indicar o que há de estranho e não usual nelas é um recurso para por em discussão a natureza das ciências.



Em suma, é importante mostrar que as questões das ciências são diferentes de questões que as pessoas se fazem normalmente em seu dia a dia. A diferença consiste no fato de que as questões das ciências fazem sempre parte de uma trama onde se tecem ou se coordenam teorias e evidências.

Estimular os estudantes a “fazer ciências”, nesta perspectiva, implica em investir no aumento de sua capacidade em formular perguntas e não apenas em compreender as respostas produzidas para as questões formuladas pelos cientistas ao longo da história. Esta é uma diretriz difícil de se viabilizar, pois sinaliza mais para a profundidade no tratamento dos temas e unidades de ensino, do que para a extensão deste tratamento. A escolha pela profundidade no tratamento dos temas, em detrimento da extensão, parece entrar em choque com o que se costuma considerar como a função precípua da escola, qual seja: a socialização de conhecimentos gerados pela ciência ao longo de sua história.

Uma crítica que se faz ao atual ensino de ciências é a de que ele se restringe a veicular um conhecimento factual, com pouca ou nenhuma referência aos processos mediante os quais os “fatos” são construídos. O conhecimento factual concebido nessa perspectiva é anti-histórico. Aquilo que Ogborn (1988) chamou de eixo epistemológico do currículo de ciências, orientado pelas questões “como sabemos o que sabemos?” e “por que acreditamos no que acreditamos?”, não é verdadeiramente desenvolvido nas aulas de ciências. O ensino é marcado por afirmações de conhecimento do tipo “sabemos que...”, “a partir de experiências determinou-se que....”, “observou-se que...” ou, ainda, “foi provado ou demonstrado que...”.

Essa restrição constitui um problema e estabelece uma tensão, mas não se deve esperar que o recurso a este tipo de afirmação de conhecimento possa ser evitado. Afinal, acredito que não há como apresentar seriamente aos estudantes do ensino fundamental, por exemplo, os argumentos e evidências que levaram à concepção do elétron e do modelo atômico, pois, não parece razoável desenvolver nesse nível de ensino um estudo minimamente consistente da interação entre cargas elétricas e campos magnéticos. A esse respeito, Rubillota (1988, p. 15) nos diz que:

Numa abordagem não autoritária do ensino, o apelo à experiência não é suficiente para se justificar a validade do que se ensina. A grande dificuldade, neste caso, é que o conhecimento físico é estruturado de modo autoconsistente, o que faz com que ele



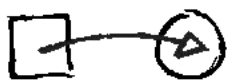
somente seja inteligível em seus próprios termos. Por isso, conduzir um estudante que está fora da estrutura para dentro dela é um processo altamente complexo, que demanda do professor uma razoável compreensão de como a ciência se desenvolve e evolui.

Embora não seja possível reproduzir toda a série de evidências e argumentos que levaram os cientistas ao conceito de elétron ou ao modelo atômico atual, há sempre como lidar com situações nas quais estas entidades científicas demonstrem seu valor explicativo. É preciso ir além do conhecimento factual! Além disso, pode-se recorrer à utilização de narrativas produzidas a partir de extratos da história das ciências, com ênfase nos propósitos e metas que moviam os cientistas, e nas dificuldades de validação das novas idéias. Essas são alternativas que assumem o compromisso de contribuir para que os estudantes avancem sua compreensão da natureza das ciências e da atividade científica.

A discussão sobre a introdução da história da ciência no ensino de ciências, normalmente se circunscreve à viabilidade, às dificuldades a serem vencidas, ou às possíveis estratégias a serem utilizadas. Em minha opinião, entretanto, existe uma questão de fundo que antecede esse tipo de consideração. A história da ciência deve discutir e enfatizar que aspectos da atividade científica? Que concepção de ciências deve sustentar a abordagem histórica das ciências? Quais são as metas de desenvolvimento das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências? Quais são os objetivos pedagógicos que se pretende alcançar ao caracterizar as ciências de uma determinada maneira?

No terceiro capítulo desta tese apresentei uma caracterização das ciências naturais que tinha como foco a produção de uma resposta a essas questões. O capítulo esteve centrado em um diálogo com a epistemologia e a sociologia das ciências. Além disso, ele apresentou metas e objetivos pedagógicos a serem alcançados na educação básica. Tais metas e objetivos foram apresentados nos quadros III.1 a III.8. Nesses quadros, propus uma maneira de integrar os três conteúdos de aprendizagem que Millar (1996) e Hodson (1988) identificam como constitutivos do currículo de ciências.

Creio que boa parte dos desafios para sofisticar a compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências e contribuir para que eles desenvolvam seus padrões de raciocínio epistemológico

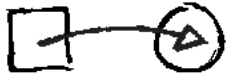


estão relacionadas às características da cultura escolar atualmente vigente, que dificultam a criação e o gerenciamento de ambientes de aprendizagem adequados a esse objetivo. É preciso reconhecer que existem sérias dificuldades para se transformar a cultura escolar que restringe o conceito de conteúdo curricular aos conceitos e teorias das ciências venha mudar em curto prazo. Até porque existe muito pouca clareza acerca de como trabalhar outros aspectos do conteúdo além dos conceitos e teorias (em relação aos quais também não há muita clareza).

Na experiência relatada no corpo desta tese, eu e o professor com o qual trabalhei obtivemos um sucesso relativo na consecução das metas a que nos propusemos. As evidências desse sucesso, apresentadas no capítulo V, são mais bem avaliadas quando consideramos algumas especificidades do ambiente de aprendizagem no qual conduzi a pesquisa. Parte dessas especificidades foi descrita no capítulo II. Quero relatar agora, ainda que brevemente, algumas informações que dizem respeito a desafios e dificuldades vivenciados no processo.

Antes de poder contar com os dados que pude construir na entrevista final realizada com o professor e com os estudantes, houve momentos em que me senti frustrado. Isso ocorreu, principalmente, durante o processo de análise das fitas de vídeo com o registro das aulas de ciências que ocorreram no segundo trimestre letivo de 2001. Devido à extensão do material gerado por essa análise, bem como às características do projeto de pesquisa que eu submeti ao colegiado, decidi não incluí-la no corpo da tese.

Ao assistir as fitas fui perturbado pelo sentimento de que foram perdidos bons momentos para realizar uma discussão mais substancial e de maior consequência para a formação dos alunos. Também fui perturbado pela sensação de que teria havido timidez nas intervenções destinadas a criar oportunidades para refletir sobre a natureza das ciências. O sentimento mais perturbador, entretanto, surgiu quando eu assisti as fitas com registro de atividades práticas realizadas em grupos pelos estudantes. Incomodou-me a constatação de que três dos quatro estudantes do grupo que estava sendo monitorado, muitas vezes, não se mostravam envolvidos com o trabalho e apresentavam uma atitude nitidamente alienada. Assim, o tempo destinado às atividades em grupo era gasto com frivolidades, enquanto apenas um de seus membros, o aluno A17, se preocupava em seguir os procedimentos sugeridos e responder às questões propostas.

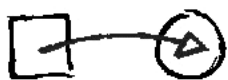


Enquanto assistia a isso, eu me perguntava o que o professor poderia efetivamente fazer para convencer esses e outros estudantes em relação à importância de aproveitar aquele tempo escolar. As alternativas nunca são simples. Seria adequado, por exemplo, agir de forma mais enérgica cobrando e “exigindo” a participação dos alunos? Isso não poderia resultar no agravamento daquilo que eu estava a considerar como uma postura alienada dos estudantes?

Curiosamente, a atitude que eu julguei alienada e que foi mantida pelos alunos monitorados pela câmara de vídeo, parece não ter comprometido sua aprendizagem em relação às principais idéias sobre luz e visão que foram tratadas no curso. Por outro lado, a postura alienada apresentada por eles trouxe uma contribuição fundamental para a minha tese, apontando para os claros limites da comparação que se pode fazer entre a sala de aula e o ambiente no qual ocorre a produção do conhecimento científico.

Ao contrário dos estudantes cujo comportamento monitorei, os cientistas não fazem meras tarefas: eles se envolvem com idéias, problemas e desenvolvem uma atividade! Os cientistas têm objetivos e projetos que eles compartilham com a comunidade a qual eles pertencem. Os estudantes em sala de aula, muitas vezes, fazem as coisas “porque têm que fazer”, sem mostrar envolvimento efetivo e legítimo com as coisas que fazem ou com o que resulta delas. Isso limita muitíssimo o universo de questões de natureza epistemológica que podem ser autenticamente produzidas em sala de aula.

Para afastar de vez a idéia de que eu desenvolvi a pesquisa sob condições ideais, vejamos alguns exemplos das “coisas que deram errado”, na experiência em sala de aula. Concentrarei-me no relato da utilização de duas atividades. A leitura proposta na atividade 07 - é encerrada com duas questões destinadas a sondar o entendimento dos estudantes sobre as duas idéias centrais que a atividade apresenta: a necessidade de colaboração entre diferentes áreas da ciência e a afirmação de que “a investigação científica produz não apenas conhecimento, mas também ignorância”. Infelizmente, não solicitei ao professor que incluísse essa atividade dentre aquelas cujos relatórios deveriam ser entregues para avaliação. O professor também não tomou essa iniciativa, provavelmente, porque a parte experimental da atividade era demonstrativa e só havia duas questões que os alunos deveriam responder após a leitura incluída no final do roteiro.



Tenho a gravação em vídeo da atividade, mas poucos estudantes se manifestaram na ocasião e isso me impede de avaliar com propriedade a sua compreensão acerca das idéias centrais que a leitura apresenta. A dificuldade em extrair dados sobre a evolução do conhecimento epistemológico dos estudantes no decorrer da experiência não é específica desse episódio. Voltarei a esse ponto mais adiante quando discutirei a necessidade de utilizar instrumentos de avaliação processual para identificar possíveis evoluções no conhecimento epistemológico dos estudantes.

A outra atividade que abordarei aqui é a atividade 05. Dentre todas as atividades, essa era a única que continha uma orientação que se mostrou completamente equivocada. Depois de solicitar aos estudantes que manipulassem uma montagem para observar a dispersão da luz branca nas cores do arco-íris, a atividade pedia que eles continuassem manipulando o material para observar “outros fenômenos interessantes”. Caso algum fenômeno interessante fosse observado, além, obviamente, do fenômeno da dispersão, os estudantes deveriam registrar as observações do fenômeno e construir uma explicação provisória para ele.

A atividade sugeria que eles elaborassem um roteiro que pudesse ser seguido por outras pessoas, orientando-as sobre o que deveria ser feito para que fossem reproduzidas as observações “interessantes e adicionais” que eles supostamente iriam realizar. Por fim, a atividade solicitava que as explicações provisórias para os “fenômenos adicionais” fossem incluídas no roteiro a ser elaborado, para que outras pessoas, dispostas a observar o mesmo fenômeno tivessem condições de avaliar as explicações provisórias que teriam sido produzidas pelo grupo.

Todas essas orientações foram ignoradas e a atividade fracassou em sua intenção inicial de promover um processo de experimentação com maior nível de autonomia, sem um roteiro detalhando cada etapa do processo. Múltiplas razões para esse fracasso podem ser facilmente encontradas. Em primeiro lugar, pode-se argumentar que o número e a complexidade das instruções destinadas à realização de investigações adicionais impediram sua compreensão pelos estudantes. É oportuno lembrar, além disso, que essas orientações concorriam com uma tarefa muito mais simples e objetiva que consistia na mera reprodução do fenômeno da dispersão, também solicitada pelo roteiro. É ainda possível evocar a já mencionada atitude dos estudantes em realizar as atividades apenas como tarefas escolares, ao invés de considerá-las como



autênticas atividades de investigação. Existe, todavia, um equívoco maior e anterior a qualquer uma dessas possibilidades. Tal equívoco encontra-se na própria concepção da atividade e é curioso que eu o tenha cometido, depois de todas as leituras que fiz sobre o processo de produção do conhecimento nas ciências.

Qualquer observação de fenômenos em laboratório é uma tarefa “carregada de teoria”. Portanto, são dependentes de teoria, tanto as observações adicionais, quanto as interpretações causais que o roteiro nutria a expectativa de que os alunos pudessem fazer. A observação em ciências é um subproduto da experimentação. A experimentação, por sua vez, é um tipo especial de atividade realizada por sujeitos que procuram, conscientemente, o confronto de suas teorias e conjecturas com a realidade. Aparentemente, a maioria dos estudantes não estava inserida em um contexto de experimentação autêntico. Mas, ainda que eles estivessem imbuídos do “espírito científico de investigação”, faltar-lhes-iam teorias formais e articuladas, à luz das quais as tais “observações adicionais” pudessem ser produzidas e significadas.

O “fracasso” da atividade 05 assim como outros “fracassos menores” na promoção de reflexões sobre a natureza das ciências nos trouxeram lições valiosas. No que diz respeito à atividade 05 essa aprendizagem pode ser apresentada na forma de questionamentos em relação às minhas expectativas ingênuas iniciais: 1º- Por que razão os estudantes fariam as observações de “fenômenos curiosos”, que haviam sido meramente sugeridas como uma alternativa ao que estava sendo efetivamente solicitado deles na atividade?; 2º- Que valor esta solicitação poderia ter para eles, que pudesse justificar o investimento de tempo e energia necessários para desenvolvê-la?; 3º- Além disso, e mais importante, como observações deslocadas de um projeto de investigação podem efetivamente vir a serem realizadas?

Por maior que seja minha tendência à autocrítica sou forçado a reconhecer méritos em diversas atividades e diretrizes utilizadas na experiência em sala de aula. Todavia, os instrumentos que concebi e que utilizei na pesquisa mostraram-se carentes no que diz respeito às estratégias necessárias para uma avaliação do processo de evolução do conhecimento epistemológico dos estudantes. Essa necessidade é apontada por Bell, Lederman e Abd-El-Khalick (2000), mas esses autores pouco nos dizem sobre que estratégias seriam essas. Além disso, o que encontrei até hoje na literatura especializada é a descrição de instrumentos de pesquisa e não de estratégias de



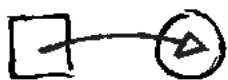
avaliação que possam vir a serem utilizadas, em sala de aula, de forma coordenada à avaliação da evolução do conhecimento dos estudantes sobre o conteúdo das idéias das ciências que é, na melhor das hipóteses, a única evolução que costuma ser avaliada.

Segundo Leach e Ryder (2003), embora existam alguns recursos pedagógicos que suportem o ensino acerca das interações entre ciência, tecnologia e sociedade, poucos materiais estão disponíveis para o tratamento de questões epistemológicas sobre a natureza e o status do conhecimento científico. Nesse trabalho, os autores descrevem uma pesquisa destinada a avaliar materiais didáticos concebidos para subsidiar pequenas intervenções de ensino-aprendizagem centradas na discussão da natureza das ciências e nas características da atividade científica. Eles são co-autores desse material didático destinado a estudantes na faixa etária entre 16 a 18 anos, em que os estudantes estão se preparando para a admissão aos cursos universitários (os chamados A/AS levels, na Inglaterra).

O material em questão, de que tomei conhecimento há pouco tempo, adota diretrizes que possuem uma incrível similaridade com os materiais que eu mesmo concebi. Essa similaridade, todavia, não parece tão surpreendente assim quando consideramos que o trabalho desses autores está baseado nos princípios gerais apontados pelo mesmo tipo de literatura que eu consultei (MILLAR, 1996; DRIVER et al., 1996, ABD-EL-KHALIK, BELL e LEDERMAN, 1998). A oportunidade que tive já na conclusão de meu próprio projeto de pesquisa de entrar em contato com o trabalho desenvolvido por esses autores, em um esforço coordenado pela fundação NUFFIELD, tornou-se assim uma excelente oportunidade de diálogo com sujeitos que têm objetos de pesquisa e objetivos educacionais muito semelhantes aos meus.

Desde o momento em que percebi tal diálogo como possível, passei a nutrir uma imensa vontade de apresentar aos pesquisadores envolvidos no projeto “Teaching about Science: resources for AS/A level”⁶⁵ os materiais que produzi e que pretendo continuar a produzir dentro dessa perspectiva. A complementaridade de nossos trabalhos é evidente. Os materiais que os autores produziram poderiam ser utilizados no ensino médio de nossa educação básica. Para o projeto de

⁶⁵ O projeto em questão tem boa parte de seus materiais disponibilizado na página da fundação NUFFIELD (www.nuffieldfoundation.org/aboutscience).

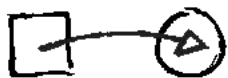


pesquisa relatado nesta tese, eu desenvolvi materiais para as últimas séries do ensino fundamental. O material que utilizei na tese foi concebido sem a interlocução com outros autores ou pesquisadores. Obviamente, há muito nele a ser melhorado. Afinal, não tive modelos de materiais de ensino nos quais eu pudesse me basear.

Recentemente, passei a participar de um empreendimento que parece apontar para uma ampliação das contribuições que posso oferecer para esse campo de pesquisa. Partindo do mesmo pressuposto de que existe a necessidade de introduzir mudanças profundas, mas graduais na cultura escolar, para que se possa efetivamente transformar o aprender sobre as ciências em uma legítima meta curricular, eu participei da produção de uma coleção de livros didáticos destinados às últimas quatro séries do ensino fundamental, no interior da qual há dezenas de atividades orientadas para levantar e para nutrir reflexões sobre a natureza da atividade científica. As atividades também contém questões destinadas à avaliação do conhecimento e do raciocínio epistemológico dos estudantes e, por essa razão, eu acredito que elas apresentam um avanço para o problema da avaliação processual dessas formas de conhecimento. Pesquisas orientadas a avaliar o uso dessas atividades em sala de aula trariam, em minha opinião, um grande avanço para a área.

Desde fevereiro de 2004, um grupo de professores de Belo Horizonte constituído por escolas particulares que adotaram os livros da coleção da qual eu sou co-autor tem se reunido com a assistência de alguns dos autores. As reuniões têm como objetivo orientar os professores na utilização dos textos e atividades em sala de aula e discutir algumas questões de fundo sobre o currículo de ciências, a avaliação da aprendizagem e alguns outros aspectos da cultura escolar.

É importante dizer que essas atividades e muitas outras orientadas pelo mesmo objetivo e distribuídas em todas as unidades da coleção não são de minha autoria exclusiva. A obra a que estou me referindo é da responsabilidade de oito diferentes autores: três graduados em física, três em biologia e dois em química. Meus colegas nesse empreendimento, também pesquisadores na área de educação em ciências, estiveram assoberbados com seus próprios objetos de pesquisa durante todo o tempo em que a obra e minha tese foram produzidas. Embora soubessem o tema que eu escolhi para desenvolver minha tese, eles jamais participaram diretamente de seu desenvolvimento ou se inspiraram em meus escritos para conceber atividades destinadas a



promover reflexões sobre a natureza das ciências. Mais uma vez, assim como parece ter ocorrido com a afinidade desenvolvida à distância com o grupo de trabalho de que fazem parte Leach e Ryder (2003), o que parece ter conduzido a mim e a meus companheiros de pesquisa e ação na educação em ciências em uma mesma direção é a influência das mesmas leituras fundamentais e dos mesmos compromissos com a produção de alternativas para o desenvolvimento de uma educação em ciências para todos.

Termino esta tese propondo que a modelização, a dialogicidade e a metacognição sejam as diretrizes básicas para o desenvolvimento de estratégias destinadas a promover a evolução do raciocínio epistemológico e das imagens dos estudantes sobre a natureza das ciências. Com elas, acredito ser possível promover a cultura científica em sala de aula, de modo a constituir valores cognitivos ou compromissos epistemológicos que desempenhem o papel de diretrizes para sofisticar o conhecimento dos estudantes sobre os fenômenos naturais e sobre os meios através dos quais nós os investigamos. Segundo Barbosa de Oliveira (1999, p. 43):

Na metacognição, o objeto é o próprio conhecimento; isto significa que, ao se realizar, tal reflexão objetiva os conceitos. É isto que sustenta a analogia entre o processo de definição e o de afiar uma ferramenta: na medida em que podemos objetivá-los, os conceitos podem ser vistos como as ferramentas com as quais executamos a ação de pensar, mas sobre os quais podemos também atuar, tornando-os mais eficazes, mais adaptados para seus fins. Esta objetivação, contudo é temporária, só perdura enquanto a reflexão se realiza; uma vez cessada, os conceitos – e nisto reside a diferença em relação às ferramentas propriamente ditas – voltam, transformados, a fazer parte de nós como sujeitos do conhecimento e como agentes.

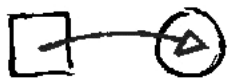
Os estudantes devem ser estimulados a desenvolver suas capacidades metacognitivas! O ambiente de aprendizagem deve contribuir para o desenvolvimento das capacidades metacognitivas, pois é através delas que o estudante torna-se capaz de refletir, não apenas sobre o próprio processo de aprendizagem e construção do conhecimento, como também sobre os processos mediante os quais as ciências constroem conhecimento acerca do mundo natural. Suponho que o inverso também seja verdadeiro, isto é, acredito que promover reflexões sobre a natureza das ciências e da atividade científica também contribua para o desenvolvimento de capacidades metacognitivas.



Essa suposição sugere que considerar o conteúdo epistemológico como meta curricular pode trazer conseqüências importantes para o funcionamento cognitivo dos estudantes. A cultura científica assim adquirida e novos compromissos epistemológicos ligados à preocupação com o rigor do pensamento, com a necessidade de consistência e coerência ou com a capacidade de justificar pontos de vista por meio de evidências e argumentos pode também interferir diretamente na prática social dos sujeitos. Pesquisas orientadas nesse sentido podem trazer um novo sentido para a educação em ciências.

Referências Bibliográficas

- AAAS – American Association for the Advancement of Science – Science for all Americans. New York: Oxford University Press; 1990.
- AAAS – Benchmarks for Science Literacy. New York: Oxford University Press; 1993.
- ABBAGNANO, N. – Dicionário de Filosofia. Editora Martins Fontes, São Paulo, 1998.
- ABRANTES, P. C. C.– Imagens de Natureza e Imagens de Ciência – Editora Papirus, Campinas, S.P.; 1998.
- AGUIAR JR, O. G.; SARAIVA, J. A. F.– Modelo de Ensino para Mudanças Cognitivas: Fundamentação e Diretrizes de Pesquisa – Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Vol.1, nº 1, 47-67, 1999.
- AIKENHEAD, G.; FLEMING, R.W.; RYAN, A.G. – High school graduates’ beliefs about science-technology-society: Methods and issues on monitoring student views. Science Education, 71 (2), 145-61; 1987.
- AKERSON, V. L.; ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. – Influence of a reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers’ Conceptions of Nature of Science – In: Journal of Research in Science Teaching, vol.37, nº 4, pp.295-317; 2000.
- ALTHEIDE, D. L.; JOHNSON, J. M. – Criteria for Assessing Interpretive Validity in Qualitative Research – In: Handbook of Qualitative Research – DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (eds.), SAGE Publications, International Educational and Professional Publisher, Thousand Oaks, London, New Delhi; 1994.
- APEC - Por um novo currículo de ciências para as necessidades do nosso tempo, Presença Pedagógica, Vol. 09 nº 51, pp.43-55, Mai/Jun 2003.
- ARNOLD, M.; MILLAR, R.– Learning the Scientific “Story”: A case Study in the Teaching and Learning of Elementary Thermodynamics – Science Education 80(3), pp. 249-281; 1996.



- ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABORÚ, C. E. - Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana – *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 6, N. 1, março de 2001, Porto Alegre, <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>.
- ASTOLFI, J. P.; DEVELAY, M.– *A didática das ciências* – Ed. Papirus, 2ª edição, Campinas-SP; 1989.
- BACHELARD, G. - *Conhecimento Comum e Conhecimento Científico*. *Tempo Brasileiro*, Rio de Janeiro, (28): 27-46; 1972.
- BACHELARD, G. - *A filosofia do não – Filosofia do novo espírito científico*. Trad. José J.M. Ramos. Editorial Presença, Lisboa, 1991.
- BACHELARD, G.– *Epistemologia*- Zahar Editores, Rio de Janeiro, R.J.;1993.
- BACHELARD, G. - *A formação do espírito científico – Contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Trad. Estela S. Abreu. Contraponto, Rio de Janeiro, 1996.
- BAKHTIN, M. - *Marxismo e filosofia da linguagem*. São Paulo: Hucitec, 1999.
- BARBOSA DE OLIVEIRA, M. – *Natureza e Dinâmica dos Conceitos* – In: BARBOSA DE OLIVEIRA, M.; KOHL DE OLIVEIRA, M. (orgs). *Investigações Cognitivas: Conceitos, Linguagem e Cultura*. Ed. Artmed, Porto Alegre, R.S. pp. 35 a 53; 1999.
- BECKER, H. S.– *Métodos de Pesquisa em Ciências Sociais* – Editora HUCITEC, São Paulo, S.P.; 1993.
- BELL, B. F.; PEARSON, J.– *Better Learning* –*International Journal of Science Education*, 14 (3), pp. 349-361; 1992.
- BELL, B. F., LEDERMAN, N.G.; ABD-EL-KHALICK, F.– *Developing and Action upon One's Conception of Nature of Science: A Follow-Up Study* – *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 37, nº 6, pp. 563-581; 2000.
- BEN-DOV, Y. – *Convite à Física* – Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, R.J; 1996.
- BLOOM, B. S. et al. - *Taxonomia de Objetivos Educacionais, Domínio Afetivo*, Globo, Porto Alegre, 1974.
- BOHM, D.; PEAT, F. D. – *Ciência, Ordem e Criatividade* – Trad. Jorge da Silva Branco. Lisboa, Editora Gradiva; 1989.
- BORGES, A. T.– *Mental Model of Eletromagnetism*. 1996 – Tese (Doutorado em Educação em Ciências) - University of Reading, Inglaterra.
- BORGES, A. T. - *O Papel Do Laboratório No Ensino De Física*. *Atas do I Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, Águas De Lindóia, SP, 27-29 de Novembro*. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 02-11. 1997.
- BORGES, A. T. - *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências* – *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Vol. 19, nº 3, p.291-313, dez. 2002.
- BRONOWSKI – *Ciência e Valores Humanos* – Trad. Alceu Letal. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.



- BUNGE, M. – A filosofia da Física – Lisboa, Edições 70, 1973.
- BURBULES, N. C.; LINN, M. C. – Science education and philosophy of science: congruence or contradiction? - *International Journal of Science Education*, Vol. 13, nº 3, 227-241; 1991.
- CASTRO, C. M. – A penosa evolução do ensino e seu encontro com o Pisa, In: PISA 2000, Relatório Nacional, Anexo com parecer sobre a participação do Brasil no Pisa, MEC, Brasília, Dez. 2001.
- CHALMERS, A. – O que é ciência afinal? – Ed. Brasiliense, São Paulo, SP; 1994.
- CHALMERS, A. – A Fabricação da Ciência – Ed. Unesp, São Paulo, SP; 1995.
- CHAUÍ, M. – Convite à Filosofia. Editora Ática, São Paulo, SP; 1997.
- CHEVELLARD, Y. – La transposición Didáctica: Del saber sabido al saber enseñado – Aique Grupo Editor, Madrid; 1991.
- CHI, M. T. H – Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. R. Giere (ed.) *Cognitive models of Science: Minnesota Studies in the philosophy of Science*. University of Minnesota Press; 1991.
- CHI, M. T.H., SLOTTA, J. D.; de LEEUW, N. – From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43; 1994.
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. – The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction – *Review of Educational Research*, 1993, Vol. 63 (1), 1-49.
- CLEMENT, J. – Learning via Model Construction and Criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science – In: J.A. GLOVER, R.R. RONNING; C.R. Reynolds (eds), *Handbook of creativity*, New York, PLENUN PRESS; 1989.
- CLEMENT, J. – Model based learning as a Key research area for science education – *Internacional Journal Science of Education*. vol 22, Nº 9, 1041-1053, 2000.
- COHEN, L.; MANION, L. - *Research Methods an Education*. London: Croom Helm, 1980.
- CONTENÇAS, P. – A Eficácia da Metáfora na Produção da Ciência. Lisboa, Instituto Piaget; 1999.
- CRAWFORD, B. A.; et al. – The impact of science apprenticeships on student conceptions of the nature of science and scientific inquiry – A paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Boston, MA. March 28-31; 1999.
- DÉSAUTELS, J.; LARROCHELLE, M. – The epistemology of students: The “thingified” nature of scientific knowledge – In: B. Frazer; K. Tobin (Eds.), *International Handbook of science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer; 1998.
- diSESSA, A. A. – Knowledge in pieces. In: *Constructivism in the computer age*, G. Forman e P. Putfall (Eds.) – Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum; 1988.
- diSESSA, A. A. – O que o “Povo Comum” sabe sobre Física – In: *Educação e Desenvolvimento Humano*, David R. Olson e Nancy Torrance (Eds.) – Artmed, Porto Alegre, R.S.; 2000.



- DOLL JUNIOR, W. E. – Currículo: uma perspectiva pós-moderna – Editora Artes Médicas, Porto Alegre, R.S.; 1997.
- DRIVER, R; LEACH, J.; MILLAR, R. & SCOTT, P. - Young people's images of science. Buckingham: Open University Press, 1996.
- DUSCHL, R. A. – Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual – Enseñanza de Las Ciencias, 13 (1), 3-14; 1995.
- DUSCHL, R. A. – Making the nature of science explicit – In: MILLAR, R., LEACH, J., OSBORNE, J. Improving science education: the contribution of research. Buckingham: Open University Press; 2001.
- DUSCHL, R. A.; GITOMMER, D. H. – Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice- Journal of Research in Science Teaching, Vol. 28, nº 9, 839-858; 1991.
- EINSTEIN, A. – Como vejo o mundo – 6ª edição, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, R.J.; 1981.
- EMEREN, F. H. van, GROOTENDORST, R.; KUIGER, T. – Handbook of Argumentation Theory – Foris Publications, Dordrecht-Holland/Providence-U.S.A.; 1987.
- ERICKSON, F. – Qualitative Methods in Research on Teaching – In: WITTROCK, M. (ed.), Handbook of Research on Teaching – Third Edition – American Educational Research Association. London: Collier Macmillan Publishers; 1995.
- FEHER, E.; RICE, K. – Pinholes and Images: Children's conceptions of Light and Vision II – Science Education 72(5), pp. 637-649; 1988.
- FENSHAM, P.; GUNSTONE, R.; WHITE, R. – The Content of Science; a constructivist approach to its teaching and learning. Londres: The Palmer Press; 1994.
- FEYRABEND, P. K. - Contra o Método. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1977.
- FEYRABEND, P. K.– Consolando o Especialista, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 109-243; 1979.
- FOUREZ, G. - A construção das Ciências: Introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: Editora Unesp; 1995.
- FREIRE, P. – Pedagogia do Oprimido – Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro, R.J.; 1981.
- GALILI, I.; HAZAN, A. – Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis – In: International Journal of Science Education, 22 (1), pp. 57-88; 2000.
- GARCIA, E. – A natureza do conhecimento escolar: transição do cotidiano para o científico ou do simples para o complexo? – In: ARNAY, José (org) A construção do conhecimento escolar, São Paulo: Editora Ática. 1997.
- GARDING, L. – Encontro com a Matemática – Ed. UNB, Brasília, DF; 1997.



- GIERE - Explaining Science: A Cognitive Approach. Chicago, The University of Chicago Press; 1988.
- GIL-PEREZ, D.– Contribución de la Historia e de la Filosofía de la Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza / aprendizaje como investigación – Enseñanza de las Ciencias, 11 (2, 197-212); 1993.
- GIL-PEREZ, D. – New Trends in Science Education – International Journal of Science Education, Vol. 18, nº 8, 889-901; 1996.
- GUBA, E.G. – Towards a methodology of naturalistic inquiry in educational evaluation. Los Angeles: Center for the Study of Evaluation, UCLA, p. 6-10; 1978.
- HALLIDAY, M.A.K.; MARTIN, J.R. *Writing Science: Literacy and discursive power*. Pittsburgh, University of Pittsburgh Press; 1993.
- HENNESSEY, M. G.– Probing the Dimensions of Metacognition: Implications for Conceptual Change Teaching-Learning – Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Boston, M.A.; 1999.
- HESSEN, J. - Teoria do conhecimento- Coimbra-Portugal, Arménio Amado Editora; 1980.
- HEWSON, P.W. - Epistemological commitments in the learning of science: examples from dynamics. *European Journal of Science Education*, 7(2): 163-172.; 1985.
- HESTENESS, D. - Modeling Methodology for Physics Teachers – In: Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Educational College Park, August 1996.
- HODSON, D. – Toward a Philosophically more Valid Science Curriculum – *Science Education*, 72 (1); 1988.
- HOGAN, K.; MAGLIENTI, M. – Comparing the Epistemological Underpinnings of Studentes’ and Scientists’ Reasoning about Conclusions - *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.38, nº 6, pp.663-687; 2001.
- INHELDER, B. GARCIA, R. VONECHE, J. - *Epistemologia Genética e Equilíbrio*, Lisboa, Livros Horizonte, 1976.
- JIMÉNEZ ALEIXÁNDRE, M. P. – Diseño Curricular: Indagación y Razonamiento con el Lenguaje de las Ciencias – *Enseñanza de Las Ciencias*, 1998, 16 (2), 203 -216; 1998.
- KOHL DE OLIVEIRA, M. - *Vygotsky: aprendizagem e desenvolvimento, um processo sócio-histórico*. São Paulo, Scipione, 1993.
- KOHL DE OLIVEIRA, M. – Três Questões sobre Desenvolvimento Conceitual – In: BARBOSA DE OLIVEIRA, M.; KOHL DE OLIVEIRA, M. (orgs). *Investigações Cognitivas: Conceitos, Linguagem e Cultura*. Ed. Artmed, Porto Alegre, R.S.; 1999.
- KUHN, D. – Science as argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking – In: *Science Education*, 77(3), pp. 319 a 337; 1993.
- KUHN, T. S. – *A Tensão Essencial* – Edições 70, Lisboa, Portugal, 1977.



- KUHN, T. S. – Lógica da descoberta ou psicologia da pesquisa?, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 05-32; 1979a.
- KUHN, T. S. – Reflexões sobre meus críticos, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 109-243; 1979b.
- KUHN, T. S. – A Estrutura das Revoluções Científicas – São Paulo, Editora Perspectiva. 5ª edição, 1998. Original publicado em 1962.
- LACEY – Valores e atividade científica – Discurso Editorial, São Paulo, 1998.
- LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Orgs) - “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.
- LAKATOS, I. – O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 109-243; 1979.
- LAROCHELLE, M.; DESAUTELS, J.– Of Course, it’s just obvious: adolescents ideas of scientific knowledge - In: International Journal of Science Education, Vol. 13, nº 4, 373-389; 1991.
- LATOUR, B.; WOOLGAR, S. – A vida de Laboratório: A produção dos Fatos Científicos. Dumará Distribuidora de Publicações Ltda, Rio de Janeiro, R.J.; 1997.
- LATOUR, B. – Ciência em Ação – Editora Unesp, São Paulo, S.P.; 2000.
- LEACH, J.; et al. – Epistemological understanding in science learning: the consistency of representations across contexts – Learning and Instruction 10, pp. 497-527; 2000.
- LEACH, J.; LEWIS J. – The Role of Student’s Epistemological Knowledge in the Process of Conceptual Change in Science – In: LIMON, M.; MASON, L. (Eds), Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice, 201-216- Kluwer Academic Publishers. Netherlands; 2002.
- LEACH, J.; RYDER, J. – Designing and Evaluating Short Teaching Interventions About the Epistemology of Science in High School Classrooms – Wiley Periodicals, Inc. Sci Ed 87:831-848, 2003; Published online in Wiley InterScience (www.interscience. wiley.com).
- LECOMPTE, M. D.; GOETZ, J. P. – Problems of Reliability and Validity in Ethnographic Research – Review of Educational Research, Vol.52, Nº 1, pp. 31-60; 1982.
- LEDERMAN, N. G.– Students’ and teachers’ conceptions about the nature of science: A review of the research – Journal of Research in Science Teaching, Vol. 29, 331-359; 1992.
- LEMKE, J. – Enseñar todos los Lenguajes de la Ciencia: Palabras, Símbolos, Imágenes y Acciones, In: BENLLOCH, M. (org), La Educación en Ciencias: Ideas para mejorar su práctica, Ediciones Piados Ibérica, Barcelona; 2002.
- LEONTIEV, A. - O Desenvolvimento do Psiquismo. Lisboa, Livros Horizonte; 1978.



- LURIA, A. R. – Pensamento e linguagem: as últimas conferências de Luria. Porto Alegre, Trad. Diana Myriam Lichtenstein; Mário Coros, Ed. Artmed, 2ª reimpressão, Rio Grande do Sul; 2001.
- MACHADO, L.R.S. - "O 'modelo de competências' e a Regulamentação da Base Curricular Nacional e de Organização do Ensino Médio" - Trabalho & Educação- Revista do NETE - ago/dez - 1998 - nº 4 - UFMG/FAE; 1998.
- MASTERMAM, M. – A natureza de um paradigma, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) “A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento”. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 109-243; 1979.
- MAYOR, F. – Ciência e Poder Hoje e Amanhã, In: MAYOR, F.; FORTI, A. (Orgs) “Ciência e Poder”. Trad. Roberto Leal Ferreira. Unesco. CNPQ. Editora Papyrus, 1998, São Paulo; 1998.
- MCMULLIN, E. – What do Physical Model Tell Us? – In: B. Van Roojsellar and J.F. Scaal Codl (eds.). Methodology and Philosophy of Science, p. 385-396, North-Holland Publishing Company, Amsterdam; 1968.
- MEC/SEF - PCN de Ciências naturais para a 5ª a 8ª séries, Brasília, Brasil; 1998.
- MEDEIROS; BEZERRA FILHO (2000) – A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da Física – In: Revista Ciência & Educação, Vol.6, nº2.
- MEYER, K.; WOODRUFF, E. - Consensually driven explanation in science teaching – In: Science Education . v. 81, nº 2: 173 – 192; 1997.
- MEYLING, H. – How to Change Students’ Conceptions of the Epistemology of Science – In: Science Education, 6:397-414; 1997.
- MILLAR, R. – A means to an end: the role of processes in science education – In: WOOLNOUGH, B. (ed.), Practical Science. Milton Keynes: Open University, 1991.
- MILLAR, R. - Science Curriculum for all. School Science Review, Vol. 77, 1996.
- MILLAR, R.– Students understand of the procedures of scientific inquiry – In: Connecting Research in Physics Educations with Teacher Education, 1998. <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C4.html>.
- MILLAR, R.; DRIVER, R.– Beyond Processes – Studies in Science Education, nº14; 1987.
- MILLAR, R; OSBORNE, J - Beyond 2000 – Science Education for the Future: The report of a seminar series funded by the Nuffield Foundation, King’s College London, School of Education, Cornwall House, 1998.
- MORTIMER, E. F. – Sobre Chamas e Cristais: A Linguagem Cotidiana, a Linguagem Científica e o Ensino de Ciências. In: Ciência, ética e cultura na educação. São Leopoldo. Rio Grande do Sul. Ed. UNISINOS. 1998.
- MORTIMER, E. F. - Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências. Belo Horizonte. Ed. UFMG. 2000.



- NASCIMENTO JÚNIOR, A. F. – Fragmentos da construção histórica do pensamento neo-empirista – Revista Ciência e Educação, Vol.5, nº1, 1998.
- NELSON, T. O. – Cognition versus Metacognition, In: Robert J. Sternberg (ed.). The Nature of Cognition, Cambridge, Ma: MIT Press, 1998.
- NERSESSIAN, N. J. - A cognitive-historical approach to meaning in scientific theories. In: NERSESSIAN, N. J. The Process of Science: Contemporary Philosophical Approaches to Understanding Scientific Practice. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht / Boston / Lancaster, 1987.
- NEWTON, P.; DRIVER, R – The place of argumentation in the pedagogy of school science – International Journal of Science Education, Vol. 21, nº 5, p. 553-576; 1999.
- NUSSBAUM, J. – Classroom conceptual change: philosophical perspectives – In: International Journal of Science Education, Vol. 11, nº 15; 1989.
- OLIVEIRA, D. A. - A qualidade total na educação: Os critérios da economia privada na gestão da escola pública – Educação e trabalho no capitalismo contemporâneo, São Paulo, Ed. Cortez. 1996.
- OSBORNE, J. F. – Beyond Constructivism – Science Education 80(1) pp. 53-82, 1996.
- OSBORNE, J. F. – What “Ideas-about-Science” Should Be Taught in School Science?: A Delphi Study of the Expert Community – In: Journal of Research in Science Teaching, Vol.40, nº 7, pp.692-720; 2003.
- PAULA, H. F; BORGES, A. T. – Imagens de estudantes do ensino fundamental sobre os propósitos e as metas da ciência - Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Águas de Lindóia, 2002. In: Vianna, D. M.; Peduzzi, L. O. Q.; Borges, O. N.; Nardi, R. (Orgs.).
- PAULA, H. F; BORGES, A. T. - Imagens dos estudantes sobre o uso de argumentos e evidências na construção de um fato científico - Atas do II Encontro Internacional de Linguagem, Cultura e Cognição, 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- PAULA, H. F. – “Piaget e o processo de conhecimento” – In: “A Qualidade da Educação e Qualificação da Escola”, 1996. 276p. – Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) - Centro Federal De Educação Tecnológica de Minas Gerais.
- PERELMAN C.; OLBRECHSTS-TYTECA L. - Tratado da Argumentação: A nova retórica. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
- PIAGET, J.; GARCIA, R. - Las Explicaciones Causales. Trad. Elena R. Póliza. 1.ed. Barcelona, Barral Editores. 1973, 233p.
- PIAGET, J.; GARCIA R. - Psicogênese e História das Ciências. Trad. Maria F.M.R. Jesuino. Lisboa, D. Quixote (original publicado em 1983); 1987.
- PIAGET, J. - Equilíbrio das Estruturas Cognitivas. Trad. Marion M.S. Penna. Rio de Janeiro, Zahar; 1976.



- PIAGET, J. - O Possível e o Necessário - Vol.1 - A Evolução dos Possíveis na Criança. Trad. Bernardina M. Albuquerque. Porto Alegre, Artes Médicas (original publicado em 1981), 1985.
- PIAGET, J. - O Possível e o Necessário - Vol.2 - A Evolução dos Necessários na Criança. Trad. Bernardina M. Albuquerque. Porto Alegre, Artes Médicas (original publicado em 1983); 1986.
- PIAGET, J. - O possível, o impossível e o necessário in: LEITE, Luci Banks. Piaget e a Escola de Genebra.. São Paulo: Cortez. Cap. II; 1987.
- PIAGET, J. - Seis Estudos de Psicologia. Trad. Maria A.M. D'Amorim e Paulo S.L. Silva. Rio de Janeiro, Forense, 19a ed. (original publicado em 1964); 1991.
- POPPER, K. R. – A lógica da pesquisa científica – Editora Cultrix Ltda, São Paulo, S.P., 1972.
- POPPER, K. R. - Conhecimento objetivo. Trad. Milton Amado. EDUSP/ITATIAIA, São Paulo, 1975.
- POPPER, K. R. – A ciência normal e seus perigos, In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Orgs) - A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, Editora da Universidade de São Paulo, p. 109-243; 1979.
- POPPER, K. R. - Conjecturas e refutações. Trad. Sérgio Bath. UNB, Brasília, 1994.
- POPPER, K. R.– O Mito do Contexto: em defesa da ciência e da racionalidade. Trad. Paula Taipas. Biblioteca de Filosofia Contemporânea. Edições 70. Lisboa. 1996.
- POSNER, G. J., et al. – Accommodations of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change - Science Education, 66, 211 - 227, 1982.
- RAGHAVAN, K.; GLASER, R. – Model-Based Analysis and Reasoning in Science: The MARS Curriculum – Science Education 79(1), p. 37-61; 1995.
- RICE, K.; FEHER, E. – Pinholes and Images: Children's conceptions of Light and Vision I – Science Education 71(4), p. 629-639; 1987.
- RIST, R.C. - On the relations among educational research paradigms: from disdain to détente – Anthropology an Educational Quarterly, nº 8; 1977.
- RUBILLOTA, M. R.– O cinza, o branco e o preto – da relevância da História da Ciência no Ensino de Física – Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis (número especial), 7-22, Junho/1988;
- RYDER, J.; LEACH, J.; DRIVER, R. – Undergraduate Science Students' Images of Science - Journal of Research in Science Teaching, Vol. 36, nº 2, 201-219; 1999.
- RYDER, J.– School science education for citizenship: strategies for teaching about the epistemology of science – Journal of Curriculum Studies, Vol. 34, nº 6, 637-658, 2002. Taylor & Francis Ltd, <http://www.tandf.co.uk/journals>.
- SANTOS, M. E. V. M. – Desafios Pedagógicos para o Século XXI: Suas raízes em foras de mudança de natureza científica, tecnológica e social. Livros Horizontes, Portugal, 1999.



- SAVIANI, D. - "A nova lei da educação- LDB: Trajetória, limites e perspectivas" – Campinas, São Paulo, Ed. Autores Associados; 1997.
- SECRETARIA Estadual de Educação de Minas Gerais. Diretoria de currículos. Uma proposta de reformulação do currículo de ciências para o 2º ciclo do ensino fundamental, 1998.
- SILVEIRA, F. L. – A epistemologia de Imre Lakatos – Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol 13, nº 03, pp. 219-230; 1996.
- SMITH, C. L.; MACLIN, D.; HOUGHTON, C.; HENNESSEY, M.G. – Sixth-Grade Students' Epistemologies of Science: The impact of School Science Experiences on Epistemological Development – *Cognition and Instruction*, 18 (3), 349-422, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.; 2000.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J.; SCOTT, L. – Pupils' Images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, Vol. 16 (3), 361-73, 1994.
- STRIKE, K., POSNER, G. - A revisionist theory of conceptual change. In: DUSCHL, R., HAMILTON, R. (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*, Albany: State University of New York Press, p. 147-176.; 1992.
- TERRICABRAS, J. M.; MORA, P.C.F. – Dicionário de Filosofia. Traduzido para o português pelas Edições Loyola, São Paulo, 2001.
- TOMILINE, A. (s/data) - Como os Homens descobriram a forma da Terra. Trad. Alexandre Bazine. Moscou, URSS: Edições Raduga.
- TORRES, C. A. - Estado, privatização e política educacional elementos para uma crítica do neoliberalismo – In: *Pedagogia da Exclusão-Crítica ao neoliberalismo em educação*, Ed. Vozes, Petrópolis, R.J., 1995.
- VYGOTSKY, L.S. - A Formação Social da Mente, Trad. José Cipolla Neto. São Paulo, Martins Fontes, 4ª ed. (original parcialmente publicado em 1960 na URSS); 1991.
- VYGOTSKY, L.S. - Pensamento e Linguagem, Trad. Jefferson Luiz Camargo. São Paulo, Martins Fontes, 2ª tiragem da 2ª ed. (original publicado em 1934); 1999.
- ZIMAN, J. – Conhecimento Público – Editora Itatiaia Limitada, Belo Horizonte, M.G.; 1979.
- ZIMAN, J. – A Força do Conhecimento – Trad. Eugênio Amado, São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo; 1981.
- ZIMAN, J. – O Conhecimento confiável – Trad. Tomás Rosa Bueno, São Paulo, Editora Papirus, 1996.
- ZIMMERMAN, C. – The Development of Scientific Reasoning Skills – *Developmental Review* 20, p. 99 - 149; 2000.



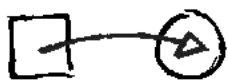
A.1- Recursos usados na entrevista inicial com os estudantes

PRIMEIRA FASE: OS PROPÓSITOS E AS METAS DAS CIÊNCIAS

Quadro A.1 – Questões apresentadas em cartões durante a 1ª fase da entrevista	
Questão	Comentários sobre a intenção de cada questão
1. Que semelhanças e diferenças existem entre o homem e o chimpanzé?	Questão de natureza empírica. Apesar disso, essa questão foi proposta com a intenção de evocar a lembrança do aluno em relação à teoria da evolução. Nesse sentido achávamos que ela daria margem ao aparecimento de pelo menos um dentre os seguintes critérios que podem ser usadas na classificação de uma questão como pertinente às ciências naturais: a) estar sujeita à investigação empírica; b) envolver a avaliação de teorias e a busca de evidências para sustentá-las ou refutá-las.
2. Suspeita-se que a extinção dos dinossauros tenha sido causada por um grande meteoro que colidiu com a Terra. É possível explicar a extinção dos dinossauros de outra maneira?	Questão de natureza teórica. Essa questão está mais diretamente ligada ao desenvolvimento e à avaliação de teorias. Sugere a necessidade de se buscar fundamentos, evidências e contra-evidências para fundamentar conjecturas como as que sustentam a “teoria do meteoro”. A extinção dos dinossauros foi escolhida tanto em função do interesse que costuma despertar nos estudantes, quanto pelo fato de que se trata de um fenômeno distante no tempo, em relação ao qual não se pode contar com evidências diretas. Essa escolha revela nosso interesse em perceber a opinião dos estudantes sobre a função que as evidências indiretas podem desempenhar na produção do conhecimento científico.
3. Roupas de tecido artificial podem ser tão bonitas e confortáveis quanto aquelas feitas com materiais naturais, como o algodão e o couro, por exemplo?	Questão que envolve julgamentos estéticos. O estudo das propriedades dos materiais é um objeto das ciências naturais e o desenvolvimento de novos materiais é uma das pesquisas que estabelecem uma interface entre ciência e tecnologia. Contudo, a maneira como a questão foi formulada induz uma associação mais forte com aspectos estéticos (roupas bonitas) e tecnológicos (técnicas de tratamento dos materiais sintéticos para a confecção de roupas confortáveis).
4. Tiradentes foi realmente o líder da Inconfidência Mineira, ou ele apenas participou desse movimento revolucionário como muitos outros em sua época?	Questão pertinente à história. Diz respeito a um fato e pode suscitar uma discussão sobre como fatos históricos são construídos a partir de vestígios materiais e testemunhos. Contudo, essa questão não envolve ou solicita nenhum modelo explicativo. Por essa razão, assim como pelo fato de que ela diz respeito a uma ciência humana e não a uma ciência natural, acreditávamos que ela não seria classificada como sendo de interesse da ciência ou como sendo passível de ser investigada cientificamente.

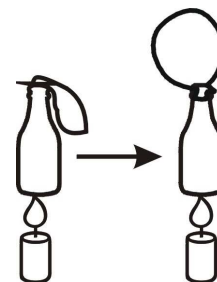


5. É errado um atleticano torcer contra o Cruzeiro ou um cruzeirense torcer contra o Atlético quando esses times jogam com um time de outro país?	Questão que envolve aspectos éticos e o conflito entre o sentimento de nacionalidade e os sentimentos de amor e ódio mobilizados contra um time de futebol adversário. Trata, portanto, de um fenômeno social e não de um fenômeno natural. Tendo a expectativa de que essa questão não fosse classificada como “científica” nosso interesse aqui era obter dados sobre os critérios utilizados pelos estudantes nesse tipo de classificação.
6. Pequenas atividades de lazer introduzidas no horário de trabalho em uma fábrica podem melhorar o rendimento dos trabalhadores?	Questão de natureza empírica, mas que é pertinente à psicologia do trabalho. Queríamos avaliar através dela a capacidade dos estudantes em distinguir ciências naturais e sociais. Além disso, pretendíamos avaliar o peso que os estudantes atribuem ao critério “abertura para investigações empíricas” mencionado no estudo de DRIVER et al. (1996) como um dos critérios normalmente apresentados para definir uma questão como sendo de interesse da ciência.
7. Por que alguns ossos de animais, às vezes, ficam preservados e se tornam fósseis, mas, às vezes, se decompõem?	Questão de natureza teórica e empírica. A expressão “por que” insinua a necessidade de construção de modelos e teorias explicativas, bem como a possibilidade de se realizar experimentos de laboratório. Esperávamos que o conhecimento que os estudantes normalmente têm sobre pesquisas envolvendo fósseis, associado à fascinação que os dinossauros exercem no público infanto-juvenil, constituísse um <i>background</i> importante que poderia contribuir para que essa questão fosse classificada como “científica”.
8. Por que objetos mergulhados em água parecem estar quebrados?	Questão de natureza teórica e empírica. Novamente, a expressão “por que” insinua a necessidade de construção de modelos e teorias explicativas, bem como a possibilidade de se realizar experimentos de laboratório. Além disso, concorre para a classificação dessa questão como sendo de interesse da ciência, e como sendo passível de ser investigada cientificamente, o fato de que o estudo desse tipo de fenômeno está claramente associado ao tema “Luz e Visão”, cujo tratamento se iniciava em sala de aula.
9. A aplicação de multas a quem não economizar energia elétrica é uma boa estratégia para garantir o racionamento da energia?	Questão que envolve aspectos éticos e de psicologia social. A geração e a distribuição de energia é um tema pertinente à interface ciência/tecnologia. Todavia, essa questão foi formulada de tal forma a se afastar de uma identificação simples e direta seja com a ciência, seja com a tecnologia. O cerne da questão, do modo como ela se apresenta, trata de um fenômeno social e não de um fenômeno natural. Assim sendo, apesar de sua relevância social, esperávamos que essa questão não fosse classificada como sendo “de interesse das ciências”.
10. A verdade existe? É possível alcançar um conhecimento verdadeiro e definitivo sobre o mundo?	Questão de natureza filosófica e metacientífica. Não se trata, portanto, de uma questão que se submeta à investigação científica. Contudo, achamos que existia a possibilidade de que os estudantes se relacionassem à ciência, tendo em vista o fato de que os cientistas podem ser representados como pessoas que se dedicam a alcançar um conhecimento “correto” ou de “maior valor”. Em outras palavras, pretendíamos utilizar essa questão para colher opiniões dos estudantes acerca do status do conhecimento científico.



Terceira fase: O teste empírico de teorias ou explicações na história do balão cheio de ar aquecido

Julia e Sara estavam fazendo uma atividade durante uma aula de ciências. Na atividade, um balão de borracha foi preso no gargalo de uma garrafa (veja a figura). A professora, que se chamava Maria Auxiliadora, disse para as garotas aquecerem o vidro da garrafa e, então, observar o que iria acontecer. Ao seguirem essas instruções, Julia e Sara notaram que o balão tornava-se maior.



- O balão está crescendo, disse Julia. Por que será que isto está ocorrendo?
- É o ar, respondeu Sara, ‘quando o ar fica quente, mais ar entra dentro do balão. Olhe, você pode ver o ar enchendo o balão. Existe mais ar dentro dele agora.
- Sim, disse Julia, mas por que será que isto acontece?
- Bem, eu tenho uma teoria para explicar isso..., respondeu Sara.

Interrupção 1

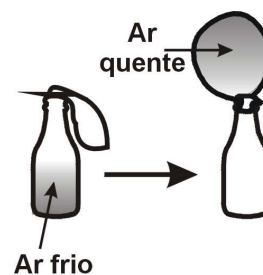
O QUE VOCÊ ACHA QUE A SARA QUIS DIZER QUANDO USOU A PALAVRA TEORIA? (Pausa para obter respostas)

ELA USOU A PALAVRA DE FORMA CORRETA? TEORIA É ISSO MESMO, OU A PALAVRA TEORIA TEM OU SIGNIFICADO, ISTO É, QUER DIZER OUTRAS COISAS? (Pausa para obter respostas)

VOCÊS TÊM ALGUMA IDÉIA DE QUE TEORIA ELA PODERIA ESTAR FALANDO? VOCÊS TÊM ALGUMA TEORIA PARA EXPLICAR O QUE OCORRE COM O BALÃO? (Pausa para obter respostas)

- Conte-me então, disse Julia, que teoria você tem?
- Bem, disse Sara. Eu acho que isto acontece porque o ar quente sobe. Você sabe que nós podemos sentir o ar quente subindo quando ligamos aquecedores e coisas assim. Eu acho que quando nós aquecemos a garrafa, aquecemos também o ar dentro dela que, então, se torna quente e sobe. Ao subir, o ar enche o balão.

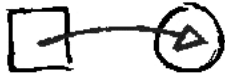
Neste momento, Sara fez um desenho para explicar a Julia o que ela estava querendo dizer (veja a figura ao lado).



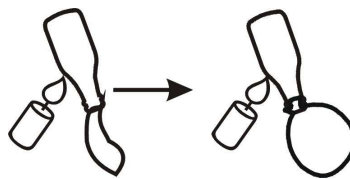
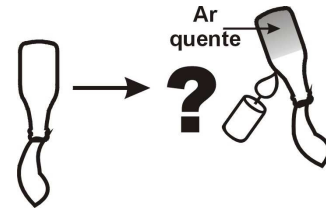
Interr. 2

AS DUAS GAROTAS PODEM REALMENTE TER CERTEZA DE QUE A TEORIA DE SARA ESTÁ CORRETA? COMO ELAS PODERIAM VERIFICAR SE ESSA TEORIA ESTÁ REALMENTE CORRETA?

Julia pensou sobre a explicação de Sara por um minuto.



- Eu acho que eu não concordo totalmente com sua explicação, ela disse. Se sua idéia está correta, o que aconteceria se nós aquecêssemos a garrafa mantendo-a virada de cabeça para baixo? Se o ar quente sobe, ele iria para a cima e se acumularia no fundo da garrafa sem encher o balão, não é? (veja a figura ao lado).
- Legal Julia, deixe-me verificar sua idéia. Eu vou virar a garrafa fria com o balão ainda murcho. Vou colocar tudo de cabeça para baixo. Aí eu vou aquecer a garrafa e ver o que acontece. (veja o resultado da experiência na figura abaixo)



Interr. 3

VOCÊS ESTÃO SURPRESOS COM O RESULTADO DA EXPERIÊNCIA? O QUE ESSE RESULTADO PODE DIZER PARA AS DUAS GAROTAS? ELE TRAZ EVIDÊNCIAS A FAVOR OU CONTRA A TEORIA APRESENTADA INICIALMENTE POR SARA?

- Eu não pensava que isto pudesse acontecer, disse Sara. Eu não sabia que deste jeito o balão também poderia ficar maior.

As suas garotas pensaram por um minuto. Então, Julia disse:

- Minha teoria é que o ar se expande quando é aquecido. Então ele precisa de mais espaço, e é isto que faz com que o balão fique maior.

Sara, então, disse:

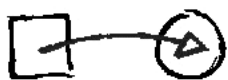
- O que a palavra expandir significa?
- Significa ficar maior e precisar de mais espaço, explicou Julia.

Análise final da história

AS GAROTAS TÊM AGORA DUAS DIFERENTES TEORIAS PARA EXPLICAR PORQUE O BALÃO TORNA-SE MAIOR QUANDO A GARRAFA É AQUECIDA: 1º- AR QUENTE SOBE; 2º- AR AQUECIDO SE EXPANDE. VOCÊ ACHA QUE ESSAS TEORIAS SÃO DIFERENTES?

QUAL DAS DUAS VOCÊS ACHAM MELHOR PARA EXPLICAR AQUILO QUE PODE SER OBSERVADO NA EXPERIÊNCIA?

CONSIDERANDO O FINAL DA HISTÓRIA, VOCÊS GOSTARIAM DE REVER A OPINIÃO QUE VOCÊS HAVIAM APRESENTADO, ANTERIORMENTE, SOBRE A POSSIBILIDADE DE SE TESTAR UMA TEORIA, AUMENTANDO NOSSA AVALIAÇÃO DE QUE ESSA TEORIA É REALMENTE CORRETA?



A.2- Pesquisas sobre acesso à divulgação científica

A.2.1- QUESTIONÁRIO 1 (entregue no momento da entrevista inicial):

Nome: _____ - **Idade:** _____

OBJETIVOS DO PESQUISADOR COM O QUESTIONÁRIO:

- I- Identificar as fontes de informação sobre ciências a que os alunos têm acesso.
- II- Avaliar a motivação dos alunos para se envolver com discussões sobre a ciências e a importância que eles atribuem ao tema.

QUESTÕES:

Nas oito questões abaixo, favor explicar sua opinião com a maior clareza e o maior número de detalhes possível. Desde já, muito obrigado!

1. Você sabe porque apenas uma das disciplinas que você estuda na escola é chamada de “Ciências”? [Explique sua opinião com a maior clareza e o maior número de detalhes possível]
2. Além da escola, você ouve falar de ciência em outros “lugares”? Que lugares são esses? [Jornais, TV, filmes, conversas com adultos ou colegas, outros?]
3. Em quais desses “lugares”, você tem **mais acesso** a informações sobre a ciência?
4. Quais dentre essas fontes de informação sobre ciência você acha mais confiáveis? Por quê?
5. Você acha que a ciência é uma atividade que recebe muita divulgação ou é difícil ouvir falar sobre ciência? Por quê?
6. Em sua opinião, a ciência aprendida na escola é a mesma que os cientistas desenvolvem ou já desenvolveram? Explique.
7. Em sua opinião, a escola é um bom lugar para aprender como a ciência “funciona” e como se produz o conhecimento científico? Explique.
8. Você tem curiosidade e vontade de saber como se desenvolve o conhecimento científico, ou acha que esse assunto “não é para você”? Explique.



A.2.2- QUESTIONÁRIO 2 (Preenchido em sala de aula sob orientação do professor na época da realização da entrevista final)

Nome: _____ - Profiss. do Pai: _____ - Profiss. da Mãe: _____

↓ REVISTAS OU PROGRAMAS DE TV	Tenho acesso regularmente a.....		Tive acesso poucas vezes, mas...		Nunca tive acesso, mas....	
	Mais de 1 ano	Mais de 2 anos	Gostaria de ter mais	Tenho pouco interesse	Gostaria de ter	Não me interesse
1. Revista Super Interessante						
2. Revista Galileu						
3. Revista Ciência Hoje para crianças						
4. Outras revistas (especificar):						
5. Canal Discovery Channel						
6. Canal Animal Planet						
7. Programas sobre Ciências da TV Minas						
8. Programa Globo Ciências da TV Globo						
9. Outros programas (especificar):						



A.3- Questões para a interação com os estudantes na entrevista final

1ª Fase

- 1) A “explicação científica” apresentada na folha que vocês receberam está baseada em um modelo. Todos os elementos que esse modelo contém foram retirados diretamente da observação do fenômeno de decomposição da luz branca?
 - a) Em caso de resposta afirmativa, perguntar: as “partículas de luz” podem ser observadas ou são elementos derivados da imaginação?
 - b) Em caso de resposta negativa (tanto na primeira pergunta quanto no item anterior), perguntar: a presença de elementos derivados da imaginação e não da observação poderia ou deveria ser evitada?
- 2) Explicações que contém muitos elementos retirados da imaginação do cientista são raras ou freqüentes nas ciências?
 - a) Caso a resposta seja “explicações que contém muitos elementos retirados da imaginação do cientista são raras”, perguntar: a idéia de que os materiais são feitos de “pequenas partículas” (átomos ou moléculas) surgiu da observação dos materiais através de “poderosos microscópios”, ou essa idéia já existia antes disso?
 - b) Caso a resposta seja “freqüente”, como primeira opção, ou após a intervenção do entrevistador no item (a), perguntar: ter mais ou menos elementos “extraídos” da imaginação do cientista é um bom critério para julgar uma explicação como muito ou pouco confiável, ou há outro critério melhor para avaliar a qualidade de uma explicação?

2ª Fase

- 1) O experimento descrito na folha que vocês receberam foi criado para resolver uma disputa entre duas teorias diferentes sobre o que constitui a luz branca.
 - a) O resultado do experimento criado por Newton é coerente com a idéia de que a luz é composta por partículas de diferentes tamanhos, estando cada tamanho associado a uma cor diferente? Explique.
 - b) Todos os experimentos feitos na ciência servem para resolver disputas entre teorias (se possível, dê exemplos)?
- 2) Se os resultados de um experimento contrariam o que um cientista esperava:
 - a) O cientista deve considerar isso como um “mau resultado”? Por que, ou por que não? (se possível, dê exemplos).
 - b) O cientista pode aprender algo a partir desse tipo de situação? O que? (se possível, dê exemplos)
 - c) Alguma experiência que vocês realizaram na sala de aula já deu um resultado oposto ao que vocês esperavam? Isso foi considerado como um mau resultado? O que se pode aprender nessa situação?



3ª Fase

- 1) A história contada na folha que vocês receberam apresenta uma situação em que duas teorias diferentes foram criadas para explicar um mesmo conjunto de fenômenos (nesse caso ligados ao comportamento e à natureza da luz).
 - a) É comum a existência de mais de uma teoria para explicar um mesmo tema ou assunto?
 - b) Isso é interessante ou “saudável”, ou, ao contrário, deve ser evitado?
- 2) Supondo que exista mais de uma teoria ou explicação em jogo, o que pode ser feito para decidir qual delas é a melhor? (Em caso de indecisão provocar: o jeito, então, é aceitar a influência da autoridade e prestigiar a opinião dos cientistas mais famosos ou prestigiados?)
- 3) Os cientistas podem cometer erros ou estarem errados? Que tipo de coisa pode levar um cientista ao erro? Que tipo de coisa pode levar um cientista a abandonar uma teoria e adotar outra?

4ª Fase

- 1) Para que serve a ciência?
- 2) A ciência que aprendemos na escola nos ajuda a entender para que serve a ciência?
- 3) A ciência que aprendemos na escola nos ajuda a entender como a ciência “funciona” e quais são as estratégias usadas na ciência para produzir conhecimento?
- 4) Vocês consideram que sua experiência como aluno de ciências naturais do ensino fundamental os permitiu desenvolver uma boa compreensão sobre “como a ciência funciona”? Explique.

Exemplo de ficha com trechos escolhidos da entrevista inicial dupla A07 & A13

- 1) Na fase 2, depois da questão 1 (c), repetir pergunta das semelhanças entre homem e chimpanzé e perguntar explicitamente se o interesse da ciência na questão deve-se ao critério “Coordenação entre Teorias e Evidências” (sigla CT&E do quadro IV.3). Caso afirmem a vinculação, resgatar falas na página 5 da transcrição da entrevista inicial, na qual tal vinculação foi negada.
- 2) Na fase 3, ao tratar do processo de escolha entre teorias, após as questões 1 e 2, ver se as estudantes afirmam que pode haver mais de uma teoria para explicar o mesmo assunto. Se o fizerem, ler páginas 7 e 8 da transcrição da entrevista inicial, nas quais elas parecem não admitir a existência ou o interesse da ciência em avaliar diversas teorias sobre um mesmo assunto.



- 3) Ainda na fase 3, após as questões 3 e 4, ver se as estudantes afirmam o “Caráter Provisório e Conjectural do Conhecimento Científico” (sigla CPCC do quadro IV.3) de modo bem claro. Se o fizerem, ler trecho na página 9 da transcrição da primeira entrevista, no qual elas parecem negar esse caráter ao aceitar a idéia que sugere o “fim da ciência” depois que um assunto é devidamente estudado pelos cientistas.
- 4) Na fase 4, ao tratar da função social da ciência, após a questão 1, ler dois trechos grifados no final da página 28 da transcrição da entrevista inicial onde elas expõem sua opinião sobre a divulgação das idéias da ciência e ouvir novamente a opinião das estudantes a esse respeito.
- 5) Ainda na fase 4, após a questão 2, caso as estudantes não emitam opinião afirmando a estreita vinculação entre as metas das ciências e a investigação que questões que instigam a curiosidade humana (sigla ACCH do quadro IV.3), ler declaração das estudantes nas páginas 24 e 26 da transcrição da primeira entrevista e questionar razões de uma alargamento ou mudança de perspectiva na forma de atribuir metas ou objetivos às ciências.

A.4- Roteiro de entrevista com o professor

- 1) Como se constituíram suas imagens da natureza das ciências?
 - a) Pedir para mencionar leituras, discussões, vivências.
 - b) Pedir para comparar o período anterior e posterior ao desenvolvimento da unidade de ensino da qual eu participei.
- 2) Em relação ao interesse que você havia demonstrado pelo projeto e pelo meu objeto de estudo:
 - a) Você continua empenhado em contribuir para incrementar a compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências?
 - b) Em caso afirmativo, como tem desenvolvido esse esforço e que limitações ou dificuldades você identifica no desenvolvimento desse objetivo?
- 3) Para promover reflexões sobre a natureza das ciências é importante conceber objetivos de ensino aprendizagem que delimitem, afinal, quais são os aspectos da natureza das ciências a serem contemplados e que compreensão se pretende alcançar em relação a eles. Nos anexos das atividades que subsidiaram a unidade de ensino, cujo desenvolvimento registramos em áudio e vídeo, eu fiz uma tentativa de conceber e explicitar esse tipo de objetivo.
 - a) Que uso você fez destes anexos?
 - b) Você acha a diretriz de conceber objetivos desse tipo pertinente? Por que?
 - c) Você se sente preparado para gerar ou conceber esse tipo de objetivo? Explique.



- 4) Ao assistir a fita com a avaliação da etapa que você conduziu junto com os estudantes, alguns deles reclamaram do excesso de folhas utilizadas para orientar a realização das atividades. Eles alegaram que o livro continha tudo o que havia sido estudado na etapa, mas eles só foram orientados a utilizá-lo ao final da mesma. O estudante A17 foi o único cuja intervenção mostrou sua clareza em relação às diferenças no modo como o livro e as atividades abordaram o tema Luz & Visão. Fiquei com a impressão de que, possivelmente, a maioria dos estudantes não conseguiu perceber que havíamos vivido uma experiência de ensino aprendizagem que enfatizava duas questões epistemológicas básicas: como sabemos e porque acreditamos no que acreditamos acerca da natureza e do comportamento da luz nos fenômenos naturais.
- O que você acha disso?
 - Se, realmente, os estudantes não perceberam que essas duas questões estavam sendo enfatizadas, que esperança podemos nutrir em relação à possibilidade de termos, de algum modo contribuído para a evolução de seu saber sobre as ciências?
 - Será que os estudantes tomaram consciência do investimento que se fez na compreensão da natureza das ciências?
- 5) Desenvolver a compreensão dos estudantes em relação à natureza das ciências é uma meta curricular que julgo ser importante. Mas, as metas curriculares e os objetivos educacionais a elas relacionados precisam ser avaliados. Em sua opinião, sem recorrer a instrumentos “dispendiosos” que são próprios da pesquisa acadêmica, como as entrevistas semi-estruturadas que eu utilizei no início e vou utilizar na parte final da parte empírica da minha pesquisa, como seria possível avaliar o possível avanço da compreensão dos estudantes sobre a natureza das ciências?
- 6) Quando me apresentou aos estudantes, você disse a eles que minha presença e minha pesquisa não trariam nenhuma modificação essencial nas características do trabalho que você havia começado a realizar no primeiro trimestre de 2001.
- As diretrizes centrais do ambiente de aprendizagem desenhado no meu projeto de pesquisa, parcialmente concretizadas no material concebido para auxiliar o desenvolvimento das atividades, realmente não apresentaram “grandes novidades” ou o seu discurso valorizou a “continuidade” em detrimento da “ruptura” para me inserir no ambiente de sala de aula, minimizando o impacto que minha presença poderia trazer naquele momento?
 - Hoje, como você avalia as características do ambiente de aprendizagem proposto no projeto e os valores e concepções que o sustentam?
 - Como você avalia o desempenho da turma após a experiência? Houve sinais de maior ou menor adesão ao “contrato didático” que sustenta o tipo de ambiente de aprendizagem que suas próprias convicções pedagógicas e o projeto que eu lhe apresentei pretendiam configurar?
 - Como você concilia sua postura dialógica e paciente em sala de aula com a necessidade de impor limites e incentivar o estudo e a produção acadêmica dos estudantes?
- 7) O que a experiência que compartilhamos acrescentou a seu desenvolvimento profissional?