

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA

**A EPISTEMOLOGIA CONTEMPORÂNEA E SUAS CONTRIBUIÇÕES EM
DIFERENTES NÍVEIS DE ENSINO DE FÍSICA: A QUESTÃO DA
MUDANÇA EPISTEMOLÓGICA**

Neusa Teresinha Massoni

**Tese de Doutorado em Física apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em Física
do Instituto de Física da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como
requisito parcial para obtenção do título
de doutor em Ciências.**

Orientador: Dr. Marco Antonio Moreira

Agosto/2010

SUMÁRIO

Capítulo 1: INTRODUÇÃO.....	7
1.1 <i>Uma reflexão pessoal.....</i>	7
1.2 <i>O estudo.....</i>	8
1.3 <i>O objetivo.....</i>	9
1.4 <i>A estrutura da tese.....</i>	10
Capítulo 2: REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1 <i>Artigos que enfatizam as relações entre as concepções epistemológicas dos professores e suas práticas de ensino de Física, e de ciências em geral.....</i>	15
2.2 <i>Artigos que apresentam propostas, estratégias e argumentações visando facilitar e motivar a discussão da natureza da ciência na formação inicial e no ensino de ciências.....</i>	18
2.3 <i>Artigos que argumentam em favor da importância e necessidade de incorporar a natureza da ciência nos currículos de ensino no ensino superior, médio e fundamental.....</i>	30
2.4 <i>Artigos que defendem a abordagem histórica para discutir a natureza da ciência e superar dificuldades dos alunos (a História da Ciência).....</i>	38
2.5 <i>Artigos que investigam e discutem as concepções sobre a natureza da ciência de estudantes em diferentes níveis de ensino, suas mudanças, relações e implicações na vida educativa e social.....</i>	45
2.6 <i>Artigos sobre necessidades de introduzir mudanças nos cursos de Licenciatura (os cursos de formação de professores de ciências).....</i>	55
2.7 <i>Artigos sobre visões da natureza da ciência passada pelos livros didáticos de Física, e de ciências em geral.....</i>	59
2.8 <i>Artigos sobre a tendência atual da Pesquisa em Ensino de Física e outros aspectos relacionados com o ensino de Física.....</i>	62
Capítulo 3: REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO.....	65
3.1 <i>Um pouco de História da Epistemologia.....</i>	66
3.2 <i>Algumas “ visões epistemológicas contemporâneas” (VECs).....</i>	77
3.2.1 <i>Karl Popper.....</i>	79
3.2.2 <i>Thomas Kuhn.....</i>	82
3.2.3 <i>Imre Lakatos.....</i>	85
3.2.4 <i>Larry Laudan.....</i>	87
3.2.5 <i>Gaston Bachelard.....</i>	89
3.2.6 <i>Stephen Toulmin.....</i>	92
3.2.7 <i>Paul Feyerabend.....</i>	94
3.2.8 <i>Humberto Maturana.....</i>	99
3.2.9 <i>Mario Bunge.....</i>	103
3.3 <i>Algumas visões epistemológicas mais recentes.....</i>	106
3.3.1 <i>Ernst Mayr.....</i>	106

3.3.2 Ilya Prigogine.....	107
3.3.3 Nancy Cartwright.....	110
3.3.4 Ian Hacking.....	112
3.3.5 Timothy Lenoir	112
Capítulo 4: REFERENCIAL METODOLÓGICO.....	115
4.1 Pesquisa qualitativa e a opção pela etnografia.....	115
4.2 A estrutura da pesquisa.....	121
4.3 Um exemplo de estudo etnográfico em ciência (uma tentativa de compreender a natureza da ciência).....	125
4.3.1 Alguns conceitos fundamentais da Supercondutividade.....	126
4.3.2 A teoria microscópica da Supercondutividade atualmente aceita pela comunidade científica.....	129
4.3.3 Como se faz pesquisa em um moderno laboratório de Física?.....	132
4.3.4 Como é o cotidiano e em que consiste o trabalho do pesquisador moderno?.....	135
4.3.5 Quais são os desafios da pesquisa científica atual?.....	140
4.3.6 Visões epistemológicas dos pesquisadores: uma breve análise de entrevistas.....	142
Capítulo 5: ESTUDO I: UMA MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA E ESTUDO II: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE VISÕES EPISTEMOLÓGICAS CONTEMPORÂNEAS NA TRANSFORMAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE PROFESSORES DE FÍSICA ATUANTES.....	147
5.1 Estudo I: uma motivação para a pesquisa.....	147
5.2 Estudo II: Um Estudo Exploratório sobre a contribuição de Visões Epistemológicas Contemporâneas na transformação das concepções de professores de Física atuantes.....	150
5.2.1 Introdução.....	150
5.2.2 O objetivo do Estudo Exploratório (Estudo II).....	150
5.2.3 O público alvo, as estratégias e os resultados.....	151
5.2.3.1 Etapa I: disciplina de Epistemologia e Ensino de Física.....	152
5.2.3.2 Etapa II: disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II.....	163
5.2.4 Alguns achados do Estudo Exploratório.....	173
Capítulo 6: ESTUDO III: ESTUDO DE CASO COM UM PROFESSOR DE FÍSICA DE UMA ESCOLA PARTICULAR (CONFESSIONAL)	175
6.1 O professor, a escola e o público alvo.....	175
6.2 O objetivo.....	176
6.3 O cotidiano da sala de aula de uma escola particular de Ensino Médio.....	176
6.4 Alguns achados do Estudo de Caso com o Professor A (Estudo III).....	221
Capítulo 7: ESTUDO IV: ESTUDO DE CASO COM UM PROFESSOR DE FÍSICA DE UMA ESCOLA MILITAR	226
7.1 O professor, a escola e o público alvo.....	226
7.2 O objetivo.....	227
7.3 O cotidiano da sala de aula de uma escola militar de Ensino Médio.....	227
7.4 Alguns achados do Estudo de Caso com o Professor B (Estudo IV).....	276

Capítulo 8: ESTUDO V: ESTUDO DE CASO COM UMA PROFESSORA DE FÍSICA DE UMA ESCOLA PÚBLICA.....	283
8.1 <i>A professora, a escola e o público alvo.....</i>	283
8.2 <i>O objetivo.....</i>	284
8.3 <i>O cotidiano da sala de aula de uma escola pública de Ensino Médio.....</i>	284
8.4 <i>Alguns achados do Estudo de Caso com a Professora C (Estudo V).....</i>	335
Capítulo 9: UMA ANÁLISE CRUZADA.....	340
9.1 <i>Um quadro comparativo dos três Estudos de Caso.....</i>	340
9.2 <i>Uma análise estatística descritiva sobre as concepções epistemológicas dos alunos de Ensino Médio dos estudos de caso.....</i>	351
Capítulo 10: ANÁLISE DE ENTREVISTAS COM PROFESSORES DE FÍSICA. 369	
Capítulo 11: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	382
11.1 <i>Uma tentativa de Ordenamento Conceitual (Teoria Fundamental).....</i>	382
11.2 <i>Tentativa de responder às questões-foco da pesquisa.....</i>	391
REFERÊNCIAS.....	398

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi investigar a influência de visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores e futuros professores de Física sobre a natureza da ciência e a relação entre essas concepções de professores de Física e as práticas didáticas por eles privilegiadas. Em última análise, pesquisaram-se as potencialidades das visões epistemológicas contemporâneas para promover um ensino de Física mais crítico e reflexivo.

A investigação incluiu cinco estudos de caso etnográficos, abrangendo a formação inicial e pós-graduada de professores e a prática em sala de aula: o Estudo I foi o que motivou esta tese, envolveu um grupo de licenciandos, futuros professores de Física à época, e investigou as concepções sobre a natureza da ciência e as transformações nelas ocorridas através de uma disciplina de História e Epistemologia da Física, na graduação; o Estudo II envolveu professores de Física já atuantes, e teve fim idêntico ao estudo precedente através de uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física, na pós-graduação; os Estudos III, IV e V foram estudos de caso etnográficos com professores de Física que tinham diferentes concepções epistemológicas, no exercício da docência no Ensino Médio, em diferentes tipos de escola. Estes três estudos buscaram vislumbrar possíveis relações entre as concepções epistemológicas dos professores e a forma como ensinam a Física.

Os resultados dos Estudos I e II indicaram que distintas visões epistemológicas contemporâneas apresentadas e discutidas explicitamente, através de estratégia colaborativo-presencial, apresentaram-se como ferramenta potencial, amplamente defendida na literatura, para transformar as visões dos professores sobre a natureza da ciência, na expectativa de que ocorra a implementação de um ensino de Física mais crítico e reflexivo. Contudo, através da descrição compreensiva da sala de aula em diferentes contextos e distintas escolas, Estudos III, IV e V, obteve-se que não se observa ainda uma articulação adequada entre as visões epistemológicas dos professores e suas estratégias didáticas, capaz de fazer uso efetivo desse potencial para a melhoria do ensino de Física. A relação mais visível entre as concepções dos professores e suas práticas docentes se traduz na diversificação das estratégias didáticas e na adoção de um espírito mais aberto à mudança e à negociação de idéias, por aqueles professores que detêm visões alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas. Mas, mesmo os professores que têm visões contextualizadas sobre a natureza da ciência não se mostraram preparados para ensinar a Física “como ela é”, uma ciência em construção, menos dogmática, menos associada a leis e teorias fixas e imutáveis, de forma que é possível inferir que as novas visões sobre a natureza da ciência não chegaram ainda à sala de aula do Ensino Médio. O resultado da aplicação de um questionário sobre concepções epistemológicas a alunos de três turmas de Ensino Médio, de diferentes escolas, não apresentou diferenças significativas, embora lecionadas por professores de Física com diferentes concepções epistemológicas, o que parece reforçar nossos achados. A questão da mudança epistemológica é, assim, um processo incipiente, desarticulado, com muitas questões em aberto e parece sugerir a relevância de se repensar a formação inicial e continuada dos professores de Física.

ABSTRACT

The purpose of this research was to investigate the influence of contemporary epistemological views in the transformation of physics teachers' conceptions about the nature of science and the relationship between these conceptions and the didactic practices preferred by them. Essentially, the research was concerned with the potentiality of contemporary epistemological views to promote a more critical and reflexive teaching of physics.

The investigation included five ethnographic case studies: the first was the one which motivated this thesis, involving a group of physics majors, prospective physics teachers at the time, investigating their conceptions on the nature of science and the transformations that occurred in them as a consequence of a History and Epistemology of Physics course; the second study involved physics teachers already in service and had the same objective of the previous study but in a graduate course of Epistemology and Physics Teaching; studies III, IV and V were also ethnographic case studies with physics teachers already teaching at high school level school, but in different schools and with different epistemological views. Those three studies searched for possible relationships between teachers' epistemological conceptions and their way of teaching physics.

The results of studies I and II suggested that epistemological contemporary views, presented and explicitly discussed through a collaborative presential teaching strategy, are a powerful tool, largely supported by the literature, to transform teachers' epistemological conceptions on the nature of science, eventually leading them to a more critical and reflexive approach to physics teaching. However, comprehensive ethnographic classroom descriptions in three different kinds of schools carried out in studies III, IV and V, did not show yet an appropriate articulation of teachers' epistemological views and the didactical strategies they used, which would make a more effective use of that potential to improve physics teaching. The most visible relationships between teachers' epistemological beliefs and their teaching practices was expressed by the diversification of the didactical strategies they used and in the assumption of a more open minded position to change, and to the negotiation of meanings by a teacher holding epistemological beliefs aligned to epistemological contemporary views. But even that teacher holding these contextualized epistemological views did not seem to be prepared to teach physics "as it is", as a science in construction, less dogmatic, less associated to laws and fixed theories. Thus, it was possible to conclude that new views about the nature of science have not yet arrived to high school classrooms. The results obtained through a questionnaire on epistemological beliefs applied to students of three different did not show significant differences, even when the classes were taught by physics teachers with different epistemological conceptions, and seem to confirm the research findings. The matter of teachers' epistemological change seems to be an incipient process, unarticulated, and with many open questions, suggesting the need of rethinking physics teachers preparation both initial and continued.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 Uma reflexão pessoal

Este empreendimento resulta grandemente da inquietude de um espírito que não vê com conformismo a difícil situação do ensino em nosso país, da educação fundamental ao ensino superior.

É de domínio público que o Ensino Fundamental vive uma situação de sucateamento; que o Ensino Médio deixou de focar a educação para a cidadania e se tornou, em grande parte, um treinamento para o vestibular ou para outros exames de ingresso ao Ensino Superior; e este, convive, na universidade pública, com uma situação em que as pessoas são contratadas como pesquisadores, mas têm que dar aulas e muitas vezes sem vocação para o ensino, tornando os cursos de graduação muito rígidos e pouco devotados à preparação de professores para o ensino fundamental e médio.

É nesse cenário que nossa inquietude de espírito, esperançosamente, deseja ver o cotidiano da sala de aula converter-se em um espaço de criação, negociação e recriação dos saberes, por um processo crítico e reflexivo de educandos e educadores.

Resulta também, este estudo, do sonho de poder oferecer uma pequena contribuição para a melhoria da qualidade do Ensino Médio de Física. A Física, que é uma ciência apaixonante, de elegantes e precisas explicações de fenômenos naturais, de enorme consistência no seu corpo teórico e uma das mais belas obras que o homem vem construindo em sua longa história de produção do conhecimento científico, merece ser melhor compreendida pelos estudantes.

Ao mesmo tempo, é uma ciência que requer do educador, além do rigor técnico e do domínio de seu corpo conceitual, certa preparação filosófica, epistemológica, para captar-lhe o mais fascinante e ensiná-la adequadamente. É nesse sentido que acreditamos que “visões epistemológicas contemporâneas” podem ajudar a melhorar o Ensino de Física, refletido-a como uma ciência em construção, fazendo do professor um divulgador da Física, conquistado por sua beleza exuberante.

1.2 O estudo

Esta tese de doutorado foi incitada pelos achados bastante positivos de um estudo de caso etnográfico que investigou as concepções da natureza da ciência de um grupo de estudantes de Licenciatura em Física e sua evolução através de uma disciplina de História e Epistemologia da Física, na graduação. O estudo resultou em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005), é chamado nesta investigação de Estudo I, e foi a motivação primeira para a continuidade da pesquisa, que se tornou mais abrangente e mais profunda.

Mais abrangente porque além de estudantes de graduação em Física, investigamos estudantes de pós-graduação e também professores de Física no exercício da docência no Ensino Médio. Mais profunda porque realizamos um conjunto de quatro novos estudos etnográficos, que somados ao Estudo I totalizaram cinco estudos, e fizemos observação participante em sala de aula durante pelo menos mais quatro semestres letivos, que serão descritos e analisados em detalhe ao longo deste texto.

Nesta investigação assumimos como pressuposto, comumente encontrado na literatura, que professores de Física, e de ciências em geral, que detêm visões epistemológicas superadas, empiristas-indutivistas ou positivistas, acabam adotando estratégias didáticas inadequadas frente a essas visões, e desejamos poder obter, não respostas finais, mas indícios de que professores que têm concepções mais alinhadas à “concepções epistemológicas contemporâneas” podem fazer a diferença.

Assim, o foco desta pesquisa é a questão da mudança epistemológica, em diferentes perspectivas de ensino da Física. Dos professores enquanto alunos de disciplinas como as de História e Epistemologia da Física e Epistemologia e Ensino de Física, buscando transformar suas concepções sobre a natureza da ciência, e enquanto profissionais no exercício da docência, tentando compreender como eles utilizam suas concepções epistemológicas, e se as utilizam, para ensinar Física. Dos estudantes enquanto participantes de uma cultura específica, a sala de aula, onde inequivocamente atuam as visões epistemológicas dos professores de Física em interação com aquelas dos seus alunos. Da sala de aula como uma realidade inserida em uma cultura mais abrangente, a escola, e em última instância na sociedade como um todo.

1.3 O objetivo

Creemos que descrevendo compreensivamente as estratégias didáticas dos professores, as ações e os movimentos de estudantes e professores na cultura da sala e aula, e cruzando dados obtidos em diferentes realidades educativas, poderia ser possível tentar vislumbrar as relações (e se há) entre as visões epistemológicas de professores de Física e suas práticas didáticas, perceber as transformações das concepções dos professores geradas pelas “visões epistemológicas contemporâneas” e em que medida as VECs podem contribuir para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem de Física.

Sob esse escopo, o objetivo desta tese de doutorado é responder, tanto quanto possível, através de pesquisa qualitativa, descritiva, interpretativa, às seguintes questões-foco:

- 1) *Concepções epistemológicas alinhadas às chamadas “visões epistemológicas contemporâneas” contribuem de forma efetiva na transformação e melhoria das práticas didáticas dos professores de Física que atuam no Ensino Médio, no sentido de torná-los mais críticos e reflexivos?*
- 2) *Como acontece a transposição didática dos conhecimentos adquiridos, refletidos e discutidos ao longo da formação epistemológica, pelos professores de Física que tiveram esse tipo de iniciação?*
- 3) *Como acontece o ensino e aprendizagem da Física quando ensinada sob a perspectiva de uma construção intelectual humana tentativa, provisória, aberta a novas e melhores explicações? Melhora a motivação e a imagem da Física por parte dos alunos?*
- 4) *Há diferenças perceptíveis nas práticas docentes com relação àqueles professores que não tiveram este tipo de formação?*
- 5) *Há diferenças nas práticas docentes de professores de Física que atuam em diferentes tipos de escolas?*

1.4 A estrutura da tese

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos, a tese foi organizada sob a seguinte estrutura básica:

- partiu-se de achados do **Estudo I**, como já referido, que investigou as concepções e a evolução das concepções de futuros professores de Física, à época, através de uma disciplina de História e Epistemologia da Física, lecionada na graduação, e dos resultados da revisão da literatura, que sugerem que “visões epistemológicas contemporâneas”, ou VECs, podem ser ferramentas potencialmente significativas para a melhoria das práticas didáticas e do ensino de Física;

- visando alargar os horizontes, realizou-se um estudo exploratório – o **Estudo II** – com professores de Física já atuantes, alguns por longo tempo, para investigar em que medida as concepções desses professores eram transformadas por uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física, lecionada na pós-graduação, e como esses professores percebiam esse aprendizado para modificar e melhorar suas práticas didáticas;

- procurando aumentar a acuidade, foram desenvolvidos três estudos de caso etnográficos com professores de Física exercendo a docência em distintos tipos de escolas e dotados de diferentes visões epistemológicas. A investigação dessa diversidade de culturas pretendeu cobrir os diferentes tipos de escolas de Ensino Médio, a saber:

- a. **Estudo III**, realizado com um professor que tem concepções epistemológicas sabidamente (através dos dois estudos anteriores) alinhadas às VECs, em uma escola particular;
- b. **Estudo IV**, realizado com um professor que não tem concepções epistemológicas adequadas às VECs, em uma escola militar;
- c. **Estudo V**, realizado com uma professora que tem concepções parcialmente alinhadas às VECs, cursou uma disciplina de Epistemologia na pós-graduação, em uma escola pública.

Dessa forma, a presente introdução, a revisão da literatura, o referencial teórico-epistemológico e o referencial metodológico compõem os quatro primeiros capítulos desta

tese. A descrição do cotidiano da sala de aula, das experiências vividas, dos eventos observados e a interpretação reflexiva dos estudos etnográficos, bem como uma análise cruzada dos três estudos de caso com professores de Física no exercício da docência, uma análise de entrevistas com os professores observados e as considerações finais compõem os capítulos de 5 a 11. É o que passamos a apresentar.

Capítulo 2

REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo deste capítulo é revisar, mapear e discutir trabalhos publicados em revistas especializadas em Ensino de Ciências, e de Física em particular, envolvendo a Filosofia da Ciência ou Epistemologia, que nesta tese são tomados como sinônimos, tal como justificado no Capítulo 3.

O trabalho de revisão bibliográfica incluiu consultas a periódicos disponíveis nas bibliotecas de duas universidades de Porto Alegre-RS e periódicos eletrônicos. Foram selecionados artigos julgados relevantes em termos de achados, levantamentos, propostas, estratégias e argumentações concernentes às vantagens, contribuições e potencial da Epistemologia da Ciência, e da Física em particular, na formação de professores de Física e, especialmente, suas implicações para a melhoria do ensino da Física nos diferentes níveis da educação.

Pretendeu-se não perder de vista que o foco desta tese é a questão da mudança epistemológica: identificação e transformação das concepções de estudantes e de professores de Física enquanto alunos de disciplinas como História e Epistemologia da Física e Epistemologia e Ensino de Física, investigação das possíveis relações entre as concepções epistemológicas dos professores, suas estratégias didáticas e a melhoria do ensino e aprendizagem da Física.

Com esse foco, importa saber o que a literatura informa sobre: tipos de concepções epistemológicas de professores, futuros professores e alunos; estratégias de transformação dessas concepções; novas propostas, estratégias e resultados buscando incluir aspectos das visões epistemológicas contemporâneas nas práticas docentes; o potencial das visões epistemológicas contemporâneas para a melhoria das práticas didáticas e as possíveis contribuições na melhoria do ensino e aprendizagem da Física, bem como na formação de espíritos críticos e reflexivos de professores e alunos.

Vale lembrar que a presente pesquisa foi incitada pelos achados de uma investigação que resultou em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005) apresentada ao Instituto de Física da

UFRGS (Estudo I), para a qual foi feita revisão da literatura até o ano de 2004. Assim, procedeu-se para esta tese a uma atualização da revisão bibliográfica com o objetivo ampliá-la de modo a cobrir o período de 2005 até 2008, e parte de 2009.

Os periódicos revisados até 2004 são apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1: Identificação dos periódicos revisados para a Dissertação de Mestrado (Estudo I), apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em 2005.

Periódicos:	Período revisado:
<i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i> (nome atual do <i>Caderno Catarinense de Ensino de Física</i>)	1984-2005
<i>Investigações em Ensino de Ciências</i>	1996-2005
<i>Journal of Research in Science Teaching</i>	1980-2004
<i>Physics Education</i>	1980-2004
<i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i>	1990-2004
<i>Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências</i>	2001-2004
<i>Science & Education</i>	1995-2004

Os periódicos revisados para cobrir o período 2005-2008/09 são apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2: Identificação dos periódicos revisados para a Tese de Doutorado (atualização e ampliação da revisão identificada no Quadro 2.1).

Periódicos:	Período revisado:
<i>A Física na Escola</i>	2007-2008
<i>Caderno Brasileiro de Ensino de Física</i>	2004-2009/1
<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	2001-2007
<i>Episteme</i>	1998-2004
<i>Física y cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias</i>	1996-2004
<i>International Journal of Educational Research</i>	2000-2009/1
<i>International Journal of Science Education</i>	2007-2009/1
<i>Investigações em Ensino de Ciências</i>	2005-2009/1
<i>Journal of Research in Science Teaching</i>	2007-2009/1
<i>Physics Education</i>	2004-2008
<i>Revista Brasileira de Ensino de Física</i>	2004-2009/1
<i>Revista Ciência & Educação</i>	1998-2009/1
<i>Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias</i>	2002-2009/1
<i>Science & Education</i>	2007-2009/1
<i>The Physics Teacher</i>	1999-2009/1

Devido à grande quantidade de produções textuais e artigos de diferentes modalidades encontrados na literatura e relacionados com a Filosofia da Ciência, muitas vezes

conjugada à História da Ciência, realizamos agrupamentos que facilitaram a identificação dos resultados da revisão bibliográfica.

Foram examinados 137 artigos e agrupados em oito categorias, conforme apresentado na Tabela 2.1, que também mostra a quantidade e percentual de trabalhos classificados em cada agrupamento.

Tabela 2.1: Categorias construídas para a classificação dos artigos da revisão bibliográfica, no que tange à Filosofia da Ciência e suas implicações no ensino de Física, e de ciências em geral.

Item	Agrupamento dos Artigos (categorias)	Qtde.	Percentual
2.1	Artigos que enfatizam as relações entre as concepções epistemológicas dos professores e suas práticas de ensino de Física, e de ciências em geral.	8	5,9%
2.2	Artigos que apresentam propostas, estratégias e argumentações visando facilitar e motivar a discussão da natureza da ciência na formação inicial e no ensino de ciências.	35	25,6%
2.3	Artigos que argumentam em favor da importância e necessidade de incorporar a natureza da ciência nos currículos de ensino de ciências (no ensino superior, médio e fundamental).	24	17,5%
2.4	Artigos que defendem a abordagem histórica para discutir a natureza da ciência e superar dificuldades dos alunos (a História da Ciência)	22	16,0%
2.5	Artigos que investigam e discutem as concepções sobre a natureza da ciência de estudantes em diferentes níveis de ensino, suas mudanças, relações e implicações na vida educativa e social	29	21,1%
2.6	Artigos sobre necessidades de introduzir mudanças nos cursos de Licenciatura, os cursos de formação de professores de ciências	8	5,9%
2.7	Artigos sobre visões da natureza da ciência passada pelos livros didáticos de Física	9	6,5 %
2.8	Artigos sobre a tendência atual da Pesquisa em Ensino de Física ou outros aspectos relacionados com o ensino	2	1,5%
	Total	137	100%

Cada categoria discriminada na Tabela 2.1 aparece, na sequência, como subitem deste capítulo e os trabalhos ali incluídos são resumidamente apresentados nos quadros, logo abaixo, ordenados pelo ano de publicação. Após cada quadro são feitos comentários gerais sobre os achados do ponto de vista da interpretação da autora.

2.1 Artigos que enfatizam as relações entre as concepções epistemológicas dos professores e suas práticas de ensino de Física, e de ciências em geral

Quadro 2.3: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 1.

Lederman (1999)	Relatou o resultado de múltiplos estudos de caso que investigaram relações entre o entendimento da natureza da ciência de professores de ciências e suas práticas de sala de aula. Delineou fatores que facilitam ou dificultam essa relação. Foram investigados durante um ano letivo cinco professores de Biologia, com experiências entre 2 e 15 anos, com uso de material planejado, observação participante, entrevistas e questionários com os professores e com estudantes dessas classes. Os resultados indicaram que as concepções da natureza da ciência dos professores não necessariamente influenciaram suas práticas didáticas, mas que a internalização de visões epistemológicas adequadas pelos professores se mostrou um importante objetivo instrucional no planejamento de muitas unidades de ensino. Obtiveram que a experiência dos professores, as intenções e as percepções dos estudantes são de importância crítica para o ensino e aprendizagem de ciências.
Sandoval, Cudmani e Madozzo (1995)	Atribuíram à <i>incorreta compreensão por parte dos docentes, da natureza do trabalho científico, e a inadequadas estratégias educativas derivadas dessas visões</i> o fracasso de algumas propostas inovadoras de ensino de ciências. Pesquisaram as concepções epistemológicas manifestadas por professores de ciências fáticas e obtiveram quatro grupos: <i>paradigma dogmático-escolástico</i> (professor é detentor do conhecimento e aluno é receptor); <i>paradigma indutivo-empirista</i> (processo indutivo a partir da observação objetiva e neutra); <i>paradigma cientificista</i> (ciência resulta da aplicação de um “método”); <i>paradigma construtivista</i> (sujeito participa ativamente das relações com o mundo físico e com outros sujeitos). Concepções do último grupo só apareceram em professores que faziam pesquisa em educação. Advertiram para a necessidade de incorporar a Epistemologia da Ciência nos cursos de formação de professores porque consideram que a <i>imagem que o professor possui e transmite sobre a natureza da disciplina</i> é um dos fatores importantes na aprendizagem da Física.
Hashweh (1996)	Descreveu uma pesquisa na qual um questionário foi aplicado a 35 professores de ciências palestinos, de Física, Química e Biologia, visando levantar suas concepções epistemológicas. Parte do questionário buscava levantar as ações instrucionais que os professores afirmavam utilizar para obter resultados específicos em suas aulas. Obtiveram duas categorias: professores “construtivistas” e “empiricistas”. Os professores que tinham concepções “construtivistas”, ou epistemologicamente adequadas, se mostravam melhor preparados do que os professores “empiricistas”, para induzir seus alunos à mudança conceitual, identificavam com maior facilidade as concepções alternativas reveladas nas falas dos seus alunos e mostraram fazer uso de uma

	combinação de diferentes estratégias didáticas em suas aulas, bem como avaliavam com frequência suas estratégias de ensino.
Sawyer (2002)	Examinou, através de metodologia narrativa, como dois professores de ciências situavam sua própria aprendizagem, como desenvolviam seus discursos para o ensino e aprendizagem e como usavam essas ferramentas no seu trabalho. Os achados sugeriram que vários elementos centralizavam a <i>aprendizagem situada</i> (dos dois professores): as questões que eles retiravam da prática; as resultantes de um balanço entre autonomia e colaboração a partir de um olhar focado na prática; o uso da linguagem e a inclusão de novas perspectivas no discurso comunicativo (novas visões); improvisação e experimentação na prática didática e questões associadas com o suporte dos seus administradores. Um achado importante foi que a prática, da perspectiva dos professores, era desenvolvida através de múltiplos e até mesmo contraditórios caminhos.
Mellado Jiménez (2003)	Examinou as mudanças didáticas de professores de ciências experimentais e relacionou-as ao processo de mudança científica, segundo distintas visões epistemológicas. Afirmou que mesmo que as mudanças aceleradas que vivemos (globalização, informação de massa, etc.), estejam sendo em geral, compensadas por reformas curriculares, o professorado é a chave da melhoria da qualidade de ensino e fator determinante para o sucesso ou fracasso de qualquer reforma curricular. Adotando uma visão popperiana do progresso científico (produção e falseação), também a mudança nos professores se produziria pela insatisfação de práticas docentes e pela concepção de novas, frente contribuições da pesquisa educativa. Mas, em analogia ao núcleo firme de Lakatos, os professores não mudam facilmente nem suas concepções, nem suas práticas docentes. Limitam-se a mudanças secundárias, como nas hipóteses auxiliares de Lakatos. Obteve que o núcleo central parece ser: ensinam como eles próprios foram ensinados; aceitam a mudança não de modo radical e <i>o desenvolvimento profissional se realiza através de processos de auto-regulação do professor baseados em reflexão.</i>
Olafson e Schraw (2006)	Descreveram uma pesquisa visando examinar as relações entre o domínio de generalidade das concepções epistemológicas e as visões de mundo de professores no contexto do ensino de ciências na escola de ensino fundamental e suas práticas didáticas. Obtiveram que professores que apresentam múltiplas visões de mundo informam práticas de ensino que são tanto consistentes quanto inconsistentes com essas visões de mundo; e também informam práticas de ensino de domínio geral que se estendem para temas de domínio de outras ciências, além de práticas específicas dentro do domínio da ciência.
Martins (2007)	Apresentou um estudo de natureza diagnóstica, com uso de questionário, com três grupos de professores e futuros professores, em Rondônia, acerca da utilização de elementos da História e da Filosofia da Ciência no Ensino Médio. Os resultados indicaram que a maioria dos professores pesquisados interessa-se por História,

	<p>mas não por Filosofia da Ciência (mesmo os que já cursaram disciplinas específicas); consideram HFC importante, mas dificilmente incorporam esse tipo de conhecimento em suas aulas; apontam como algumas das maiores dificuldades para trabalhar a HFC a falta de material didático adequado, pouca presença desses conteúdos nos livros texto; o currículo escolar privilegia conteúdos voltados aos exames vestibulares; o ensino de HFC é entendido como “algo a mais” e não como “estratégia didática” para a aprendizagem dos conteúdos. Considerou que os professores encontram dificuldades para contemplar HFC na sala de aula e esta questão tem relação direta com os cursos de formação de professores, ou seja, <i>não basta que tenhamos disciplinas de HFC nas licenciaturas. É preciso refletir sobre o como fazer. (...) É preciso fazer com que os professores percebam seu papel e sua responsabilidade nesse processo, trazendo esse debate e mostrando experiências concretas nos cursos de formação.</i></p>
<p>Peme-Aranega et al. (2009)</p>	<p>Apresentaram um estudo de caso com uma professora de Física secundária principiante de Córdoba, Argentina, que participava de um programa de desenvolvimento profissional por um processo de reflexão orientada (PRO) e colaborativa dada por um investigador (tutor). Acompanharam durante 6 anos a evolução de suas concepções didáticas e epistemológicas explícitas e implícitas. Os resultados mostraram que a estratégia (PRO) foi eficaz, que no primeiro ano de docência o modelo didático era muito mais tradicional do que o declarado, mas houve evolução nos comportamentos verbais da professora e com relação a aspectos da organização e gestão das atividades docentes. A evolução ocorreu gradualmente, com o exercício da profissão, resultado este que concorda com Lederman (1999), que assinala que os professores principiantes têm que desenvolver suas rotinas e esquemas educacionais, que lhes permitam sentir-se à vontade com a organização e gestão da instrução. No final da investigação passou a haver concordância entre as concepções explícitas e implícitas da professora e seus modelos didáticos, próximos do investigativo-construtivista.</p>

Destaca-se a pequena quantidade de trabalhos encontrados visando investigar as relações entre as visões epistemológicas dos professores de ciências e suas práticas docentes. Apenas oito artigos foram agrupados nessa categoria, nos periódicos revisados.

Achados desses trabalhos indicam que os professores que detêm visões epistemológicas alinhadas às visões contemporâneas parecem melhor preparados do que aqueles de visões “empiricistas” (Hashweh, 1996) para gerar mudanças conceituais nos seus alunos; que professores que têm concepções “empiristas-indutivistas” são mais resistentes à implementação de mudanças em suas didáticas (Sandoval, Cudmani e Madozzo, 1995;

Mellado Jiménez, 2003) e acabam arrolando dificuldades de várias ordens para inserir a Filosofia da Ciência nas suas práticas docentes (Martins, 2007).

Lederman (1999) obteve indicativo, através de múltiplos estudos de caso, de que as concepções sobre a natureza da ciência dos professores não necessariamente influenciam nas práticas docentes, mas que a internalização de visões adequadas pelos professores se mostra um importante objetivo instrucional no planejamento e no desenvolvimento de várias unidades de ensino.

Assim, apesar do baixo percentual de trabalhos que investigam as relações entre as concepções epistemológicas dos professores e as práticas docentes, a literatura parece sugerir que as VECs possuem potencial para a melhoria das práticas educativas em vários aspectos.

A evolução, todavia, das práticas docentes relativamente às próprias concepções do docente acontece gradualmente à medida que o professor se sente mais à vontade no exercício da docência e, especialmente, se o docente é acompanhado por programas de desenvolvimento profissional (Peme-Aranega *et al.*, 2009). A permanente auto-reflexão da atividade docente aparece como motora de transformações.

2.2 Artigos que apresentam propostas, estratégias e argumentações visando facilitar e motivar a discussão da natureza da ciência na formação inicial e no ensino de ciências

Quadro 2.4: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 2.

Bell, Lederman e Abd-El-Khalick (1998)	Defenderam que a natureza da ciência deve ser ensinada de forma explícita. Ao tecerem “comentários e críticas” a um artigo de Palmquist e Finley (1997), concordaram com a importância da <i>mudança de visão da natureza da ciência dos professores (...)</i> e as <i>influências dessas visões nas suas práticas instrucionais</i> , mas, discordaram da conclusão daqueles autores de que os professores podem aprender natureza da ciência implicitamente. Defenderam a implementação de seções e espaços em que os estudantes tenham oportunidade de discutir suas idéias sobre os modelos tradicional e contemporâneo da natureza da ciência, e que a forma explícita de ensinar e aprender a natureza da ciência é mais eficaz.
Amorim (1999)	Apresentou uma proposta metodológica para cursos de formação de professores de Biologia centrada na apresentação de conteúdos através de trabalhos de grupo, discussões e reflexões sobre as circunstâncias das descobertas, a subjetividade na construção dos

	<p>dados científicos, as diferentes perspectivas teóricas para analisar o mesmo conjunto de dados, as características do trabalho científico, as motivações do pesquisador, etc. Argumentou que a educação científica tem privilegiado o “produto” da construção humana, de forma neutra e ahistórica. Sugeriu que aulas práticas (laboratório e experimentação) podem favorecer a construção de um conhecimento mais crítico, alertando para o papel da experimentação na produção científica, para a falibilidade dos resultados experimentais e de que a habilidade experimental segue um padrão “artístico” demonstrando que a ciência é inventada e não descoberta.</p>
Blanton (2001)	<p>Alertou, em uma homenagem à Arnold Arons, pioneiro no ensino de física nos EUA e autor de livros para professores de física, sobre algumas <i>lições</i> deixadas pelo mestre educador. Duas delas associadas à natureza da ciência, embora não de forma explícita (...); 2) <i>prestar cuidadosa atenção em como você fala as coisas</i>, destacando que elementos linguísticos são importantes, pois <i>estudantes fracassam em pensar corretamente sobre problemas até que eles possam falar sobre eles corretamente</i>; 3) <i>desenvolver uma ideia primeiro e depois dar a ela um nome</i>. Os estudantes devem ser permanentemente questionados sobre <i>como você sabe...? Por que você acredita...? Qual evidência você tem para isso...?</i> Estudantes precisam reconhecer que conceitos científicos são invenções, não descobrimentos, e que teorias não são opiniões pessoais.</p>
Teixeira, El-Hani e Freire (2001)	<p>Relataram uma pesquisa quali-quantitativa em que foi feita uma “abordagem contextual para tratar a Mecânica Clássica” numa disciplina de Fundamentos de Física I, buscando modificar as concepções da natureza da ciência de estudantes de Física. A metodologia envolveu “discussões orientadas através de textos de Galileu, Newton, Descartes além de textos de especialistas Koyré, Thuillier entre outros”. Contou com a aplicação, no início e no final da disciplina, de um questionário aberto VNOS-C (<i>Views of nature of science</i>–modelo C), desenvolvido por Lederman e colaboradores. Os resultados mostraram que houve uma mudança significativa e favorável em vários aspectos das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência, bem como a dificuldade de superação de algumas noções profundamente enraizadas. Advertiram que o ensino de Física é mais eficaz quando realizado numa abordagem contextualizada histórica e filosoficamente.</p>
Khishfe e Abd-El-Khalick (2002)	<p>Defenderam que o enfoque instrucional explícito é mais eficaz para o entendimento adequado da natureza da ciência. Compararam o enfoque instrucional explícito e reflexivo com o enfoque implícito através de dois grupos de estudantes, que foram submetidos às mesmas atividades de investigação, sendo que no grupo explícito as atividades foram seguidas por discussões reflexivas sobre aspectos da natureza da ciência enquanto no grupo implícito não houve essa intervenção. Questionários de pré e pós-teste e entrevistas semiestruturadas mostraram que <i>a visão dos participantes do grupo implícito não foi diferente da inicial</i>, enquanto grande parte do</p>

	<p>grupo explícito informou visões mais articuladas sobre um ou mais aspectos da natureza da ciência. Obtiveram que 85% dos estudantes de sexta série demonstravam visões ingênuas da natureza da ciência. <i>Acreditavam que conhecimento científico é certo ou verdadeiro e não muda; que para aprender algo da natureza os cientistas precisam simplesmente ver (ex: aprendeu-se sobre natureza atômica da matéria porque foi possível ver os átomos ao microscópio), etc.</i></p>
Steinber e Donnelly (2002)	<p>Informaram sobre a implementação de uma estratégia instrucional interativa que favoreceu o desenvolvimento de novas visões dos estudantes, baseada nos resultados da pesquisa em ensino de Física (<i>Physics Education Research-PER</i>) no City College, em New York, uma escola multicultural, onde mais de metade dos estudantes eram oriundos de outros países (90 países diferentes) e falavam muitas línguas. Foram estudadas duas classes, num curso introdutório de Física. Uma recebeu aula tradicional e outra trabalhou com a estratégia instrucional interativa (envolveu trabalhos de grupo de 3 a 4 integrantes; os estudantes explicavam e interpretavam o que estavam fazendo e respondiam os argumentos dos outros; resolviam problemas que requeriam entender conceitos relevantes de Física e manipulações matemáticas intercaladas por questões conceituais que requeriam respostas e justificção das respostas). O resultado das avaliações foram encorajadores. Os estudantes que utilizaram a nova estratégia responderam melhor às questões conceituais e aos problemas quantitativos, informaram suas visões sobre a ciência, manifestaram opiniões favoráveis à estratégia e melhoraram o inglês falado. O estudo mostrou que a estratégia interativa é robusta, ajuda a compreender melhor como os estudantes aprendem, as dificuldades persistentes em conteúdos de Física, etc..</p>
Adúriz-Bravo e Morales (2002)	<p>Discutiram <i>modelos científicos</i> os <i>modelos didáticos</i> como formas de representação dos conteúdos da Física. Informaram que os <i>modelos didáticos</i> são transposições de <i>modelos científicos</i> (modelos dos modelos), uma transformação do saber em conhecimento para ensinar que envolve <i>fazer analogias do modelo com situações conhecidas pelos alunos</i>, reduzir a abstração, utilizar metáforas, etc.. Advertiram que é preciso aclarar para os alunos o conteúdo específico de cada modelo para torná-lo significativo, e que, adicionalmente, <i>a utilização da história dos modelos pode minimizar a construção de uma visão cristalizada e acrítica da ciência</i> que ocorre, em geral, durante a escolarização.</p>
Sheppard e Robbins (2003)	<p>Ofereceram um panorama histórico dos cursos de ciências nas escolas secundárias americanas no período 1890-2003. Resumidamente: em 1893 foi recomendada a Física antes da Química; em 1899 o sistema de créditos tornou obrigatório apenas uma ciência para admissão na universidade, o que tornou Física e Química disciplinas eletivas; em 1920 o <i>Committee on Reorganization of Science in Secondary Schools</i> recomendou a sequência Biologia-Química-Física (B-Q-F), sendo que após a Segunda Guerra essa sequência tornou-se o <i>status quo</i> nas escolas</p>

	<p>secundárias americanas e até os dias de hoje 99% das escolas seguem-na. Com isso, a Física tornou-se uma disciplina eletiva e apenas uma fração da população de estudantes se inscreve nela. Este declínio se manteve ao longo do séc. XX, com um pequeno aumento no final do século. Levantamentos mostraram que o decréscimo nas matrículas também esteve associado com informações de que <i>os estudantes acham a Física muito abstrata, matematizada, a aprendizagem muito dependente de livros de texto e que os professores estão inadequadamente preparados</i>. O movimento americano <i>Physics First/Physics for All</i>, pretende inverter a sequência para F-Q-B e promete um Ensino de Física mais acessível, com o desenvolvimento de currículos apropriados para cada idade e uma pedagogia mais efetiva. Os autores defendem que é necessário qualificar os professores de Física e implementar uma campanha de convencimento de que Física pode ser acessível a todos.</p>
Freire (2003)	<p>Argumentou que o reconhecimento da existência de controvérsias científicas e diferentes interpretações teóricas <i>é relevante para o ensino de Física Quântica porque a escolha da interpretação a ser ensinada impacta o entendimento dos estudantes dos conceitos quânticos e seu entendimento dos objetivos da ciência</i>. Defendeu que as controvérsias suscitam o debate e o surgimento de periódicos e encontros internacionais, a construção de novos modelos científicos, estimulam a condução de novos experimentos e mostram que, na ciência, comumente se esvai o consenso. O desenvolvimento do conhecimento pressupõe <i>uma pacífica e criativa coexistência em situação de controvérsia científica</i> de teorias, que legitima suas implicações filosóficas.</p>
Shibley (2003)	<p>Descreveu um estudo que envolveu o uso de notícias de jornal como <i>textos facilitadores à exploração dos estudantes de tópicos atuais da natureza da ciência</i> em um curso introdutório de Filosofia da Ciência. Os estudantes liam textos publicados no <i>New York Times</i> e desenvolviam depois atividades pedagógicas como: 1) elaboravam respostas livres a publicações do <i>Times</i> como meio de encorajar sua própria aprendizagem; 2) faziam discussões semanais que envolviam a livre troca de idéias sobre assuntos controversos e sobre os múltiplos tópicos da natureza da ciência. A estratégia baseou-se na premissa de que atividades de aprendizagem que envolvem a construção de idéias pelo aprendiz, não apenas a transmissão de idéias requerem reflexão e oportunidades de examinarem criticamente suas visões. O artigo concluiu que foi uma experiência bem sucedida, <i>engajou os estudantes numa análise crítica da natureza da ciência</i>, além de torná-los conscientes da variedade de publicações disponíveis que precisam ser analisadas criticamente.</p>
Blanton (2004)	<p>Discutiu uma técnica de ensino utilizada em algumas escolas secundárias dos EUA, em que os alunos são incentivados a escrever uma carta para sua avó explicando um tópico Física fazendo uso de linguagem cotidiana, não matematizada. Afirmou que ao escreverem este tipo de trabalho os estudantes precisam</p>

	aprofundar seu entendimento dos conceitos e princípios físicos de forma a explicá-los sem uso de equações. Argumentou que foi um mecanismo extraordinário de <i>feedback</i> aos professores; uma estratégia para introduzir conceitos físicos de forma mais divertida, pareceu facilitar a aprendizagem significativa de uma Física que faz pensar, bem como sobre seu processo de evolução.
Renn (2004)	Detalhou a revolução científica iniciada por Einstein em 1905 dentro de um <i>contexto de mudanças dos sistemas de conhecimento</i> . Os problemas com os quais Einstein se ocupou, a propagação de ondas em referenciais em movimento e a eletrodinâmica de corpos em movimento estavam na fronteira da Física Clássica. Afirmou que a descoberta de incoerências conceituais funcionou como motora de inovações científicas, pois as tentativas de resolução dessas incoerências puderam transformar conceitos e sistemas de teorias. A postura de Einstein marcada pela busca de uma fundamentação conceitual para toda a Física levou-o a elocubrar com abordagens microscópicas e resultou na teoria corpuscular da luz, que ele percebeu como solução de um grande número de problemas, inclusive da radiação do corpo negro de Planck. Afirmou que o nascimento da Teoria da Relatividade Especial está associado à reinterpretação da teoria de Lorentz através de um processo de reflexão de Einstein. O momento da criação pode ter sido impulsionado pelas conversas com o colega e amigo do Escritório de Patentes, Michelle Besso, e encontraram ressonância em suas leituras sobre filosofia (Hume e Mach) na Academia Olímpia (um grupo de leitura e discussão fundado por Einstein em Berna). Destacou que esse tipo assunto pode servir para reflexões e discussões de estudantes e professores.
El-Hani, Tavares e Rocha (2004)	Relataram um estudo com estudantes de Biologia, através uma proposta de ensino que abordou a História e a Filosofia da Ciência, enfocando aspectos epistemológicos de forma explícita. A coleta de dados se deu por um questionário aberto VNOS-C (<i>Views of the Nature of Science, Form C</i>) na forma de pré e pós-teste. A análise quali-quantitativa do grau de adequação das respostas mostrou que <i>a proposta promoveu uma evolução das visões sobre a natureza da ciência de todos os alunos que responderam (...); se mostrou eficaz na promoção de mudança das visões sobre a demarcação entre a ciência e outros modos de conhecer; as diferenças entre leis e teorias, e as relações entre modelos e evidências</i> . Houve limitações com relação às visões sobre os requisitos e o que é um experimento, sobre a possibilidade de se obter conclusões diferentes com o mesmo conjunto de dados, entre outros aspectos.
Campbell (2004)	Argumentou sobre as similaridades e as diferenças entre a ciência e a arte. Afirmou que <i>percepção visual é vital para a arte e para a ciência, para ver é preciso entender</i> . Argumentou que o ensino de ciências, assim com das artes, deve fomentar a visualização e o pensamento criativo.
Köhnlein e Peduzzi (2005)	Discutiram os resultados da aplicação de um módulo didático baseado em uma abordagem histórico-filosófica da Teoria da Relatividade no ensino médio em Santa Catarina. O módulo incluiu

	<p>a discussão explícita sobre a natureza da ciência, sobre a filosofia empirista-indutivista e suas limitações, os conceitos básicos da física newtoniana e da relatividade de Galileu, seu declínio, e finalmente um estudo qualitativo (sem dedução matemática) da Teoria de Einstein. Concluíram que o módulo didático se mostrou uma estratégia positiva, capaz de envolver os alunos em discussões de sala de aula, aumentar o interesse pela Física e promover mudanças nas suas visões sobre a natureza da ciência. Mas, alertaram que <i>de nada adianta dispor de estratégias para introduzir na disciplina a temática levantada se o professor não tiver uma formação epistemológica adequada.</i></p>
Lederman (2005)	<p>Argumentou em favor do movimento <i>Physics First</i> nas escolas secundárias americanas por entender que <i>a maior virtude da sequência Física-Química-Biologia é a natureza hierárquica das ciências</i> em conjunto com o desenvolvimento de habilidades matemáticas. Física pode vir primeiro porque é um excelente pré-requisito para a Química e porque pode mais claramente ilustrar a natureza dos processos científicos. O estudo dos átomos e dos princípios básicos da estrutura atômica na Física facilita uma coerente sequência da Química que faz uso dessa estrutura atômica e fornece leis, tabela periódica, o comportamento dos elementos químicos e a formação de moléculas. Por sua vez, o comportamento das moléculas complexas é crucial para a Biologia molecular. Defendeu que parte do conteúdo dessas disciplinas (em torno de 20%) deve ser substituído pela história de como a ciência e os cientistas trabalham, com vistas a ensinar os cidadãos a pensar.</p>
Zylbersztajn (2006)	<p>Discutiu a visão <i>reducionista</i> da ciência. Fez uma distinção entre o <i>reducionismo metodológico</i>, que tem como referência recortes conceituais, idealizações e simplificações artificiais da realidade que os cientistas fazem para torná-la mais acessível e melhorar sua compreensão (<i>uma bem sucedida maneira que a ciência encontrou para lidar com a complexidade da natureza...</i>); e o <i>reducionismo epistemológico e filosófico</i>, um princípio inerente à própria ordem da natureza, em que diferentes níveis de descrição são hierarquizados, ou seja, adota-se a redutibilidade de um nível de descrição a outro considerado mais fundamental. Destacou que o <i>reducionismo</i> não se sustenta epistemologicamente. É uma visão estéril e que estabelece fronteiras indesejáveis ao conhecimento.</p>
Erkina, Warren e Gentile (2006)	<p>Defenderam a modelagem como uma ferramenta cada vez mais comum no ensino de Física, Química e outras ciências. Sugeriram um conjunto de tarefas que procuram engajar os estudantes na construção de modelos de situações reais e que podem ser usadas em cursos de Física. Abordaram diferentes modelos: <i>modelos de objetos</i> (ex: carro como um objeto pontual, em algumas abordagens); <i>modelos de interações</i> (ex: direção e sentido da força); <i>modelos de sistemas</i> (ex: muitas partículas em colisão elásticas); <i>modelos de processos</i> (ex: gás num container com um pistão móvel). Advertiram que os modelos têm diferentes representações: conceitos, funções matemáticas, gráficos, figuras, diagramas de movimento, diagramas de raios, diagramas de forças,</p>

	<p>etc. e concluíram dizendo que <i>escolher um modelo produtivo para descrever ou explicar um fenômeno em estudo é parte da rotina dos cientistas, mas um exercício raro para os estudantes</i>. Estes precisam aprender a usar os modelos e compreender o papel dos “modelos” na ciência.</p>
Justi (2006)	<p>Apresentou uma proposta de ensino de Química desenvolvida na UFMG e testada em duas classes do Ensino Médio, com alunos entre 15 e 17 anos, que envolveu atividades planejadas para que os alunos construíssem modelos científicos buscando auxiliá-los a compreender a natureza da ciência. O objetivo foi capacitá-los a lidar de forma crítica com situações relacionadas com a ciência, num mundo que cada vez mais exige compreensão flexível e crítica, destreza, adaptação e aprendizagem contínua. Defendeu que a utilização de modelos, mediando realidade e teoria, pode favorecer o desenvolvimento de visões da <i>ciência como um processo de construção de modelos</i>. A estratégia promoveu discussões em sala de aula sobre a diferença de <i>modelo científico</i> (representação de uma idéia ou processo) e <i>modelo no cotidiano</i> (representação concreta de uma coisa), envolveu a construção individual de modelos, comunicação ao grupo e depois construção do modelo consensuado do grupo. Os resultados mostraram que os alunos desenvolveram uma compreensão ampla dos temas de Química apresentados, mais adequada à natureza dos modelos. A estratégia mostrou-se favorável para a melhoria da aprendizagem e da capacidade crítica.</p>
Machado e Nardi (2006)	<p>Avaliaram a contribuição de um <i>software</i> educacional com emprego da <i>hipermídia</i> (hipertexto: conjunto de textos que podem ser lidos de forma não-linear, na ordem desejada pelo leitor; multimídia: reunião de diferentes mídias: imagens, animações, filmes, sons, etc.) para a introdução de conceitos de Física Moderna e noções sobre a natureza da ciência, visando atualização curricular no Ensino Médio. Defenderam que a História e a Filosofia da Ciência <i>têm estado pouco presentes nas atividades de ensino (...) podem auxiliar na construção de uma concepção de Ciência não-dogmática, que apresenta rupturas e não se constitui em mero acúmulo linear de dados (...)</i>. Os resultados do estudo indicaram que a proposta didática favoreceu noções de que as teorias sofrem profundas transformações ao longo do tempo.</p>
Dahmen (2006)	<p>Discutiu aspectos que denotam um envolvimento de Einstein com a Filosofia, especialmente com a Filosofia da Ciência, como questões sobre espaço, tempo e as raízes epistemológicas da Teoria da Relatividade. Argumentou que a filosofia de Einstein resultou de suas descobertas sobre a estrutura espaço-tempo, mas que ele foi um realista, pois acreditava na existência de um mundo externo, independente de nós; que teorias são livres construtos, mas devem representar a realidade e a ela se adaptarem. Formulou a discussão com base em um artigo do próprio Einstein intitulado <i>Física e Realidade</i> e afirmou que talvez Einstein tenha sido um dos grandes cientistas do século XX que mais propugnou a importância para o trabalho do físico de se confrontar com questões filosóficas.</p>

<p>Boltzmann (1904) tradução de Dahmen (2006)</p>	<p>Boltzmann ao proferir palestra num Congresso de Ciências, EUA, discutiu a legitimidade, ou não, da divisão da Física em Teórica e Experimental e afirmou que <i>o edifício das nossas teorias (...) é formado por uma variedade de imagens arbitrárias acerca da interdependência dos fenômenos, as chamadas hipóteses</i>. Afirmou que as hipóteses vão além do observável, desbravando caminhos nunca antes imaginados e são fontes criativas de experimentos inovadores. Assim, nosso conhecimento será sempre impreciso e adequado às necessidades do momento.</p>
<p>Gödel, tradução de Dahmen (2006)</p>	<p>Gödel, em seu texto original publicado em homenagem aos 70 anos de Einstein, discutiu o conceito de tempo na Teoria da Relatividade, contrapondo idéias de filósofos idealistas que consideravam o tempo fruto da nossa imaginação. Afirmou Gödel que a impossibilidade prática (mas não teórica) de se voltar ao passado não elimina a possibilidade da existência de mundos em que <i>um tempo objetivo pode não existir (...) jogam uma nova luz sobre o significado do tempo (...)</i>. Destacou a importância da discussão filosófico-conceitual na produção e no ensino das teorias da Física.</p>
<p>Zanotello e Almeida (2007)</p>	<p>Argumentaram que a leitura e análise de textos e de livros de divulgação científica é uma alternativa interessante para passar aos alunos noções sobre <i>o que</i> produz a Física, quais são seus objetos de estudo, como ela se desenvolve enquanto ciência. A estratégia pode ser útil no Ensino Médio oferecendo oportunidades para que as pessoas adquiram um conhecimento básico em Física, e culturalmente significativo. Utilizaram a análise do discurso para interpretar as respostas a um questionário aplicado a alunos do primeiro ano do Ensino Médio. Obtiveram que o estilo do livro de divulgação utilizado estimulou a leitura e o interesse pela ciência, favoreceu a mediação do professor para evitar interpretações equivocadas do processo da ciência, suscitou discussões em aula, auxiliou na superação de dificuldades de entendimento e constituiu-se em recurso, mesclado por aulas tradicionais de Física, facilitador na formação de uma cultura científica geral.</p>
<p>Moreira (2007)</p>	<p>Argumentou que muitas vezes <i>se pensa que as teorias físicas são elaboradas para explicar observações (...)</i>. <i>Parece lógico, mas não é assim</i>. Alertou que há uma interdependência, uma relação dialética, entre teoria e experimentação que deve ser explorada pelos professores de Física. <i>A Física de Partículas, em particular, a teoria dos quarks, é um belo exemplo disso, pois o que levou Gell-Mann e Zweig a postularem a existência dos quarks foi uma questão de simetria (o caminho óctuplo), e o que reforçou a aceitação da proposta foi uma questão de assimetria (por que tão poucos léptons (partículas leves) e tantos hádrons (partículas pesadas)?)</i>. São questões que podem ser exploradas pelo professor.</p>
<p>Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007)</p>	<p>Apresentam uma pesquisa com dez professores de Física sobre uma proposta metodológica de introdução de Física Moderna no Ensino Médio: os Raios-X. Obtiveram como resultado unânime entre os professores pesquisados que a inserção de um tema de FM pode</p>

	servir de base para contextualizar o desenvolvimento das teorias científicas no tempo e no espaço e fazer com que o aluno entenda a sua evolução, propiciando motivação para o desenvolvimento de habilidades e competências para a área de ciências.
Medeiros (2007)	Abordou questões sobre o ensino de Física numa homenagem a Eric Rogers (1902-1990), considerado <i>um dos melhores professores de Física do séc. XX</i> na Inglaterra, trabalhou grande parte da vida na Universidade de Princeton, foi colega de Einstein, e teve uma presença marcante nos dois grandes projetos curriculares da década de 50 no ensino de Física (PSSC (americano) e o Nuffield (inglês)). Embora críticas rescentes atribuam a esses projetos um viés indutivista, destaca que <i>Rogers foi pioneiro de uma tendência refinada no ensino de física que pode ser denominada de ensino para a compreensão. Era algo que envolvia um tratamento holístico desta ciência, lidando com experimentos, com aplicações, com muitas informações e relatos históricos e, sobretudo, com maravilhosas discussões conceituais; discussões que por vezes enfocavam com propriedade e clareza incomuns sérios problemas epistemológicos presentes na produção do conhecimento científico.</i>
Ricardo, Custódio e Rezende Jr. (2008)	Discutiram as novas Orientações Curriculares para o Ensino Médio de 2006, destacaram diferenças em relação às Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+), bem como a noção de competências no ensino de Física Moderna. Os autores defenderam que <i>apoiar o ensino em como as coisas funcionam</i> , conforme versam as Orientações Curriculares, não parece suficiente. Ofereceram um exercício para apresentação de um tópico de Física Moderna que demonstra articulações do conteúdo com a aquisição de novas competências, para proporcionar ao aluno condições de participação ativa no mundo. Destacaram que as práticas didáticas precisam ser repensadas, relacionando-se conteúdos, discussões conceituais e aspectos históricos e sociais.
Pleitez (2008)	Discutiu um exemplo paradigmático da natureza da ciência – a Física de Partículas Elementares – como fator de motivação para a aprendizagem da natureza da ciência pelos estudantes em formação inicial e como ferramenta útil no ensino de Física. Apresentou resenha e explorou o contexto em que surgiram três ideias teóricas, relacionadas com simetrias da natureza, que foram homenageadas com Prêmio Nobel de Física de 2008.
Damásio e Steffani (2008)	Apresentaram um programa de qualificação de professores de ciências das séries iniciais do ensino fundamental que consiste em módulos independentes de conteúdos de Física. Cada módulo começa com aulas de laboratório, oferece material de apoio pedagógico e textos que enfocam diferentes aspectos: história da ciência; relação da Física com o cotidiano; introdução formal dos conceitos da Física. O objetivo da proposta é melhorar o ensino de Física nas séries iniciais do ensino fundamental.
Ryder (2008)	Identificou, com base na literatura, quatro características do discurso do professor para auxiliar os estudantes a desenvolverem

	<p>uma adequada aprendizagem sobre Epistemologia da Ciência: fazer apropriadas afirmações sobre epistemologia em sala de aula; associar a epistemologia da ciência a conceitos específicos da ciência; dizer e justificar os objetivos dessa aprendizagem e trabalhar com as idéias dos estudantes. Essas características foram usadas para fazer uma análise do discurso de 7 professores, focando suas experiências iniciais de sala de aula e o uso desses recursos. A análise mostrou que nenhum desses professores fez afirmações inapropriadas sobre epistemologia da ciência. Contudo, obteve que alguns professores usaram variados caminhos para trabalhar com as idéias dos alunos durante as aulas, pedindo para os estudantes justificarem suas idéias e desafiando as visões dos estudantes. Para outros professores, as idéias dos estudantes não foram traços fortes no discurso de sala de aula. Sugeriu como atividades factíveis no desenvolvimento profissional, visando promover habilidades nos professores nessa desafiante área do ensino, por exemplo, aulas focadas no desenvolvimento de modelos científicos.</p>
Silveira e Medeiros (2009)	<p>Argumentaram, através de uma análise experimental do Paradoxo Hidrostático de Galileu (um enigma conectado com a Lei de Arquimedes para a Hidrostática), que a pedagogia tradicional tem apresentado uma tendência indutivista ingênua: costuma vincular a geração de idéias e teorias às observações empíricas e está presa à apresentação “experimental” apresentada nos livros de texto e com isso tem subestimado a presença de certos mistérios e paradoxos no ensino da Física. A análise, documentada fotograficamente, mostrou que o Paradoxo Hidrostático de Galileu surge efetivamente se se subestima as implicações das dimensões do recipiente que contém o fluido e o corpo imerso. Concluíram afirmando que <i>as abordagens das condições de flutuação aqui apresentadas tentam romper esse discurso ideológico tradicional, repleto de lacunas, calcado em pressupostos empiristas-indutivistas, que pretende que de experimentos se possa induzir as leis da natureza.</i></p>
Sheppard e Robbins (2009)	<p>Argumentaram em favor do movimento <i>Physics First</i>, que tem ganhado impulso nos EUA, tem sido um assunto habitual nas Conferências de Professores de Física e a <i>American Association of Physics Teachers-AAPT</i> publicou um guia do movimento, além de um <i>website</i> que oferece um fórum para discussões. O tópico não está mais restrito à comunidade de Ensino de Física, pois tem recebido apoio da <i>American Chemical Society</i> e de biólogos influentes. Adicionalmente, houve a apresentação de pelo menos seis teses de doutorado sobre o assunto, oferecendo mais subsídios ao movimento, que se insere no espírito de tornar a Física, e sua evolução, acessível a todos os cidadãos.</p>
Morrison, Raab e Ingram (2009)	<p>Relataram os resultados de um projeto de desenvolvimento profissional que envolveu professores de escolas de ensino fundamental e secundário através de cursos de verão. O projeto incluiu instrução explícita sobre a natureza da ciência, imersão dos professores em ambiente científico (<i>Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory-LIGO</i>), onde puderam ouvir e</p>

	discutir idéias sobre a ciência com cientistas e engenheiros. Os dados foram coletados através de entrevistas, questionários, trabalhos escritos pelos professores e gravação das discussões de sala de aula. Os resultados indicaram que os professores secundários que tiveram experiências prévias em pesquisa não mudaram suas visões dos cientistas e da natureza da ciência, mas os professores de ensino fundamental melhoraram suas concepções epistemológicas. Os fatores que mais influenciaram nas visões dos professores foram os diálogos com os cientistas, a observação do trabalho dos cientistas e a instrução explícito-reflexiva sobre a natureza da ciência. Nos últimos dois dias dos cursos os professores apresentaram para o grupo uma atividade em ciências usando explicitamente o aprendizado sobre a natureza da ciência.
Eshach (2009)	Propôs uma nova estratégia para o ensino de Física na escola secundária ou para nivelar o primeiro ano do curso de Física utilizando o Prêmio Nobel como tema organizacional, para trazer para o contexto da ciência um tema central da Física Moderna. A idéia subjacente é que a história do Prêmio Nobel pode atrair e motivar os estudantes para a ciência. Os dois maiores argumentos para o método é que naturalmente incorpora aspectos filosóficos e históricos e auxilia o ensino sobre ciências tanto quanto o próprio ensino de ciências, e que tal instrução promove o ensino de como o homem pensa, aprende e recorda.

A categoria de artigos que apresenta propostas, estratégias e argumentações visando facilitar e promover discussões e reflexões sobre a natureza da ciência tanto nos cursos de formação de professores quanto nas práticas docentes no Ensino Médio e Fundamental, é a que oferece a maior riqueza e diversidade de trabalhos.

Os trinta e cinco artigos agrupados nessa categoria, assim se posicionam: defesa da metodologia instrucional explícita para discutir a natureza da ciência (Bell, Lederman e Abd-El-Khalick, 1998; Amorim, 1999; Teixeira, El-Hani e Freire, 2001; Khishfe e Abd-El-Khalick, 2002; El-Hani, Tavares e Rocha, 2004; Morrison, Raab e Ingram, 2009); apresentação de tópicos de Física através da contextualização histórico-teórica e da discussão das controvérsias (Freire, 2003; Renn, 2004; Moreira, 2007; Pleitez, 2008; Eshach, 2009); apresentação de tópicos de Física através da elucidação histórico-experimental (Silveira e Medeiros, 2009). Os artigos sugerem que tópicos de Física abordados dessa forma favorecem a construção de concepções alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas e a reflexão crítica.

Vários artigos propõem, discutem resultados e limitações de novas estratégias visando melhorar e transformar as concepções sobre a natureza da ciência de professores de ciências e de estudantes como: desenvolvimento e utilização de textos apropriados, discussões orientadas, discussões interativas e imersão dos estudantes em ambientes científicos (Amorim, 1999; Teixeira, El-Hani e Freire, 2001; Steinber e Donnelly, 2002; Shibley, 2003; El-Hani, Tavares e Rocha, 2004; Blanton, 2004; Köhnlein e Peduzzi, 2005; Zanotello e Almeida, 2007; Morrison, Raab e Ingram, 2009). Outros trabalhos argumentam em favor da retomada de debates históricos das relações entre Física e Filosofia da Ciência iniciados por grandes cientistas como Einstein, Boltzmann, Gödel (Dahmen, 2006).

A discussão explícita de visões epistemológicas superadas como o “reducionismo” (Zylbersztajn, 2006), o destaque ao pensamento criativo, (Campbell, 2004) e o ensino através da construção, utilização e compreensão de modelos científicos (Adúriz-Bravo e Morales, 2002; Erkina, Warren e Gentile, 2006; Justi, 2006; Ryder, 2008) são citados como possibilidades de aprendizagem da natureza criativa, imaginativa e transitória da ciência.

Outros aspectos como as indicações das Orientações Curriculares para o Ensino Médio sobre a natureza da ciência (Ricardo, Custódio e Rezende Jr., 2008) e a de movimentos como *Physics First/Physics for All*, são defendidos para favorecer um ensino de uma Física para fazer sentido ao cidadão (Steinber e Donnelly, 2002; Sheppard e Robbins, 2003; Lederman, 2005; Sheppard e Robbins, 2009).

Destaca-se que os autores são quase unânimes na defesa da necessidade de qualificar os professores de ciências, em especial de Física, visando capacitá-los para promover um ensino mediado por discussões sobre as controvérsias, a origem, a natureza e evolução das idéias e teorias científicas. Advertem que essa dimensão educacional em ciências precisa se tornar realidade para promover uma diminuição do analfabetismo científico e para tornar professores e alunos mais críticos e reflexivos.

2.3 Artigos que argumentam em favor da importância e necessidade de incorporar a natureza da ciência nos currículos de ensino no ensino superior, médio e fundamental

Quadro 2.5: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 3.

Kyle Jr. (1980)	<p>Criticou as possibilidades, em debate, de se adotar no ensino de ciências, com igual ênfase, o <i>criacionismo e o evolucionismo</i>. Argumentou que <i>não existem bases científicas justificáveis para a inclusão da doutrina da criação especial no ensino de ciências</i>, e que a essência da controvérsia está no fato de que é irrelevante para a ciência saber o objetivo da existência humana. A ciência não está preocupada em “obter fatos” ou “descobrir verdades”, mas em <i>formular e usar teorias para resolver problemas e fundamentalmente organizar, unificar e explicar os fenômenos naturais do universo</i>. Para tanto, formula hipóteses, extrapolando dados disponíveis, propondo princípios gerais e cujos resultados possam ser reproduzidos por outros cientistas, através das mesmas técnicas.</p>
McClelland (1983)	<p>Afirmou que a História e a Filosofia da ciência e a implicações sociais das idéias científicas têm sido colocadas e cobradas como convenientes para serem incluídas nos currículos escolares. Argumentou que esse tema pode permear o material didático, ajudando a esclarecer o papel das idéias científicas e tornando os conceitos da Física mais acessíveis, além de estimular os estudantes para as ciências. Apesar de existirem professores bastante interessados, esse ensino não pode ser de responsabilidade apenas dos professores de Física. Entende que tal responsabilidade deve ser fixada pelos currículos escolares, compartilhada com outros professores e exercida dentro de uma ampla política escolar tal que todos se tornem partidários da mesma visão. Se tal política não existe é responsabilidade de todos os professores buscarem-na.</p>
Norris (1985)	<p>Arguiu que a <i>observação desempenha um papel fundamental na pesquisa científica</i>, mas que no ensino de ciências a noção de <i>observação</i> que prevalece está baseada em três assunções incorretas: 1) é feita acentuada distinção entre observação e inferências (teorias); 2) a observação é associada à percepção dos sentidos humanos; 3) é tomada como sendo um processo mental simples. Defendeu que a distinção entre observação e inferência é contextual, muda com o conhecimento científico; que a observação muitas vezes exige meses de preparação e é um processo mental complexo. A observação é <i>concebida como uma forma de guia para a descoberta científica</i> e precisa ser tomada sob tal enfoque para engajar os estudantes a construir uma visão adequada da natureza da ciência e dessa forma, prepará-los melhor para o trabalho científico, quando esta é a carreira escolhida, além de ser eticamente mais defensável do que um enfoque que distorce a pesquisa científica.</p>
Bligh (1989)	<p>Argumentou que a visão clássica do mundo, baseada na relação causa-efeito, levou à ideologia reducionista segundo a qual todos os</p>

	fenômenos naturais podem ser explicados em termos físicos e químicos. Defendeu que essas concepções foram solapadas pelos enormes avanços no conhecimento científico das últimas décadas, que produziu uma silenciosa revolução a respeito da nossa visão científica do mundo, como, por exemplo: a natureza evolui do plasma (sopa de partículas) para sistemas; vivemos em um universo auto-organizado (seres vivos têm organização molecular); fim da causalidade (caos, não-linearidade é uma característica crucial para os sistemas organizados); idéias têm força causal (ideias causam idéias e ajudam a evoluir novas ideias). Esta “visão de sistema” restaura o paradigma naturalista-holístico do cosmos, do qual foi banida a visão reducionista-mecanicista-determinista do mundo da ciência clássica.
Prado (1989)	Defendeu a inclusão de disciplinas de História e Epistemologia nos cursos de graduação em Física. Apresentou uma retrospectiva, até então no Brasil, argumentando que <i>o ensino universitário é extraordinariamente dogmático</i> ; que a história da ciência é fascinante, complementa o ensino tradicional e contribui para a melhoria do ensino da Física; evita que se apresente uma <i>física destituída de contradições</i> e a uma <i>ciência como objeto acabado</i> . Concluiu afirmando que as atividades <i>devem visar tanto a informação quanto a formação</i> do futuro professor de Física objetivando prepará-lo para fazer uso de forma crítica dos programas e dos livros de texto de que dispõe.
Cleminson (1990)	Defendeu que a melhoria da qualidade do ensino de ciências passa pelo exame de como a ciência é apresentada em sala de aula e das relações com as noções de ciência das crianças. Argumentou que as diferentes visões epistemológicas contemporâneas, embora divergentes, não impedem que se estabeleça uma base epistemológica comum sobre a natureza tentativa da ciência para ser usada no ensino de ciências.
Cudmani e Sandoval (1991)	Advertiram para a necessidade de incorporar às aulas dos ciclos básicos universitários das áreas científicas e tecnológicas uma <i>análise crítica das relações entre modelo e realidade de modo a favorecer a reflexão e a ação vinculadas a este importante aspecto metodológico da construção do saber científico</i> . Afirmaram que muitos estudantes não compreendem que a Física procede a drásticas idealizações e simplificações da realidade, que é complexa e dinâmica, quando constrói as teorias científicas. Discutiram o papel epistemológico que os erros de medição ou desvios experimentais assumem, e chamaram atenção para a importância de mostrar que a solução de um problema científico não é única, nem direta, envolve tomada de decisão por dado modelo e nisso se baseiam os “saltos” entre os dados empíricos e a teoria.
Lederman (1992)	Apresentou uma revisão da pesquisa sobre as concepções da natureza da ciência de estudantes e professores buscando clarear o que foi aprendido e elucidar as assunções básicas e a lógica que tem conduzido os esforços de pesquisa em vários países (até 1992). Defendeu que o desenvolvimento de concepções adequadas da

	<p>natureza da ciência pelos estudantes tem sido um objetivo perene no ensino de ciências, independentemente do apoio pedagógico ou de ênfases curriculares. Assim, proliferaram muitas linhas de pesquisa que têm sido conduzidas há mais de 40 anos. Informou que na base da pesquisa estão assunções como: <i>as concepções dos estudantes podem ser modificadas; as concepções, o estilo, o entrosamento do professor é uma variável importante</i> no desenvolvimento de currículos. Mas advertiu que a pesquisa na área indica que os professores de ciências não possuem concepções adequadas sobre a natureza da ciência, independentemente dos instrumentos utilizados para avaliá-las; que técnicas para melhorar as concepções dos professores obtiveram mais sucesso quando foram explícitas e incluíram aspectos históricos do conhecimento científico.</p>
<p>Matthews (1995)</p>	<p>Defendeu a inclusão da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências. Fez um apanhado a nível internacional: na Holanda e Dinamarca incluíram-se nos programa de ensino de ciências o item “a natureza da ciência”; na Inglaterra e País de Gales o <i>Conselho Britânico de Currículo Nacional (NCC)</i> defendeu, em 1988, a reformulação dos currículos de primeiro e segundo graus sob o argumento de que <i>os estudantes devem desenvolver seu conhecimento e entendimento sobre como o pensamento científico mudou através do tempo e como a natureza desse pensamento e sua utilização são afetados pelos contextos sociais, morais,...</i> ; nos EUA a <i>Associação Americana para o Progresso da Ciência (AAAS)</i> lançou, em 1989, um projeto incluindo tópicos sobre a natureza da ciência na tentativa de diminuir os assustadores índices de analfabetismo científico. Afirmou que as propostas britânica e americana esperavam que as crianças <i>considerassem o fato de que há perguntas a serem feitas e que comecem a refletir não somente sobre as respostas para essas perguntas, mas, sobretudo, sobre quais as respostas válidas.</i> Todavia, argumentou que converter projetos de currículos em realidades de sala de aula requer novas orientações para a prática e para a avaliação, novos materiais e, acima de tudo, a inclusão de cursos adequados sobre História e Filosofia da Ciência no treinamento de professores. Afirmou que, ao longo das décadas, houve sucessos e muitos fracassos de programas que visavam diminuir o analfabetismo científico, e que o que se pôde aprender com os fracassos, segundo relatórios oficiais britânicos, é que os professores não estavam devidamente preparados para lidar com currículos contextualizados; não tinham conhecimentos adequados de História e Filosofia da Ciência; não conseguiam esclarecer para seus alunos os processos de idealização que a ciência utiliza, evitando a concepção ingênua sobre o uso do método da descoberta.</p>
<p>Orozco Cruz (1996)</p>	<p>Entendeu importante e necessária a inclusão da História e da Filosofia da Ciência como eixo articulador no ensino de ciências, mas advertiu que essas relações (história, filosofia e ensino) são complexas e encontram-se cruzadas por condicionantes histórico-culturais e pelas representações sociais da ciência. O enfoque</p>

	histórico e as concepções epistemológicas são essencialmente contextuais e mediados pela intenção de quem as adota. Os professores devem ter isso presente.
Villani <i>et al.</i> (1997)	Entenderam que a modificação da visão de mundo dos estudantes, professores, e também dos cientistas, é um processo longo e progressivo e visa alcançar a melhoria do ensino de ciências. Sugeriram que a produção de analogias e metáforas pode ser útil. Com relação à História da Ciência, a metáfora <i>comunidade de estudantes equivale à comunidade de cientistas</i> sugere que se aprende com a análise histórica do desenvolvimento das teorias científicas, na medida em que contextos de aceitação, resistências e dificuldades se estendem também para o ensino de ciências. Relativamente à Filosofia da Ciência, a metáfora <i>progresso na aprendizagem equivale a progresso científico</i> associa a tarefa básica do professor de fazer com que seus alunos aprendam de forma integrada com a meta pessoal de obter sucesso e diploma. Afirmaram que é necessário o monitoramento contínuo desse processo e o planejamento de atividades específicas para alcançar a mudança conceitual. Esse processo não pode dispensar a História e a Epistemologia na formação de professores de Física.
Bettany (1998)	Afirmou que apesar do sucesso da Mecânica Quântica, somente uma pequena parte das suas interpretações aparece nos currículos dos cursos de Física. Argumentou que os estudantes podem ficar com a impressão de que o paradigma newtoniano é o mais aceitável e os professores devem enfatizar que não se trata da “teoria correta”, mas que ela oferece uma descrição bem sucedida do mundo físico no nível macroscópico. Apresentou a interpretação de David Bohm como uma teoria alternativa válida para a MQ. Entendeu que <i>é importante que os professores estejam conscientes das explicações alternativas das teorias científicas (...). A ordem implícita fornece um paradigma criativo e aberto no qual a imaginação dos estudantes pode operar (não matematicamente se eles o desejarem).</i>
Holt (2002)	Físico e congressista norte-americano discutiu as <i>representações sociais da ciência</i> e afirmou que <i>o que me incomoda é o que dizem sobre ciência em nossa sociedade</i> . O Congresso, constituído por homens de alto nível de formação (empresários, advogados, psicólogos, etc.), apresenta um desconforto com relação à ciência e à tecnologia. A ciência, afirmou, é vista como uma disciplina misteriosa e que somente um grupo seleto pode entendê-la. Há muito desconhecimento e um entendimento pobre do que significa a ciência. É responsabilidade dos professores de ciências desmistificarem essa visão; evitar que se produzam novas gerações de americanos que pensam que a ciência está além deles, que é privilégio dos cientistas. Argumentou que modificar a visão sobre a ciência, seus métodos e objetivos, pode evitar que cidadãos e seus representantes no Congresso apóiem decisões como, por exemplo, de que mísseis estão na base da segurança e da defesa eficiente.
Blanton (2003)	Argumentou que, se de um lado, o currículo é definido previamente, de outro lado, a escolha do método pelo qual o

	<p>estudante adquire domínio dos conceitos e desenvolve modelos do mundo físico fica a cargo da sensibilidade artística do professor: desenho de experimentos, coleta e análise de dados, identificação de relações gráficas e matemáticas entre as variáveis, trabalhos de grupo, encorajamento do discurso dos estudantes (questionando, ouvindo e respondendo às ideias deles). Defendeu que é preciso avaliar constantemente as técnicas e estratégias, solicitar conselhos e opiniões de outros professores, porque as estratégias instrucionais, assim como a ciência, estão em contínua construção e remodelação. O que se espera da escola é ela coloque as fundações sobre as quais o conhecimento possa ser construído e o papel do professor é crucial para o tipo de estrutura que o estudante pode construir e, suas estratégias instrucionais devem ser capazes de tornar o estudante um participante ativo nesse processo.</p>
Davson-Galle (2004)	<p>Defendeu que existem dois objetivos, não controversos, no ensino de ciências: 1) o ensino de ciências deve ser parte da preparação profissional dos cientistas; 2) o ensino de ciências deve ser parte da educação liberal dos não-cientistas. A reflexão crítica deve fazer parte do currículo de preparação dos cientistas porque está associada à natureza do trabalho científico, mas deve haver em sua preparação atenção para as habilidades dedutivas e capacidade para análise filosófica. Argumentou que o ensino de ciências nas escolas básicas, mesmo com tempo e conteúdos limitados, deve favorecer a reflexão crítica; que os professores devem desenvolver nos estudantes a consciência do abrangente contexto proposicional das teorias frente aos dados e que, <i>pelo menos, o cidadão deve ser um consumidor intelectual crítico de alguns dos pronunciamentos dos cientistas e mais crítico com relação ao papel da ciência na vida pública.</i></p>
Siqueira-Batista et al. (2005)	<p>Abordaram a trajetória do debate epistemológico do século XX. Discutiram relações entre a “palavra” (o que se diz nas descrições científicas) e o real (o que é). Situaram o enfoque filosófico de Feyerabend como a <i>melhor alternativa para a práxis científica</i>. Feyerabend com seu <i>anarquismo epistemológico</i> critica as <i>tentativas de se instaurar um conjunto de normas que se pretenda universalmente válido e cujo efeito imediato seja a distinção entre aquilo que se define como “ciência”, “científico” e aquilo que é “não ciência”, “não científico”</i>. Destacaram a importância de se compreender e fazer compreender que as regras são violáveis e não há primazia das explicações científicas em relação às outras formas de explicar o mundo.</p>
Schroeder (2007)	<p>Apresentou e discutiu a importância de atividades e aulas de Física para crianças das primeiras séries do ensino fundamental. Destacou um aspecto fundamental da natureza da ciência: <i>a atividade científica se caracteriza muito mais pela comunicação clara e sem dubiedade do que por qualquer método de pesquisa</i>. Concluiu que essas características da natureza da ciência podem ser estimuladas através de atividades nas quais os alunos manipulem, interajam nas aulas de Física e podem também auxiliar na maturação de valores necessários para o aprendizado e para uma indispensável</p>

	alfabetização científica para a vida.
Holbrook e Rannikmae (2007)	Defenderam o ensino da natureza da ciência nas escolas como um componente importante no ensino de ciências para auxiliar no desenvolvimento de habilidades intelectuais e de comunicação, para aumentar a aptidão científica e para promover a formação de cidadãos responsáveis. Arguíram que uma aproximação útil para a natureza do ensino de ciências pode ser “ensino através da ciência” ao invés de “ciência através do ensino”, baseada na atividade teórica em vez do positivismo.
Rosa e Martins (2007)	Discutiram, através de pesquisa documental e de entrevistas com docentes do Instituto de Física, como se deu a inserção de História e Filosofia da Ciência (HFC) no currículo de formação de professores de Física da Universidade Federal da Bahia. Obtiveram que na licenciatura diurna só duas disciplinas traziam em seu programa História e Filosofia da Ciência, e eram optativas; no curso noturno sete disciplinas traziam na ementa elementos de HFC, três obrigatórias e quatro optativas; no bacharelado, apenas uma disciplina optativa. Perceberam que a relevância de HFC vinha num crescente do bacharelado para a licenciatura diurna até chegar ao curso noturno, à época, em implantação. Assim, esse novo currículo refletia uma considerável preocupação do Instituto em inserir HFC na Licenciatura. Obtiveram também que a maioria dos docentes de Física da UFBA (90%) tinha bacharelado e quando questionados sobre o que achavam importante discutir em relação à HFC, referiam, majoritariamente (70%), a questões relacionadas à História da Física, e apenas um citou Epistemologia.
Nussbaum, Sinatra e Poliquin (2008)	Realizaram um estudo com 88 estudantes de uma universidade americana que foram instados a discutir, em pares na Web, vários problemas físicos relacionados com a gravidade e a resistência do ar. Previamente às discussões, metade dos pares recebeu informações sobre a natureza dos argumentos científicos. Os estudantes foram classificados também quanto a suas concepções epistemológicas. O resultado mostrou que o grupo de tratamento incorporou mais os critérios científicos em suas discussões, desenvolveu melhor os argumentos em várias dimensões e mais participantes desse grupo apresentou respostas corretas aos problemas. Com relação às concepções epistemológicas, os classificados como evolucionistas interagiram mais criticamente, trouxeram diferentes idéias aos seus pares, resolveram os problemas mais acuradamente e apresentaram menos concepções alternativas fazendo crer que uma instrução sobre a natureza da ciência em combinação com concepções epistemológicas construtivas podem produzir uma melhor aprendizagem sobre conceitos físicos.
Buffler, Lubben e Ibrahim (2009)	Desenvolveram um estudo com 179 estudantes do primeiro ano do curso de Física para explorar as relações entre as visões da natureza da ciência e suas visões sobre a natureza da medição científica. Os achados mostraram que estudantes que creem que as leis da natureza podem ser descobertas pelos cientistas estão mais propensos a ter visões sobre a natureza da medição científica

	<p>centradas na crença em valores “verdadeiros”. Por outro lado, estudantes que acreditam que as teorias científicas são invenções dos cientistas, construídas a partir da observação de fenômenos e validadas pela experimentação, estão mais aptos a uma visão da natureza da medição científica fundamentada pela incerteza das evidências. Alertaram para as implicações do ensino da medição científica no ensino superior e a importância de os estudantes terem visões contemporâneas sobre a natureza da ciência.</p>
Kalman (2009).	<p>Arguiu que capacitar os estudantes a desenvolver uma mentalidade científica é complicado devido a suas visões sobre a natureza da ciência. A exemplo dos filósofos da ciência que desenvolvem suas visões através de lentes históricas, os estudantes precisam apreciar a História da Ciência e contrastar diferentes enfoques. É importante que os professores de ciências possam persuadir os estudantes a aproximar suas atividades e leituras de livros de texto a uma atitude crítica e reflexiva.</p>
Matthews (2009.a)	<p>Defendeu que “ciência, visão de mundo e educação” é um tema de particular importância no presente momento, quando autoridades e programas de ensino têm requerido que os estudantes aprendam sobre ciências tanto quanto os conteúdos de conhecimento. Afirmou que tópicos sobre a natureza da ciência dão origem a questões como: o que é visão de mundo? Temos visões de mundo? A ciência necessita de visões de mundo, mas tem implicações para as visões de mundo? Adicionalmente ao ímpeto de refinar o entendimento da ciência, existe uma pressão cultural advertiu, que ressalta questões sobre ciência, visões de mundo e educação e, uma avalanche de literatura popular no sentido de que professores e estudantes sejam engajados a refletir, por exemplo, a modernização e a industrialização baseadas em valores não-ocidentais em cujas religiões e concepções são diferentes daquelas que tem estado associadas à ciência ortodoxa e que pressiona para questões de “se” e “como” a ciência é leal a essas visões de mundo. Discutiu as relações entre ciência, visões de mundo e educação com o fim de oferecer subsídios a professores engajados com esse objeto de ensino.</p>
Matthews (2009.b)	<p>Argumentou que um aspecto comum dos currículos de ensino de ciências contemporâneos é a perspectiva de aprendizagem de conteúdos de ciência e de algo sobre ciências – sua natureza, sua história – num esforço voltado a aspectos não-científicos e suas interações com a cultura e a sociedade. Isso oferece uma abertura para a inclusão da Filosofia e da História da Ciência nos programas de ensino de ciências nas escolas. Defendeu que uma importante contribuição da natureza da ciência refere-se a visões de mundo: é importante ter estudantes com opções sobre as visões conflituosas entre ciência e religião, por exemplo, e que examinem cuidadosamente as opções e tirem suas próprias conclusões sobre as diferenças.</p>

De maneira geral, entendem os autores desta categoria de artigos que a inclusão das visões epistemológicas contemporâneas nos currículos escolares e universitários pode contribuir para: tornar os currículos mais consistentes com a ciência praticada no presente (Kyle Jr., 1980; Bligh, 1989; Rosa e Martins, 2007); tornar os conceitos de Física mais acessíveis (McClelland, 1983; Nussbaum, Sinatra e Poliquin, 2008); tornar o ensino universitário menos dogmático (Prado, 1989; Bettany, 1998; Siqueira-Batista *et al.*, 2005); preparar melhor os estudantes para o trabalho científico (Norris, 1985; Buffler, Lubben e Ibrahim, 2009); favorecer a compreensão da relação entre modelo e realidade (Cudmani e Sandoval, 1991); favorecer a reflexão crítica (Davson-Galle, 2004; Matthews (2009.b); modificar as representações sociais das ciências (Holt, 2002); e melhorar a qualidade do ensino de ciências nos diversos níveis de ensino, especialmente, modificando as concepções de professores e estudantes sobre a natureza da ciência e suas visões de mundo (Cleminson, 1990; Lederman, 1992; Villani *et al.*, 1997; Matthews, 1995; Orozco Cruz, 1996; Blanton, 2003; Schroeder, 2007; Matthews, 2009.a e 2009.b).

Destaca-se que trabalhos agrupados nesta categoria têm se mantido regulares desde longa data. Na presente revisão bibliográfica, o mais antigo trabalho data de 1980. Entretanto, Lederman (1992) e Matthews (1995) fizeram revisão dos principais eixos da pesquisa relacionada às visões da natureza da ciência de professores e estudantes, sobre as principais assunções e achados dessa pesquisa e sobre as modificações curriculares e a criação de programas visando introduzir a natureza da ciência no ensino de ciências, em vários países do mundo. Obtiveram que esforços de pesquisa vinham sendo conduzidos, à época, havia mais de 40 anos.

Isso indica que a tentativa de inclusão da Filosofia da Ciência e também da História da Ciência nos currículos escolares e universitários tem sido uma luta de pelo menos meio século. A pesquisa tem se orientado por diferentes focos: investigar através de várias ferramentas as concepções sobre a natureza da ciência de professores e estudantes; testar novas técnicas e estratégias visando modificar essas concepções; argumentar e centrar esforços para introduzir modificações nos currículos universitários e escolares, etc.. A quantidade crescente de propostas e trabalhos nesta categoria sugere que essa luta tem ganhado adesão cada vez maior e tem se tornado mais robusta e articulada.

2.4 Artigos que defendem a abordagem histórica para discutir a natureza da ciência e superar dificuldades dos alunos (a História da Ciência).

Quadro 2.6: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 4.

Solomon <i>et al.</i> (1992)	Apresentaram uma pesquisa-ação sobre a inclusão da História da Ciência no ensino normal britânico. A pesquisa <i>monitorou a aprendizagem de alunos britânicos sobre a natureza da ciência usando alguns aspectos da História da Ciência e foi estimulada pela publicação do National Curriculum for England and Wales.</i> Obtiveram através dos dados estatísticos e de entrevistas algumas evidências de que os módulos de ensino de História da Ciência no currículo da escola normal britânica produziram uma valiosa contribuição para o entendimento dos alunos da natureza da ciência.
Neves (1992)	Defendeu o resgate da História da Física como recurso didático para qualificar o ensino de Física, evitar a matematização excessiva, o ensino formulista, a desmotivação, a falta de embasamento e a falta de liberdade para uma visão autêntica do mundo. Concluiu que <i>uma epistemologia se faz necessária ligada a uma estrutura que devolva ao indivíduo sua condição de atribuidor de significados aos fenômenos do mundo, e, o que é mais importante, sua condição e construir a ciência, a Física, em sua compreensão efetiva, imaginativa e elucidativa.</i>
Neves (1998)	Destacou a importância do uso da História da Ciência no ensino de Física e apresentou uma proposta, através da produção de vídeos e CD-ROM's, para <i>o ensino básico e especializado, com tópicos específicos de História da Ciência, contextualizando-a em um ambiente mais amplo, onde ciência, técnica, acertos e erros constituam o fenômeno físico que se quer estudar, não exilando-o na mera repetição, memória seletiva e ahistórica.</i> Asseverou que alguns <i>paradigmas</i> são tomados como se tivessem força para mudar a percepção sensorial das pessoas, mas são incapazes de mudar as constatações de nossos sentidos e por isso a educação científica não deve propagar esses paradigmas através de processos de repetição, com uma linguagem matemática, muitas vezes, eclipsadora do conjunto fenômenos que originaram determinadas teorias.
Martins (2000)	Analisou as tendências do desenvolvimento da historiografia da ciência, o impacto das inovações tecnológicas na pesquisa historiográfica, e o crescente uso da História da Ciência na educação. Constatou que nas últimas décadas houve um crescimento do número de pessoas envolvidas com História da Ciência; aumento da profissionalização; aumento de cursos de pós-graduação, de periódicos, de congressos e teses na área. Mesmo assim, o número de referências bibliográficas nos periódicos da área é extremamente inferior quando comparado ao das “ciências duras”. Observou um predomínio de publicações sobre História da Ciência européia e norte-americanas (história ocidental) e

	<p>relacionadas aos <i>grandes personagens</i> das principais teorias hoje aceitas desenvolvidas nos séculos XVII, XIX e XX. Destaca também tendências recentes de estudos etnográficos do trabalho científico, com técnicas de observação direta, entrevistas com pesquisadores, estudos de diferentes culturas, etc. Entende que <i>a História da Ciência é vista atualmente como um importante instrumento de ensino de ciências, por vários motivos: como forma de introduzir a ciência em cursos de humanidades; como meio de facilitar e aprofundar a compreensão conceitual na própria ciência; como instrumento para permitir a discussão e ensino da própria natureza e método da ciência e outras finalidades</i>. Alertou, entretanto, que a maior parte dos estudos de História da Ciência tem deixado de lado os temas filosóficos o que é uma abordagem hostil à própria ciência.</p>
Dias (2001)	<p>A compreensão de <u>como</u> e <u>porque</u> um conceito foi criado, e os <i>buracos lógicos</i> que ele preenche, revivendo o momento da sua criação facilita sua assimilação à luz de novas descobertas: <i>a História é o laboratório da Epistemologia</i> (Dijksterhuis, 1986, apud Dias, 2001). Ao exemplificar através de um estudo de caso “uma análise conceitual, a teoria do calor” a autora concluiu que o uso da História da Física realça os problemas e questões que forçaram Carnot e Clausius a formular a Termodinâmica e torna as leis menos ‘mágicas’. Alertou para a importância de abordagens históricas no ensino de ciências.</p>
Solbes e Traver (2001)	<p>Relataram uma investigação que introduziu a História da Ciência no ensino de Física e Química, no Ensino Médio. Investigação anterior dos autores mostrou que o ensino tradicional sem uma perspectiva histórica transmite uma imagem inadequada da natureza da ciência. No estudo presente utilizaram dois grupos de alunos, um dos quais trabalhou com materiais com enfoque histórico, voltados a: a) passar uma imagem de que a ciência é uma construção; b) reconhecer os problemas na origem das teorias; c) atribuir aos experimentos um valor apropriado; d) atribuir ao formalismo matemático um valor instrumental; e) reconhecer a existência de crises na evolução do conhecimento; etc. Obtiveram que o grupo de alunos que trabalhou com os novos materiais <i>mostraram uma imagem da ciência mais contextualizada e próxima da realidade</i>; houve decréscimo da porcentagem de alunos que atribuíam um papel crucial aos experimentos e, em geral, o conhecimento científico melhorou e aumentou o interesse pelo estudo da Química e da Física.</p>
Lin e Chen (2002)	<p>Apresentaram um estudo <i>quasi-experimental</i> com estudantes universitários de Química sobre o entendimento da natureza da ciência através da História da Ciência. Duas turmas de quarto ano do Curso de Preparação de Professores de Química, da <i>National Kaohsiung Normal University of Taiwan</i> foram tomadas como grupo experimental e de controle. O grupo experimental utilizou durante um semestre <i>materiais históricos que descreviam como os cientistas desenvolveram seu entendimento sobre átomos, moléculas, e peso atômico</i>, enquanto o grupo de controle não. Os</p>

	resultados revelaram que o grupo experimental teve um melhor entendimento da natureza criativa da ciência, baseado na idéia de que teoria que antecipa observações científicas e sobre a função das teorias.
Marsh e Wang (2002)	Relativamente à inclusão da História da Ciência nos currículos e práticas de ensino de ciências, fizeram uma revisão da literatura das últimas décadas e identificaram três diferentes períodos em que ela foi enfatizada nos programas americanos: 1) a época de ouro da educação em ciências (provocada pelo lançamento do Sputnik I); 2) educação em ciências sob o slogan “ciência para todos”; 3) movimento de reforma no ensino de ciências, iniciado com a divulgação do baixo desempenho dos estudantes americanos em testes de entendimento de ciências e de matemática, quando comparados com os de outros países. Destacaram três diferentes possibilidades para a inclusão da História da Ciência no ensino de ciências: <i>Entendimento conceitual (elementos históricos enriquecem a apresentação e enfatizam a natureza tentativa do conhecimento científico)</i> ; <i>Entendimento procedimental (elementos históricos fornecem a descrição de processos de pensamento, de investigação e de inferências)</i> ; <i>Entendimento contextual (elementos históricos fornecem a descrição de fatores psicológicos como motivação, incentivo, objetivos envolvidos no fazer científico, influências e necessidades sociais, fatores políticos, personalidade, cultura familiar, social, ética, etc.)</i> . Investigaram a percepção de professores de ciências de nível fundamental e secundário sobre o papel instrucional da História da Ciência e obtiveram que eles estão mais preparados para incluir elementos históricos visando melhorar o <i>entendimento contextual</i> do que as outras duas possibilidades.
Lawson (2003)	Replicou uma crítica de Allchin (2003) a sua análise do fato histórico da descoberta de Galileu das luas de Júpiter e da caracterização da ciência como hipotético-dedutiva (HD), e buscou apoio na neurociência para defender <i>que as descobertas científicas são hipotético-dedutivas</i> . Argumentou que o cientista observa um objeto, assimila, associa a um padrão conhecido, faz hipóteses e previsões de fatos novos, faz novas observações, novas hipóteses alternativas e <i>é assim como seu cérebro trabalha</i> . Argumentou que <i>previsões originais bem sucedidas são mais persuasivas</i> para sua aceitação pela comunidade científica. Allchin (2003), contrariamente, afirmou que <i>a ciência moderna necessita de um grande banco de dados e de informações precisas (...) para formar bases para teorias subsequentes</i> e conseqüentemente foi acusado de <i>pintar as descobertas científicas em termos de buscas cegas e de indução limitada</i> . Advertiu que esse debate pode ser útil no ensino de ciências.
Guerra <i>et al.</i> (2004)	Analisaram uma proposta curricular para ensino de eletromagnetismo no Ensino Médio a partir de uma reflexão entre a História da Ciência e o ensino, adotada no Rio de Janeiro. Alertaram que <i>através da História podemos conhecer o processo pelo qual a ciência e a tecnologia foram construídas, percebendo-as como uma produção cultural, inseridas em um tempo e em um</i>

	<p><i>espaço específicos</i>; podemos discutir problemas e controvérsias; e que a História da Ciência mostra-se um instrumento de reflexão em sala de aula, proposta já inserida nos PCN. Alertaram que é preciso elegeer para cada tópico da Física os problemas históricos mais relevantes, para haver equilíbrio entre os aspectos históricos e o conteúdo propriamente a ser ensinado. Concluíram da análise de textos preparados pelos alunos individualmente e em grupo, que eles se mostraram mais motivados; favoreceu a percepção de que os cientistas aliam-se, às vezes, a teorias insatisfatórias que precisam posteriormente ser abandonadas e propiciou uma melhor compreensão da natureza da ciência.</p>
McBride <i>et al.</i> (2004)	<p>Revisaram a História do Ensino de Ciências para fornecer subsídios aos professores de ciências do Ensino Médio a fim de executarem com sucesso a estratégia “modelo Física por investigação”. A História da Ciência foi tomada como ferramenta útil para melhoria do ensino.</p>
Ayala (2004)	<p>Assumi que a História da Ciência na formação de professores de Física é um recurso didático, um fator de motivação e um meio de promover um ensino de ciências que ofereça condições culturais aos indivíduos de enfrentarem favoravelmente os complexos conflitos que os afetam. Além disso, os enfoques contextuais da História da Ciência instrumentalizam os professores a refletir sobre suas próprias concepções e capacita-os a mostrar a Física como uma atividade de construção de conceitos, teorias, procedimentos, procurando desvincular a formação científica de um <i>paradigma técnico-instrumental que reduz tudo ao econômico e assume as leis de mercado</i>.</p>
Espinoza (2005)	<p>Afirmou que <i>o que parece ser um leque desordenado de visões sobre o movimento pode fazer sentido quando visto de uma perspectiva histórica da evolução do entendimento humano sobre a dinâmica</i>. Defendeu que as dificuldades encontradas pelos professores de Física diante de concepções alternativas sobre o movimento podem ser superadas por estratégias baseadas na investigação, fazendo uso de situações familiares para os alunos e através de uma tomada de consciência, dos professores, sobre a origem histórica das idéias.</p>
Silveira e Peduzzi (2006)	<p>Discutiram três episódios históricos de descoberta científica: a física de Galileu, a teoria da relatividade restrita e o modelo atômico de Bohr. Argumentaram que os livros de texto de ensino médio e universitário não apresentam uma História da Ciência propriamente, mas sim uma caricatura dessa história consistente com a visão empirista (que o conhecimento tem origem na observação, na experimentação). Destacaram que existe outra história, mais <i>rica, dinâmica e complexa</i> e que pode mostrar que observações, experimentos e resultados de medidas são importantes para o conhecimento científico, mas que desempenham um papel muito diferente daquele que a filosofia empirista propugna. Destacaram que os três exemplos analisados ilustram que a <i>história (ou caricatura) empirista empobrece a História da Ciência, induz as visões distorcidas da natureza da ciência e do empreendimento</i></p>

	<i>científico</i> , e oferecem sugestões de estratégias para um ensino de Física que favoreça a mudança das concepções epistemológicas, tornando-as mais contextualizadas historicamente.
Moreno (2006)	Fez uma incursão por diferentes iniciativas e projetos, em diferentes países, que defendem o ensino de ciências sob uma orientação histórica. Cita: <i>Harvard Project Physics; Grupo de Estudos da Faculdade de Educação da Universidade de Manitoba no Canadá; Group of History of Science, European Physical Society; International History, Philosophy and Science Teaching Group</i> e o congresso de Tallahassee. Esses grupos têm fomentado reuniões internacionais e incentivado a criação de periódicos para dinamizar a troca de experiências, a fusão de iniciativas européias, americana e australiana em torno da História da Ciência e também da Filosofia da Ciência no ensino de ciências. Defendeu que a História da Ciência no ensino de ciências nos diferentes níveis (primário, secundário e universitário) pode melhorar o interesse e despertar o espírito crítico ante os fatos da ciência; que a incorporação da História da Ciência na formação de professores pode ser útil para superar dificuldades e dar ao ensino de ciências um conteúdo cultural proveitoso. Afirmou que o professor de ciências deve ser <i>capaz de interagir, relacionar e distinguir saberes, épocas e comportamentos</i> .
Brake e Hook (2007)	Revisitaram a Revolução Copernicana e argumentaram que o entendimento desse episódio histórico é importante para entender a evolução da Física, pois foi responsável por uma nova forma de imaginação, que pode ser chamado de ficção na ciência. Essa história mostra como cientistas, tais como Kepler e Galileu, e filósofos usaram a imaginação ficcional para ajudar a visualizar o desconhecido.
Marshall (2007)	Fez um retrospecto da Filosofia da Ciência, desde os gregos até os dias atuais, por entender que essa visão histórica suporta as noções sobre “como a ciência trabalha”, que é um dos focos atuais das especificações das ciências naturais nas escolas inglesas.
Melo e Peduzzi (2007)	Apresentaram e ilustraram a evolução das teorias sobre a natureza da luz, à luz da filosofia de Bachelard, enfatizando os períodos de rupturas e discontinuidades presentes no constante confronto entre o modelo corpuscular e ondulatório da luz; a permanente retificação do erro, e ao novo conceito de verdade presente na construção da concepção sobre a natureza da luz; à noção de recorrência histórica articulada à análise dos estudos sobre reflexão e refração; ao uso do recurso analógico na estruturação da hipótese ondulatória da luz proposta por Huygens; e à dialética racionalismo-empirismo no exemplo da natureza dual dos elétrons. Entenderam que essa contribuição da História da Óptica articulada à filosofia bachelardiana é uma estratégia possível em uma disciplina de natureza histórica do curso de Física. Asseveraram que o desenvolvimento de uma visão crítico-reflexivo não resulta da enumeração de resultados da ciência em ordem cronológica.
Pereira e Amador (2007)	Apresentaram um trabalho procurando identificar como a História da Ciência é utilizada no Ensino Básico português, e sua

	<p>consonância com as orientações do Currículo Nacional do Ensino Básico. Analisaram livros de texto escolares de Ciências da Natureza do 5º ano de escolaridade (10/11 anos), classificando-os em categorias. Obtiveram que a informação histórica é significativamente apresentada nos livros de texto, mas na grande maioria das situações não se apresenta da forma favorecer o desenvolvimento de concepções consideradas adequadas sobre a natureza e evolução do conhecimento científico. Constataram em certas categorias, que se assume que a partir de um conjunto de dados pode-se chegar à formulação de conclusões indiscutíveis, associando a ciência a uma atividade estritamente indutiva, que apresenta os cientistas como indivíduos de certa forma excêntricos, que em momentos de ‘genialidade’ descobrem leis e teorias. Na maior parte das situações os conteúdos históricos são apresentados na forma de informação factual, essencialmente de carácter informativo, sem destacar a importância, que nas diferentes épocas, assumiram as observações/experiências realizadas e/ou os modelos e teorias propostas.</p>
Silva e Moura (2008)	<p>Apresentaram um estudo histórico sobre a Óptica Newtoniana para evidenciar que a construção do conhecimento não é linear, que o processo de aceitação de uma teoria é afetado por fatores como o prestígio do cientista para estabelecer uma visão de mundo. Argumentaram que esse debate pode ajudar os professores a incluir discussões sobre a natureza da ciência no ensino de ciências. Concluíram, com base na literatura, que muitos professores têm visões distorcidas da natureza da ciência e que parte desse problema se deve à ausência dessas discussões na formação inicial e continuada dos professores.</p>
Guisasola, Montero e Fernández (2008)	<p>Consideraram que a História da Ciência é um instrumento útil no ensino de ciências, para identificar o contexto em que se constroem e desenvolvem conceitos e teorias e as barreiras epistemológicas que tiveram que ser superadas, podendo-se compará-las com as dificuldades enfrentadas pelos estudantes. Estabeleceram um marco conceitual para o conceito de força eletromotriz baseado na História e na Epistemologia; formularam indicadores de aprendizagem para identificar as dificuldades para trabalhar os diferentes estágios desse conceito e estabelecer as formas de raciocínio que os estudantes devem aprender em cursos iniciais de Física e Engenharia. Concluíram que o conhecimento das dificuldades históricas ajuda a formular sequências de ensino mais eficazes.</p>
Dedes e Ravanis (2009)	<p>Investigaram a eficácia de um procedimento de ensino para desenvolver e transformar as representações de alunos entre 12 e 16 anos na Grécia, sobre emissão e formação por fontes de luz extensas, visando torná-las compatíveis com os conceitos físicos. A metodologia consistiu na oferta da História da Ciência, espaço em que os princípios da Óptica Geométrica foram derivados de um relevante experimento histórico de Kepler. Os resultados do esforço mostraram que a maioria dos sujeitos reconheceu os princípios da Óptica Geométrica, isto é, os alunos foram capazes de</p>

	predizer corretamente e justificar adequadamente o experimento baseado no princípio de emissão puntiforme de luz. Consideraram que a História da Ciência tem importantes implicações para o ensino de Física nas escolas.
--	---

A História da Ciência é defendida na literatura como ferramenta útil para: evitar um entendimento distorcido da natureza da ciência (Solomon *et al.*, 1992; Solbes e Traver, 2001; Lin e Chen, 2002; Silveira e Peduzzi, 2006; Marshall, 2007; Silva e Moura, 2008); contextualizar o ambiente de construção das teorias (Neves, 1998; Guerra *et al.*, 2004); desmistificar a ciência como um processo de buscas cegas (Lawson, 2003; Melo e Peduzzi, 2007); qualificar o ensino de Física (Neves, 1992; Marsh e Wang, 2002; Guisasola, Montero e Fernández, 2008); dar ao ensino de ciências um conteúdo cultural proveitoso (Moreno, 2006); auxiliar na superação de concepções alternativas a respeito de conceitos físicos (Espinoza, 2005); tornar as leis menos ‘mágicas’ e entender sua evolução histórica (Dias, 2001; Brake e Hook, 2007) e melhorar o interesse, a motivação e despertar o espírito crítico (Guerra *et al.*, 2004; Ayala, 2004; Moreno, 2006).

Tais contribuições da História da Ciência para o ensino médio e fundamental e também para os cursos de formação de professores de ciências não são defendidas apenas por pesquisadores de forma isolada, mas têm motivado, conforme Moreno (2006), o surgimento de projetos e grupos de estudo em diversos países do mundo (ex: *Harvard Project Physics*; Grupo de Estudos da Faculdade de Educação da Universidade de Manitoba no Canadá; *Group of History of Science, European Physical Society; International History, Philosophy and Science Teaching Group* que celebrou o congresso de Tallahassee).

Esses grupos passaram a fomentar, a partir de 1999, encontros, congressos e reuniões internacionais e incentivaram a criação de periódicos para dinamizar a troca de experiências e a fusão de iniciativas européias, americanas e australianas em torno da História da Ciência e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências.

Todavia, existem trabalhos (Pereira e Amador, 2007) que enfatizam que a História da Ciência embora significativamente presente nos livros de texto de ciências, na grande maioria das situações não é apresentada da forma favorecer o desenvolvimento de concepções consideradas adequadas sobre a natureza e evolução do conhecimento

científico. Associam a ciência a uma atividade estritamente indutiva, cujo conhecimento é obtido a partir dos dados empíricos, e apresentam os cientistas como indivíduos de certa forma excêntricos, que em momentos de “genialidade” descobrem leis e teorias e, e em muitas situações, os conteúdos históricos são apresentados no formato de informação factual e com caráter essencialmente descritivo.

2.5) Artigos que investigam e discutem as concepções sobre a natureza da ciência de estudantes em diferentes níveis de ensino, suas mudanças, relações e implicações na vida educativa e social

Quadro 2.7: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 5.

Cotham e Smith (1981)	Desenvolveram e validaram um teste para avaliar as concepções da natureza da ciência de professores de ciências com vistas a identificar possíveis relações entre as concepções dos professores e suas práticas de ensino. O estudo baseou-se no entendimento de que as concepções epistemológicas têm importância social e educacional e podem ter uma significativa influência no ensino de ciências como investigação. Esse entendimento enfatiza uma visão tentativa e revisionária da ciência, característica evidente no desenvolvimento do conhecimento teórico nos campos da Astronomia, Física Nuclear, etc. A importância de entender essas concepções sugere a necessidade de pesquisas sobre as relações entre as concepções dos professores e suas práticas de ensino.
Ogunniyi (1982)	Apresentou estudo que investigou as concepções epistemológicas de futuros professores de ciências e concluiu que esses professores apresentavam pontos de vista sobre a linguagem da ciência, próximos aos de Hempel (lógico-positivista) e noções indutivas da natureza da ciência. Esses achados reafirmaram resultados anteriores de que a maneira como a ciência é ensinada e aprendida não reflete adequadamente a natureza da ciência e, conseqüentemente a necessidade de introduzir mudanças nos cursos de formação de professores.
Williams (1983)	Defendeu que todo cidadão tem responsabilidades, ela é parte da vida em sociedade, e que a responsabilidade do cientista está acima daquelas do cidadão comum: <i>responsabilidade financeira</i> , pois a sociedade custeia seu treinamento, os equipamentos e as facilidades para o seu trabalho; <i>responsabilidade ética e moral</i> devido ao seu conhecimento e a extensão dos efeitos do seu trabalho. Especialmente nas novas tecnologias o cientista tem que informar os cidadãos sobre o equilíbrio do mundo, a extinção de espécies, a poluição dos rios e oceanos, etc.; <i>responsabilidade sobre o uso da ciência na guerra</i> , em especial a guerra nuclear, o cientista tem a responsabilidade de prevenir seu uso. Afirmou que a comunidade científica deve reconhecer suas responsabilidades, debater sua

	natureza e extensão para discutir a melhor forma de cumpri-las. Mas vai além, e propõe uma categoria adicional de responsabilidade do cientista, a de ensinar seus objetos de tal forma que seus alunos tenham alguma consciência de sua implicação social.
Lederman e Druger (1985)	Informaram que a Associação Nacional de Professores de Ciências dos EUA declarou, em 1982, que a “alfabetização científica para todos os cidadãos” era o principal objetivo do ensino de ciências naquele país, incluindo um adequado entendimento da natureza da ciência. Realizaram um estudo com professores e classes de Biologia e obtiveram que as mudanças das concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência estavam relacionadas a inúmeras variáveis de sala de aula. Algumas de “caráter geral”: a forma de apresentação do conteúdo usando (ou não) histórias, analogias, exemplos; apresentação enérgica (ou teatral); se o professor permitia (ou não) envolvimento dos alunos com perguntas e respostas; se o material apresentado era adequado ao nível dos alunos; se havia textos, exercícios; se o professor era (ou não) agradável, se havia (ou não) relações de amizade entre alunos e professores, etc. Outras variáveis eram de “caráter específico”: se o conhecimento científico era (ou não) apresentado como de natureza tentativa; se era apresentado como produto da criatividade e imaginação do homem; se ênfase era dada (ou não) à validação empírica e etc. Concluíram também que o comportamento do professor em sala de aula, a atmosfera/ambiente que ele estabelecia com seus alunos era relevante para a aprendizagem dos alunos.
McAdam (1990)	Apresentou um estudo sobre o estereótipo do cientista como visto pelas crianças em idade escolar. Obteve que elas aprendem a ver o cientista basicamente como um <i>excêntrico homem cabeludo de jaleco branco</i> . Esse estereótipo se mostra persistente, vem sobrevivendo através das décadas, e corresponde aproximadamente àquele passado por livros infantis e histórias em quadrinhos. Concluiu que é difícil superar essa imagem, mas é necessário quebrar o ciclo autor-leitor, que as escolas devem encorajar a seleção dos livros, através dos professores e bibliotecários. Considerou importante que os cientistas estabeleçam um vínculo com autores de livros infantis, ou que os próprios cientistas escreverem livros introduzindo assuntos da Física, por exemplo, de forma divertida e interessante.
Meichtry (1993)	Realizou revisão da literatura das últimas décadas e obteve que a maioria dos estudos mostra que os estudantes em idade escolar têm um entendimento da natureza da ciência muito abaixo do desejável. Muitos estudos indicaram algumas variáveis de impacto negativo para um melhor entendimento da natureza da ciência como os <i>efeitos da linguagem no ensino de ciências e a ênfase no conteúdo do material instrucional integrado aos currículos de ciências</i> .
Prosser, Walker e Millar (1996)	Informaram o resultado de um estudo que se originou em um programa que visava ajudar os estudantes dos primeiros anos do curso de Física a desenvolver suas idéias sobre a natureza da Física e de como estudá-la. Através de perguntas abertas, os estudantes

	<p>informaram sobre o que eles faziam para estudar Física, o que o estudo da Física envolvia, como aprendiam Física, etc. A pesquisa mostrou que: a percepção dos estudantes tem efeito na aprendizagem; os estudantes disseram que a Física nasce do estudo do mundo físico, mas apenas uma minoria focalizou seus estudos procurando entender as relações entre os princípios físicos e o mundo real; atribuíram o sucesso de alguns a habilidades inatas e ao esforço pessoal e não à forma como eles estudavam; e detectaram uma alta proporção de respostas de baixo nível.</p>
Chassot (1998)	<p>Afirmou, com base nas experiências em uma disciplina de <i>Introdução à Filosofia da Ciência</i> do curso de Ciências Econômicas, que <i>é impressionante, o quanto muitos alunos e alunas, mesmo tendo estudado disciplinas científicas durante três anos no nível médio e que desenvolveram antes estudos de ciências durante, pelo menos, quatro anos no ensino fundamental, conhecem muito pouco de Ciências</i>. Asseverou que esse ensino está voltado ao <i>adestramento para os exames vestibulares</i>. Concluiu que os alunos chegam à universidade com pouca familiaridade com a história da construção do conhecimento científico; trazem a marca de um ensino ahistórico, voltado ao presenteísmo. Arguiu que a destruição do passado é um dos grandes problemas do final do séc. XX, aliado à tendência de encontrar uma utilidade imediata para tudo o que está sendo ensinado. Asseverou que a História da Ciência pode ser uma facilitadora na eliminação de posturas científicas - visão de uma ciência asséptica e imaculada.</p>
Ryder, Leach e Driver (1999)	<p>Pesquisaram a imagem sobre a natureza da ciência de estudantes de ciências em seu último ano de universidade. Obtiveram que a maioria dos estudantes tendia a ver as afirmações científicas como apoiadas apenas no terreno empírico; muitos estudantes demonstraram um significativo avanço no entendimento de que as linhas de investigação científica são influenciadas pelas correntes teóricas dentro de uma disciplina; e que aspectos como o trabalho científico resultante da cooperação da comunidade foram subvalorizados nas discussões sobre ciências. Consideraram que os cursos devem focar explicitamente o ensino sobre a natureza da ciência. Os futuros professores de ciências <i>precisam tornar claras para si mesmos suas imagens da natureza da ciência</i>, pois é papel dos professores, como mediadores da cultura científica, comunicar tais idéias em suas aulas.</p>
Islas e Pesa (2001)	<p>Apresentaram uma investigação sobre as concepções de estudantes universitários de Física (futuros professores de Física e futuros pesquisadores em Ensino de Física) de <i>modelo científico</i> e seu emprego na construção do conhecimento científico. Obtiveram que os futuros pesquisadores apresentaram visões alinhadas às visões epistemológicas atuais e demonstraram experiência no manejo dos modelos. Os futuros professores apresentaram <i>escassas referências ao caráter analógico da relação do modelo com a realidade</i> – simplificação da realidade - e não abordaram os limites de validade dos modelos. Aqueles que estudaram Epistemologia explicitaram esses aspectos, enquanto os que não tiveram esses temas em seus</p>

	<p>currículos não o fazem. Destacaram a relevância da modelagem na construção do conhecimento científico e defenderam que essa estratégia deveria ser tratada explicitamente em todos os níveis da educação científica e mais ainda entre os futuros docentes. Defenderam que oferecer uma formação epistemológica coloca os professores em melhores condições de abordar a natureza da ciência apropriadamente na futura docência, gerando espaços para a reflexão.</p>
<p>Petrucci e Dibar Ure (2001)</p>	<p>Apresentaram um estudo sobre a imagem da ciência de estudantes de ciências em nível universitário. Foram estudados três grupos de estudantes de Biologia e Geologia, em cursos introdutórios de Física, com diferentes estratégias de ensino. Realizaram uma revisão histórica e constataram que a primeira investigação sobre as concepções dos alunos data de 1954 e obteve que <i>os estudantes consideravam o conhecimento científico como absoluto; o principal objetivo dos cientistas é descobrir as leis naturais e verdades; apresentavam atitudes negativas com relação à ciência.</i> Os estudos posteriores foram consistentes com esses resultados. Nas décadas posteriores muitas propostas curriculares procuraram corrigir esta situação. O insucesso dessas, não raro, foi atribuído às posturas dos professores, geralmente com visões epistemológicas inadequadas. Argumentaram que o debate epistemológico recente é rico, com muitas propostas, mas que não existe hoje uma escola hegemônica entre os especialistas e que o debate explícito é mais exitoso do que o implícito. Obtiveram que as imagens dos estudantes pesquisados se parecem com a epistemologia do início do séc. XX, nos aspectos relacionados com o conhecimento (visão acumulativa que visa respostas e explicações); mas revelou também uma visão classificada como “humanitária” (a ciência contribui para os cuidados do meio ambiente e para a melhora das condições de vida da humanidade).</p>
<p>Costa e Domènech (2002)</p>	<p>Analisaram os saberes em ciências, a natureza desse conhecimento, as distintas posições epistemológicas, o rumo das reformas educativas nas escolas de ensino fundamental e médio e sua relação com as novas demandas de alfabetização científica e tecnológica exigidas pelo mercado de trabalho. Destacaram a <i>concepção positivista</i> onde tecnologia é entendida como um campo derivado da ciência, com ênfase no produto; as <i>correntes sócio-históricas (escola de Frankfurt)</i> contrárias ao positivismo e concebendo a tecnologia como saber instrumental, com ênfase no processo; uma <i>terceira visão sócio-histórica</i> considera sujeito e objeto em construção mútua, produto e processo construídos num contexto histórico. Obtiveram que as três visões epistemológicas estão presentes nas práticas educativas e nas discussões atuais, mas que as duas últimas demandam nova gestão institucional e de recursos humanos para torná-las mais efetivas. Concluíram que <i>os docentes devem aprender a gerar novas relações com os alunos e isto demanda conhecimentos que atentem para formas singulares de abordá-lo.</i></p>

Lederman et al. (2002)	<p>Informaram que apesar dos esforços desenvolvidos a partir de 1960, a pesquisa tem mostrado que estudantes e professores <i>não têm alcançado um entendimento desejado da natureza da ciência</i>. Apresentaram um instrumento aberto – VNOS (<i>Views of nature of science</i>), que em conjugação com entrevistas individuais permite uma avaliação das visões da natureza da ciência. Discutiram a validade e a utilidade do perfil descritivo que o VNOS fornece da natureza da ciência. Apresentaram um conjunto de definições úteis para esclarecer o significado da “natureza da ciência”: <i>processos científicos: atividades relacionadas à coleta e interpretação de dados e derivação de conclusões; natureza da ciência: valores e assunções epistemológicas sobre essas atividades; observação: afirmações descritivas sobre os fenômenos naturais através dos sentidos (ou extensão destes); inferências: afirmações sobre os fenômenos que não são diretamente acessíveis pelos sentidos; teorias científicas: sistemas de explicações internamente consistentes, em geral, baseadas em um conjunto de assunções ou axiomas e prevêm a existência de entidades não observáveis; Leis: afirmações descritivas das regularidades dos fenômenos; Natureza empírica: a ciência é pelo menos parcialmente baseada em observações do mundo natural; Natureza imaginativa/criativa do conhecimento científico: a geração do conhecimento científico envolve também a invenção de explicações e de entidades teóricas concebidas através da imaginação e criatividade humanas; Natureza tentativa: embora confiável e durável, nunca é absoluto e certo, inclui fatos, teorias e leis sujeitos a mudanças.</i></p>
González-Espada (2003)	<p>Informou um projeto desenvolvido na Arkansas Tech University, EUA, em 2002, em disciplinas introdutórias às ciências físicas (tópicos de Física, Química, Meteorologia, Astronomia e Geologia). Os estudantes, num total de 97, pesquisaram suas próprias concepções alternativas sobre ciências. Cada aluno escolheu cinco de uma lista de concepções, que considerou que pudessem explicar alguns fenômenos (ex: estações do ano, atração de metais por ímãs, meteoros, etc.) e escreveu uma monografia apresentando e analisando suas concepções, expressando opiniões e refletindo criticamente sobre origem e a importância de superar concepções inadequadas e assim, aceitar por si mesmos, as explicações científicas. O resultado mostrou que eles atribuíram como fonte de suas concepções inadequadas, principalmente, aspectos como: a influência de seus professores da escola fundamental; de seus pais e de desenhos animados da televisão. Alertou que mesmo estudantes oriundos das melhores escolas carregavam concepções completa ou parcialmente equivocadas sobre a Física, em particular, pois receberam todo tipo de informação (científica, pseudocientífica e não científica) nas suas experiências educacionais e nas interações sociais.</p>
Buehl e Alexander (2006)	<p>Argumentaram que as concepções sobre o conhecimento científico são o reflexo da multidimensional e interativa natureza do conhecimento. Apresentaram um modelo em que foram destacadas relações entre o domínio geral e o domínio específico das</p>

	<p>concepções epistemológicas. Concluíram que afirmações de concepções do domínio específico: (a) emergem quando as concepções são avaliadas em um nível mais preciso; (b) estão diferencialmente relacionadas com a motivação; e (c) se desenvolvem a partir de concepções mais gerais, de visões de mundo.</p>
Mason, Boldrin e Zurlo (2006)	<p>Informaram um estudo baseado teoricamente no modelo epistemológico de Kuhn para o desenvolvimento do conhecimento, na teoria da mente, na metacognição e argumentação, que incluiu diferentes níveis de pensamento sobre o conhecimento (como absolutismo e a multiplicidade). O estudo envolveu 881 estudantes italianos de ensino fundamental e médio e dois diferentes tipos de escolas: uma de currículo científico e outra técnico-comercial. Obtiveram que posições absolutistas foram mais frequentes em relação a juízos de valor, mesmo quando o pensamento não-absolutista era alcançado em todos os outros domínios. Gênero, nível escolar e currículo influenciaram significativamente na transição do absolutismo para a multiplicidade e, globalmente, os meninos mostraram posições mais absolutistas do que as meninas; alunos do 8º ano mais absolutistas do que os do 13º ano, e alunos da escola de currículo científico mostram-se mais absolutistas do que aqueles da escola técnico-comercial.</p>
Hofer (2006)	<p>Argumentou com base na análise de artigos da área, que concepções pessoais sobre o conhecimento, ou uma “epistemologia pessoal”, estão relacionadas de forma complexa com o desenvolvimento e aprendizagem; que essas concepções se apresentam diferenciadas por disciplina (ex.: Matemática, Ciência, História) tanto quanto por domínio de juízo (ex.: gosto pessoal, moralidade, significado). Afirmou que inter-relação entre domínio de especificidade e o domínio da generalidade das concepções epistemológicas esboça uma questão persistente e importante na pesquisa em ensino.</p>
Vílchez-González e Palacios (2006)	<p>Analisaram a imagem da ciência apresentada nos desenhos animados de televisão. Monitoraram 100 episódios de televisão transmitidos na Espanha. Obtiveram que, embora houvesse variações de acordo com o formato audiovisual utilizado, os desenhos animados mostravam uma imagem distorcida da ciência e dos cientistas, com muitas similaridades com a mostrada por comédicos, e que são comuns em estereótipos sustentados pela sociedade, em geral. Advertiram que se quisermos integrar a ciência à sociedade, como parte da cultura moderna, devemos assegurar que conhecemos a imagem que seus cidadãos detêm sobre ela, começando pela dos estudantes; e que essa imagem estereotipada da ciência pode estar associada ao declínio do número de estudantes de Física.</p>
Ricardo e Freire (2007)	<p>Apresentaram um estudo exploratório, através de um questionário aberto, a respeito da concepção sobre Física de alunos de Ensino Médio, envolvendo 18 turmas de escolas públicas de Brasília. Obtiveram que 45,5% dos alunos afirmou gostar de Física; mas que <i>a relação entre Física e Matemática não é clara entre aqueles que</i></p>

	<p><i>ensinam essas disciplinas</i> e com isso os alunos veem a Física como pura aplicação de fórmulas, reduzida a cálculos. Sugeriram que uma das causas pode estar relacionada à formação inicial dos professores de Física, à falta de discussões epistemológicas e históricas acerca das teorias físicas. <i>É comum encontrar professores que ao resolverem exercícios com seus alunos utilizam frases do tipo: daqui para frente não é mais Física, é só Matemática...</i> e esse panorama precisa ser revisado.</p>
Guisasola e Morentin (2007)	<p>Apresentaram uma investigação visando conhecer as concepções de futuros professores do ensino básico na Espanha, sobre os objetivos, metodologia e evolução do conhecimento científico. Obtiveram, através de um questionário de perguntas abertas, que a maioria dos futuros professores do ensino básico apresenta uma concepção positivista da ciência, pois consideram a ciência como um corpo de conhecimentos formado por fenômenos naturais e teorias (71%) verdadeiras, já que contrastadas com os dados observacionais; os fatos científicos dão significado às teorias; a observação e detecção de fenômenos é a parte mais importante da metodologia científica (90%). Em suma, a visão da natureza da ciência dos futuros professores é ingênua e inadequada às visões contemporâneas.</p>
Scheid, Ferrari e Delizoicov (2007)	<p>Pesquisaram as concepções da natureza da ciência de estudantes de um curso de Ciências Biológicas, através de questionário e de entrevistas semi-estruturadas, à luz da epistemologia de Ludwik Fleck. Obtiveram que os estudantes viam o trabalho dos cientistas como descobertas de leis naturais e de verdades e o conhecimento científico como absoluto. Predominava a concepção indutivista-empirista e atórica, na qual a observação e a experimentação eram entendidas como atividades independentes das teorias; mostraram dificuldades em distinguir modelo de realidade e pareciam desconhecer o caráter coletivo da atividade científica. Atribuíram esses resultados à ausência, na formação inicial, de discussões epistemológicas que poderiam contribuir para a compreensão da complexidade do processo da ciência. Consideraram que essas concepções equivocadas da natureza da ciência podem ter repercussões na forma de ensinar temas polêmicos de Biologia.</p>
Paula e Borges (2008)	<p>Relataram os resultados de uma pesquisa destinada a promover imagens mais sofisticadas da atividade científica a estudantes do Ensino Fundamental. Foi observada uma turma de 7ª e depois de 8ª série, lecionadas por um professor de ciências especialmente comprometido com o objetivo de sofisticar o conhecimento epistemológico de seus estudantes, e que fez uso de materiais produzidos com o fim de criar situações de discussão e debate sobre a natureza da ciência em aula. Os resultados, obtidos através do acompanhamento das aulas e entrevistas com os estudantes, indicaram que eles reconheceram, especialmente, a importância e a legitimidade do uso da imaginação na produção das ciências, em um ambiente que apoiou as reflexões de caráter epistemológico. <i>Eles parecem ter sido paulatinamente convencidos durante os dois últimos anos do Ensino Fundamental de que para explicar é</i></p>

	<i>preciso ir além do que se pode efetivamente observar.</i>
Mesquita e Soares (2008)	Investigaram as visões da natureza da ciência veiculadas em desenhos animados de televisão, com base em alguns episódios dos desenhos Jimmy Nêutron e O Laboratório de Dexter. Obtiveram, através de análise documental, que <i>Dexter e Jimmy são garotos dedicados à ciência e que sempre trabalham sozinhos em seus experimentos, sem contar com ajuda de outros cientistas. (...) Isto configura uma visão individualista da ciência, em que os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados.</i> O cientista é visto como uma pessoa com inteligência acima da média, dedicado e sem vida social ou afetiva; e, em geral, <i>a ciência é enaltecida e mitificada por meio de situações, ações e falas dos personagens.</i> Sugeriram o uso de desenhos animados como alternativa para motivar debates que privilegiem a construção de visões adequadas da natureza do conhecimento científico e questionem as diversas visões de ciência que são veiculadas nos meios de comunicação.
Dogan e Abd-El-Khalick (2008)	Avaliaram, através de um estudo de âmbito nacional, as concepções da natureza da ciência de estudantes e professores turcos, e se essas concepções estavam relacionadas com variáveis como: gênero, região geográfica, posição socioeconômica da cidade ou região, contexto disciplinar, tipo de escola, experiência de ensino do professor, graduação e tipo de programa de formação do professor, tipo de chefe das famílias dos estudantes e nível educacional dos pais. Foram investigados 2087 estudantes e 378 professores de ciências, foi usado um questionário formado por 14 itens modificados do <i>Views on Science-Technology-Society-VOSTS</i> e responderam 2020 estudantes e 362 professores. Obtiveram que as visões dos professores eram, em geral, similares àquelas dos seus estudantes e relacionadas a certas variáveis como: graduação do professor e região geográfica, tipo de escola, educação dos pais e tipo de chefe de família dos estudantes. A maioria dos participantes sustentava visões ingênuas com relação a vários aspectos da natureza da ciência. Os resultados indicaram que para atingir os objetivos da reforma nacional do ensino da Turquia, deveriam prestar cuidadosa atenção para a forma como a natureza da ciência é representada nos materiais curriculares, que tem nos professores seus principais intermediários, e que estes não estavam preparados para ajudar os estudantes a desenvolver visões mais acuradas da natureza da ciência.
Akerson, Buzzelli e Donnelly (2008)	Buscaram identificar a influência de métodos instrucionais explícito-reflexivos no desenvolvimento de valores culturais, éticos e intelectuais e suas relações com as visões da natureza da ciência dos futuros professores de ciências. Utilizaram três instrumentos: o <i>Views of Nature of Science Form B (VNOS-B)</i> para descrever as visões, o <i>Learning Context Questionnaire (LCQ)</i> para classificar as posições éticas e intelectuais e o <i>Schwartz Values Inventory (SVI)</i> para avaliar os valores culturais. A intervenção ocorreu no “curso de métodos da ciência”, que enfatizou a natureza da ciência explicitamente durante um semestre; e no “curso de fundamentos

	para a tenra infância” que reforçou essas idéias através de atividades culturais. Os dados mostraram uma tendência de existirem relações entre as visões da natureza da ciência dos futuros professores e os valores culturais identificados. Futuros professores com visões inadequadas da natureza da ciência mais fortemente valorizavam a benevolência. Professores com visões adequadas valorizavam, toleravam novas explicações, novas interpretações.
Lin e Tsai (2008)	Exploraram a relação entre as visões epistemológicas de estudantes secundários tailandeses e a utilização de informação científica de ambientes Web. O levantamento envolveu 486 estudantes secundários e a aplicação de dois questionários: um sobre visões epistemológicas e outro sobre a utilização de informação online de ciências. Os resultados mostraram que estudantes com visões do conhecimento científico como modificável e tentativo adotaram padrões avaliativos mais sofisticados tais como inspecionar cuidadosamente os conteúdos dos sites Web para julgar sua utilidade; e que, de maneira geral, estudantes com visões mais construtivistas podem desenvolver avançados padrões e estratégias de pesquisa para selecionar a informação científica <i>online</i> e tirar grande vantagem de ambientes Web. Concluíram que o papel das visões epistemológicas pode ser a geração de um aumento do engajamento metacognitivo com a informação científica online.
Liu e Tsai (2008)	Desenvolveram um estudo para examinar se estudantes universitários de ciências e de não-ciências têm diferentes visões epistemológicas. O estudo envolveu 220 estudantes de duas universidades de Taiwan, sendo 42% de ciências e 58% de não-ciências. Obtiveram que estudantes de ciências, incluindo ensino de ciências, têm concepções menos sofisticadas com relação à natureza da ciência do que os de não-ciências, isto é, podem ser incluídos num ambiente epistêmico tal que concebem o conhecimento científico como sendo objetivo e universal. É possível também que suas concepções sobre a certeza e objetividade os levaram a escolher ciências para sua formação profissional.
Hadar (2009)	Investigou as concepções de aprendizagem de 130 estudantes de escola secundária israelenses usando problemas abertos, analisados qualitativa e quantitativamente. Constatou duas esferas separadas: a aprendizagem ideal e a aprendizagem escolar, que raramente interagem. O estudo revelou que os estudantes sustentam complexas e profundas concepções sobre a aprendizagem ideal: auto-interesse, curiosidade, compreensão e aquisição de conhecimento; mas essas categorias estão separadas de suas concepções sobre aprendizagem escolar. Interagem mínima e superficialmente para sobreviver ao sistema. Adverte que os professores precisam ter consciência do pensamento dos estudantes sobre a aprendizagem nas suas práticas em sala de aula e com relação à escolha das suas estratégias.
Ibrahim, Buffler e Lubben (2009)	Investigaram as visões da natureza da ciência de calouros do curso de Física de uma universidade da África do Sul, através de respostas por escrito a perguntas abertas. As visões foram

	<p>consolidadas em diferentes “perfis” (quatro perfis: <i>modelers</i>, <i>experimenters</i>, <i>examiners</i> e <i>discoverers</i>, cobriram 86% da amostra). Alguns achados: 77% dos 179 estudantes investigados acreditavam que o conhecimento científico explica o complexo comportamento da natureza; 40% acreditavam que a natureza tem suas leis e regras, que são descobertas através de experimentação; 58% dos estudantes priorizaram os experimentos científicos sobre as teorias; 51% acreditava que experimentos científicos são usados para validar hipóteses previamente construídas; 35% sugeriu que somente o método científico pode ser usado durante um experimento; 46% acreditava que os cientistas podem usar a criatividade durante um experimento para melhorar os resultados e aumentar o poder explicativo e 58% acreditava que a teoria deve ser revisada quando conflita com os resultados experimentais. Obtiveram que 44% da amostra foi classificada no perfil <i>modelers</i>, pois os estudantes acreditam que as teorias científicas são construídas e a experimentação é requerida para validar essas teorias. Consideraram que se um dos objetivos dos cursos introdutórios de Física é fornecer oportunidades aos estudantes para considerarem ativamente suas visões da natureza da ciência, então o perfil <i>modelers</i> fornece um enfoque ao qual a estrutura de atividades de ensino deve focar.</p>
--	--

A revisão da literatura mostrou que os trabalhos que buscam investigar as concepções epistemológicas de estudantes do ensino superior, médio e fundamental são encontrados em grande número e se distribuem regularmente nas últimas três décadas, com uma tendência crescente na última década.

Foram agrupados nesta categoria vinte e nove artigos que, em geral, revelam: que os estudantes em diferentes níveis da educação têm um entendimento da natureza da ciência muito distinto do desejável (Ogunniyi, 1982; Meichtry, 1993; Lederman *et al.*, 2002; Mason, Boldrin e Zurlo, 2006; Dogan e Abd-El-Khalick, 2008); que a mudança das concepções dos estudantes está relacionada à forma como a ciência é apresentada e discutida nas escolas (se é abordada a natureza tentativa, criativa, multidimensional da ciência e se essa discussão ocorre de forma explícita ou implícita) (Lederman e Druger, 1985; Buehl e Alexander, 2006; Paula e Borges, 2008); que os desenhos animados da televisão passam às crianças uma imagem distorcida e persistente da ciência e dos cientistas (McAdam, 1990; Vílchez-González e Palácios, 2006; Mesquita e Soares, 2008); que as concepções de estudantes do ensino médio sobre a aprendizagem escolar estão situadas em uma esfera distinta e não correlacionada com a da aprendizagem cotidiana

(Hadar, 2009); que os alunos do ensino médio veem a Física como aplicação de fórmulas (Ricardo e Freire, 2007); que a percepção e as visões epistemológicas dos estudantes têm efeitos na aprendizagem (Prosser, Walker e Millar, 1996; Hofer, 2006; Lin e Tsai, 2008); que os futuros professores de Física fazem “escassas” referências ao caráter analógico entre modelos e realidade e fazem poucas reflexões sobre a natureza da ciência (Islas e Pesa, 2001; Guisasola e Morentin, 2007) e que os estudantes universitários, em grande parte, veem o conhecimento científico como associado a aspectos empíricos e a descobertas de leis e verdades absolutas (Chassot, 1998; Ryder, Leach e Driver, 1999; Gonzáles-Espada, 2003; Guisasola e Morentin, 2007; Scheid, Ferrari e Delizoicov, 2007; Liu e Tsai, 2008; Ibrahim, Buffler e Lubben, 2009).

É notável que a imagem da ciência e do trabalho dos cientistas passada para as crianças pelos desenhos animados de televisão e pelos livros infantis é, em geral, distorcida e tem se mostrado persistente desde o início da década de 90 (McAdam, 1990) até os dias atuais (Vílchez-González e Palácios, 2006; Mesquita e Soares, 2008).

Também são comuns os resultados de pesquisas que mostram que as concepções da natureza da ciência de estudantes universitários de cursos de ciências (Física, Química, Biologia, Geologia, etc.), especialmente de futuros professores de ciências, têm se mostrado inadequadas às visões epistemológicas contemporâneas de maneira persistente (Chassot, 1998; Ryder, Leach e Driver, 1999; Gonzáles-Espada, 2003; Guisasola e Morentin, 2007; Scheid, Ferrari e Delizoicov, 2007; Ibrahim, Buffler e Lubben, 2009). Esse panorama sugere que esforço precisa ser direcionado para introduzir mudanças nos cursos de formação de professores de ciências no sentido de modificar suas concepções epistemológicas, para capacitá-los a promover um ensino de ciências mais crítico e reflexivo.

2.6 Artigos sobre necessidades de introduzir mudanças nos cursos de Licenciatura (os cursos de formação de professores de ciências)

Quadro 2.8: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 6.

Mestre (2001)	Apresentou um panorama das descobertas da pesquisa cognitiva dos últimos 25 anos referente ao ensino e aprendizagem de Física. Com referência à estrutura dos cursos de formação de futuros
---------------	---

	<p>professores de Física a pesquisa sugeriu que os conteúdos de Física devem ser integrados aos pedagógicos; deve ser encorajada a construção e o “fazer-sentido” do conhecimento físico (não apenas a manipulação de fórmulas); o ensino de conteúdos de Física deve ter um papel central, mas, devem ser disponibilizadas amplas oportunidades para aprendizagem dos “processos de fazer ciência”; devem oferecer oportunidades para aplicar seus conhecimentos através de múltiplos contextos; deve ser priorizada ajuda para que os futuros professores organizem os conteúdos do conhecimento de acordo com uma hierarquia (conceitos e princípios mais abrangentes no topo e idéias auxiliares, fatos e fórmulas em níveis inferiores); argumentações qualitativas baseadas em conceitos físicos devem ser encorajadas; estratégias metacognitivas devem ser ensinadas aos estudantes (refletir sobre sua própria aprendizagem, aprender como aprender mais eficientemente, ser reflexivo no sentido de poder resolver diferentes problemas com o mesmo enfoque, etc.). Destacou que estudos sobre a relação entre conteúdos específicos e o ensino mostram que um professor eficiente, além de ser especialista na sua disciplina, deve também ter conhecimento de conteúdos pedagógicos (tipos de dificuldades que os estudantes experimentam e caminhos que eles utilizam para chegar ao entendimento e estratégias para auxiliar os estudantes a vencer seus obstáculos, etc.).</p>
<p>Adúriz-Bravo <i>et al.</i> (2002)</p>	<p>Defenderam que é necessário introduzir a Filosofia da Ciência nos cursos de formação inicial e continuada de professores de ciências, pois a pesquisa mostra que, em geral, eles detêm concepções epistemológicas inadequadas à Filosofia da Ciência atual. Realizaram um estudo das diferentes propostas que apareceram ao longo do séc. XX visando incluir o estudo da natureza da ciência nos currículos de formação de professores. Classificaram as diferentes propostas em quatro dimensões: as populações, os contextos, as finalidades e os formatos de cada proposta. Com relação à população centraram-se na formação do professorado, e destacaram que deve <i>abordar de forma explícita a questão instrumental de como melhorar a prática de ensino utilizando conscientemente alguns modelos da Filosofia da Ciência</i> nos cursos de ciências, principalmente em didática das ciências. Consideraram que o ensino da Filosofia da Ciência requer uma seleção explícita de autores e escolas que são consideradas mais pertinentes. Apresentaram tópicos, tratamentos, enfoques didáticos que permitem situar diferentes propostas de ensino e que podem ser ferramentas de análise curricular para o ensino da Filosofia da Ciência.</p>
<p>Angotti (2002)</p>	<p>Defendeu a necessidade de se oferecer nos cursos de graduação em Física (Licenciatura e Bacharelado) pelo menos uma disciplina de Epistemologia. Apresentou as idéias de David Bohm e seu programa teórico alternativo para a Mecânica Quântica, em defesa da pluralidade de teorias e como forma de gerar mudanças nas concepções epistemológicas dos professores de Física. Destacou a importância de identificar e questionar, individual ou</p>

	coletivamente, as diferentes concepções e opções temáticas no processo de ensino e aprendizagem para que os alunos tenham um conhecimento científico mais pluralizado, menos consensual, mais humano e mais rico.
Zimmermann e Bertani (2003)	Reafirmaram a importância de os Professores de Física, e de ciências em geral, serem profissionais reflexivos, com habilidades para a articulação entre as disciplinas científicas e pedagógicas, entre a teoria e a prática. Fundamentaram seus argumentos nas idéias de Bachelard e Lakatos. Por Bachelard entenderam que a ocorrência e a retificação do erro <i>pode viabilizar a realização de uma nova ação</i> num constante <i>aprender a ensinar</i> . Afirmaram que é preciso romper com os métodos docentes tradicionais, em analogia com o <i>núcleo rígido</i> de Lakatos e assim promover <i>novo programa de pesquisa, de formação de professores</i> com vistas a uma formação mais crítica e reflexiva.
Gil Pérez e Vilches (2004)	Defenderam a melhoria da formação de professores para torná-los mais críticos e reflexivos. Argumentaram que os educadores precisam assumir um novo compromisso (juntar-se aos esforços da ONU) no sentido de que toda a educação (da fundamental até a universitária) preste sistemática atenção aos problemas de <i>autêntica emergência planetária</i> que vivemos: degradação de ecossistemas, esgotamento de recursos, desequilíbrio ambiental, perda da diversidade biológica e cultural, etc. Advertiram que é preciso formar cidadãos conscientes das gravidades e do caráter global dos problemas e, assim, prepará-los para a tomada de decisões adequadas na promoção de um desenvolvimento com sustentabilidade.
Borges (2006)	Discutiu diferentes alternativas para o desenvolvimento de currículos e ações para melhorar a formação de professores de Física e revigorar o ensino de ciências no ensino fundamental e médio. O objetivo, advertiu, é oferecer oportunidades para o desenvolvimento do pensar e do pensamento científico dos estudantes. Para isso <i>precisamos mudar a qualidade dos professores formados. Formar mais e melhor</i> . Relatou trabalhos reconhecidos em algumas das principais universidades do mundo e destacou as principais dificuldades encontradas: tensão entre ensino conceitual e preparação para vestibulares; professores universitários não usam os resultados de pesquisas científicas para melhorar suas práticas educacionais e privilegiam o uso de práticas tradicionais; resistência dos profissionais de ensino universitário em atualizar seus métodos de ensino; conhecimento limitado da Física e dos processos científicos pelos professores recém formados; falta de preparação para enfrentar situações profissionais conflitantes e que é preciso oferecer questões para discussão e fomentar a disposição de gastar algum tempo promovendo essas discussões entre os estudantes de Física.
Gobara e Garcia (2007)	Realizaram um levantamento, através de pesquisa com dados oficiais e das respostas a um questionário enviado às instituições de ensino superior, sobre os cursos de Licenciatura em Física no Brasil, tendo em vista o déficit de professores de Física para atuar

	no Ensino Médio. Obtiveram que os estudantes encontram muitas dificuldades para acompanhar o curso de Licenciatura em Física, demonstram baixa expectativa em relação à futura profissão e que ocorre elevado índice de evasão nos cursos de Física em nosso país. Concluíram que se faz necessária a criação de equipes de professores educadores com condições materiais e tempo para se dedicarem aos cursos de Licenciatura, auxiliando os estudantes a superarem dificuldades, evitando o desestímulo e o abandono dos cursos.
Silva e Carvalho (2009)	Investigaram a concepção de ensino de Física presente entre os futuros professores de Física, através de desenvolvimento de atividades em uma disciplina de Prática de Ensino em uma universidade pública de SP. Obtiveram que as experiências vivenciadas pelos licenciandos no ensino médio e superior orientam de tal forma as suas visões de ensino, <i>que alguns se incomodam com a perspectiva de realizar trabalhos educativos que tratam de temas controversos</i> ; que as atividades de ensino privilegiadas pelos futuros professores de Física em disciplinas de Prática de Ensino, até certo ponto, apresentam-se como uma reprodução daqueles processos por eles vivenciados ao longo da sua educação básica e universitária, e que tais experiências vivenciadas pelos futuros professores, enquanto alunos da instrução básica e na graduação, foram fatores determinantes das concepções de ensino de Física por eles apresentadas.

A literatura parece indicar a necessidade de se introduzir mudanças nos cursos de Licenciatura visando: favorecer a constituição de equipes de professores educadores com condições materiais e tempo para se dedicarem aos cursos de Licenciatura, e dispostos a “gastar tempo” na promoção de discussões sobre possíveis mudanças que se fazem necessárias (Borges, 2006; Gobara e Garcia, 2007); incluir nos cursos de graduação em Física (Licenciatura e Bacharelado) pelo menos uma disciplina de cunho epistemológico buscando formar professores mais críticos e reflexivos, não só em relação à natureza do conhecimento científico, mas também em relação às questões ambientais que vivemos hoje (Angotti, 2002; Adúriz-Bravo *et al.*, 2002; Gil Pérez e Vilches, 2004; Silva e Carvalho, 2009); fazer com que a estrutura dos cursos de Física encoraje a construção do “fazer-sentido” do conhecimento físico (não apenas a manipulação de fórmulas) e uma articulação entre disciplinas científicas e pedagógicas (Mestre, 2001; Zimmermann e Bertani, 2003).

As pesquisas também indicam que as atividades de ensino de Física privilegiadas pelos futuros professores de Física em disciplinas como Prática de Ensino, até certo ponto, são uma reprodução daqueles processos por eles vivenciados ao longo da educação básica e

nos seus cursos de graduação (Silva e Carvalho, 2009), que ainda há déficit de professores de Física no Brasil para atuar no Ensino Médio e que a evasão e as dificuldades dos estudantes para acompanhar o curso são grandes (Gobara e Garcia, 2007).

Parece haver certo consenso entre os pesquisadores na área de que a inclusão de disciplinas de Epistemologia, ou Filosofia da Ciência, nos cursos de Licenciatura na área das ciências pode ser uma ferramenta potencialmente útil na promoção de discussões e reflexões entre os futuros professores e assim contribuir para a melhoria do ensino de ciências.

2.7 Artigos sobre visões da natureza da ciência passadas pelos livros didáticos de Física, e de ciências em geral

Quadro 2.9: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 6.

Moreira e Ostermann (1993)	Apresentaram e discutiram como os livros texto de ciências, para o ensino fundamental e médio, abordam a questão do método científico e as concepções errôneas sobre o trabalho científico que os esses livros veiculam. Alertaram que os professores, embora muitas vezes não adotem livro de texto ou não se prendam exclusivamente a um deles, geralmente, se orientam pelos livros didáticos e transmitem aos alunos <i>uma visão bastante rígida, estruturada, de método científico.</i>
Iona (1999)	Discutiu o conceito físico de <i>peso</i> e afirmou que há, para este conceito, uma definição oficial (dada pela <i>ISO–International Organization for Standardization</i>) respaldada por cientistas de vários países, mas que não é surpreendente se encontrar muitas outras definições que são simplificações e tentam dar significado a certos pontos particulares nos textos didáticos, principalmente em textos introdutórios. Essas definições idealizadas, às vezes, acabam retendo um sentido em detrimento de outros e resultam em inconsistências. Mesmo entre os cientistas (físicos e geofísicos, por exemplo) existem distintas visões: para o físico peso de um corpo é a força aplicada sobre ele que deve fornecer a aceleração da gravidade naquele sistema de referências (o sistema de referência pode ser a Terra, a Lua ou qualquer outro planeta) enquanto o geofísico está preocupado com os efeitos da rotação da Terra e seu vocabulário reflete isso. Advertiu que ensinar que conceitos e teorias não são universais no sentido estrito da expressão é importante e exercita a reflexão.
Moura e Canalle (2001)	Discutiram os mitos passados pelos livros didáticos e argumentaram que por trás desses mitos existem muitas controvérsias não divulgadas e que a História da Ciência poderia esclarecer. Mitos como: a descoberta do Princípio de Arquimedes enquanto Arquimedes tomava banho; a descoberta do isocronismo

	do movimento pendular por Galileu ao observar o balanço de um lustre na Catedral de Pisa; ou, a descoberta da Gravitação Universal por Newton com a queda de uma maçã em sua cabeça, e tantos outros, são inverídicos, usados para atrair o leitor, mas acabam desvalorizando a ciência e passando uma idéia de que o conhecimento científico é o resultado da genialidade de alguns, fruto do acaso, e inacessível às pessoas comuns. Advertiram que seria proveitoso discutir as controvérsias por trás dos mitos, <i>treinando o estudante para saber discernir o fantasioso do real... e, passar uma idéia menos fantasiosa do trabalho dos cientistas.</i>
Niaz e Rodríguez (2002)	Afirmaram que os livros didáticos <i>raramente enfatizam as controvérsias que algumas teorias físicas tiveram no momento da sua propositura.</i> Sugeriram que <i>um debate útil para a sala de aula pode ser gerado discutindo as controvérsias que apareceram sobre os modelos atômicos tais como o modelo de Rutherford e de Bohr e as idéias de carga fracionária lançadas por Millikan e que deram origem à teoria dos quarks.</i> Advogaram que a discussão dessas controvérsias deve fazer parte do currículo de ensino em ciências, pois a reconstrução de tais episódios fornece o contexto em que as teorias e modelos foram desenvolvidos; estimula os alunos a compreenderem o que está sendo ensinado e passa a idéia de que a controvérsia e o debate são partes integrantes do progresso científico.
Medeiros e Monteiro (2002)	Fizeram uma análise de 31 livros de texto de Ensino Médio e identificaram que a crença de que a aceitação histórica da teoria copernicana se deu pela publicação do <i>De Revolutionibus</i> , 1543, é um equívoco. Argumentaram que o desenvolvimento da Astronomia e a construção da Mecânica Newtoniana foram contribuições decisivas para sua aceitação. Os livros de texto analisados omitem a existência dos pressupostos teóricos de Copérnico; difundem uma visão equivocada de que a principal dificuldade enfrentada pela teoria copernicana teria sido de caráter religioso; <i>deixam de lado objeções de natureza física e filosófica; e as observações realizadas por Galileu, em geral, são vistas como “provas inquestionáveis” inseridas numa perspectiva empirista de validação da teoria.</i> Consideraram que <i>toda a problemática histórica está longe de ser minimamente considerada nos textos didáticos</i> e que, em geral, os livros de texto analisados mostram um completo descaso para com os pressupostos, as críticas, a provisoriedade e temporalidade histórica da teoria copernicana e contribuem para uma visão distorcida e linear do desenvolvimento científico.
Muñoz Bello e Bertolomeu Sánchez (2003)	Contrastaram os resultados de trabalhos de caráter histórico sobre Avogadro e suas contribuições para a teoria atômica, com a imagem de Avogadro passada pelos livros texto. Constataram que os livros de texto, ao considerarem que a solução do problema dos pesos atômicos está limitada pela aceitação da hipótese de Avogadro, ignoram fatos como: a pouca difusão de seus trabalhos e sua posição periférica na comunidade científica da sua época, e a indiferença com que suas idéias foram acolhidas por seus

	<p>contemporâneos. A imagem atual oferecida pelos livros de texto contrasta fortemente com outra história; os livros de texto preferem narrar a história de forma a se obter vantagens didáticas, facilitar a compreensão das relações volumétricas de reações químicas (ex: a composição da água) e a representação através de formulas e equações químicas. Uma postura que conduz à percepção da atividade científica como uma empresa individual, que avança através de inspirações geniais que conduzem a novos descobrimentos e novas leis e teorias. Destacaram que a História da Ciência não se limita a fornecer nomes e datas, mas deve cumprir uma função pedagógica relevante.</p>
Paruelo (2003)	<p>Analizou e advertiu que os exemplos introdutórios de conteúdos e de atividades sugeridas em livros de texto de ciências evidenciam como a transposição didática deixa de lado as questões epistemológicas e apontou esse fator como uma das causas que dificulta a convergência entre a teoria do cientista, e teoria ensinada pelo professor e a teoria aprendida pelo aluno. Afirmou que a Epistemologia é uma ferramenta necessária e útil para o desenvolvimento de novas estratégias de ensino de ciências e que o interesse e a quantidade de pesquisas tem crescido nessa linha, buscando melhorar o ensino de ciências, não apenas nos países desenvolvidos como também em vários países de baixo desenvolvimento tecnológico. Alertou que os professores devem ter uma formação em Filosofia da Ciência para: <i>a) sustentar com seus alunos discussões com um nível razoável de profundidade em certos temas (...); 2) analisar os pressupostos que está assumindo em suas aulas ou em seus textos quando ensina alguma teoria...</i>, e advogou que filósofos da ciência deveriam integrar os grupos de pesquisa em ensino de ciências, procurando detectar concepções epistemológicas inadequadas no processo de transposição didática.</p>
Silva (2007)	<p>Fez um resgate histórico da evolução da teoria ondulatória da luz e afirmou que os livros de texto fazem uma reconstrução <i>a posteriori</i> e, normalmente, uma leitura histórica cristalizada. Discutiu a <i>significativa alteração da Teoria Ondulatória da Luz (do modelo mecânico para o modelo eletromagnético)</i> dos últimos séculos e alertou que os professores de Física devem manter uma atitude crítica em relação aos livros de texto, que tendem a se manter por muito tempo congelados, sem incorporar os resultados das novas pesquisas visando uma interpretação atual dos conceitos.</p>
Abd-El-Khalick, Waters e Le (2008)	<p>Avaliaram as representações da natureza da ciência contidas em livros de texto de Química de escolas secundárias nos EUA e a extensão em que esses aspectos mudaram nas últimas quatro décadas. Analisaram 14 livros de texto, incluindo cinco séries e cobrindo quatro décadas. Os livros analisados foram classificados por tipo de série e por ano de publicação, segundo um sistema de pontuação que foi de +3 pontos (quando as representações da natureza da ciência eram explícitas, contextuais e consistentes) e até -3 pontos (quando as representações eram ingênuas e explícitas). Obtiveram que os livros de texto saem-se mal nas suas representações da natureza da ciência e, adicionalmente, com</p>

	poucas exceções, esses pontos não têm mudado com o passar das décadas. Advertiram que essa tendência é inconsistente com os discursos de reforma do ensino de ciências, a nível nacional e internacional, que têm presenciado, no mesmo período, uma ênfase crescente na natureza da ciência com vistas a uma efetiva alfabetização científica.
--	---

Os artigos classificados nesta categoria mostram que os livros texto de Física propagam de forma acrítica mitos (inverídicos) e acabam desvalorizando a ciência (Moura e Canalle, 2001); não discutem as controvérsias que as teorias apresentaram na sua propositura (Niaz e Rodríguez, 2002); fazem uma reconstrução *a posteriori*, uma leitura histórica cristalizada e retêm um sentido (dos conceitos físicos) em detrimento de outros (Iona, 1999; Silva, 2007); narram a História da Ciência de forma superficial e privilegiam um ensino de Física através de formulas, equações e cálculos (Muñoz Bello e Bertolomeu Sánchez, 2003); deixam de lado questões epistemológicas (Paruelo, 2003); supervalorizam a observação e desconsideram a existência de pressupostos teóricos ao abordar historicamente tópicos da Física (Medeiros e Monteiro, 2002) e veiculam uma visão errônea, rígida e estruturada de “método científico” (Moreira e Ostermann, 1993). Essa tendência é comum também em outras disciplinas, como na Química, em que os livros de texto têm passado visões ingênuas sobre a natureza da ciência e tem se mantido nas ultimas quatro décadas (Abd-El-Khalick, Waters e Le, 2008).

A literatura alerta para que os professores de Física mantenham uma atitude crítica em relação aos livros de texto, que tendem a se manter por muito tempo congelados, sem incorporar os resultados das novas pesquisas, bem como uma interpretação mais atual dos conceitos físicos, que evoluem com o tempo.

2.8 Artigos sobre a tendência atual da Pesquisa em Ensino de Física e outros aspectos relacionados com o ensino de Física

Quadro 2.10: Identificação e texto condensado dos artigos agrupados na Categoria 8.

Rezende, Ostermann e Ferraz (2009)	Apresentaram um mapeamento do estado da arte da produção recente no Brasil sobre o ensino de física. A análise procurou distribuir todos os trabalhos publicados no período 2000-2007 em temáticas e mostrou que a produção se concentra no ensino-aprendizagem, com ênfase nos aspectos cognitivos do ensino-aprendizagem de Física. Segundo a análise, apenas 18 trabalhos
------------------------------------	--

	publicados no período foram incluídos na temática Filosofia, História e Sociologia da Ciência no ensino de Física (frente um total de 100 trabalhos na temática Ensino-Aprendizagem). Obtiveram que essa ênfase <i>esconde concepções que deveriam ser problematizadas, como por exemplo, a visão da Física como uma ciência exclusivamente experimental, a visão empirista da ciência e da aprendizagem, na medida em que os trabalhos apostam muitas vezes na demonstração do fenômeno físico como meio suficiente para construção do conhecimento.</i>
Pena e Ribeiro Filho (2009)	Apresentam um estudo com base na análise de relatos de experiências pedagógicas publicadas em periódicos nacionais no período 2000-2006, sobre o uso da História da Ciência como didática após a implantação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM). Os PCNEM ressaltam como uma dimensão para o ensino de Física a contextualização sociocultural, ou seja, percepção do saber científico e tecnológico como construção humana, histórica, social e cultural. Foram examinados oitenta relatos de experiências no período e apenas cinco se encaixaram na <i>linha temática História da Ciência</i> , segundo os autores. Concluíram que <i>apesar das orientações curriculares dos PCNEM, parece que a referida abordagem ainda não foi traduzida, de forma significativa, em termos de experiências didáticas.</i>

Dois artigos dentre o rol que selecionamos realizaram uma análise de trabalhos publicados em periódicos nacionais no período 2000-2007 e obtiveram que a pesquisa em Ensino de Ciências está concentrada no ensino-aprendizagem, com ênfase em aspectos cognitivos do ensino e aprendizagem da Física, que essa ênfase acaba por obscurecer outros aspectos que, em geral, não são abordados *como a natureza do conhecimento* (Rezende, Ostermann e Ferraz, 2009). Os relatos de experiências pedagógicas sobre o uso da História da Ciência como didática após a implantação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) indicaram que essa dimensão ainda não foi introduzida de maneira potencial no Ensino de Física (Pena e Ribeiro Filho, 2009).

A revisão da literatura revelou a existência de uma riqueza enorme de trabalhos que argumentam em favor da inclusão da natureza da ciência nos currículos escolares e nos cursos de formação de professores de ciências como ferramenta potencialmente útil para a melhoria do ensino de ciências. A literatura oferece, no entanto, tênues evidências de uma efetiva contribuição da Epistemologia contemporânea na transformação das práticas didáticas dos professores de ciências, pois aparecem em número reduzido artigos que

tentam relacionar as visões epistemológicas às práticas docentes e à melhoria do ensino de Física, e de ciências em geral.

A literatura também indica que existem variados fatores por que uma efetiva alfabetização científica não tem se transformado em realidade de sala de aula em grande número de países, como: persistem práticas de ensino tradicionais entre os professores de ciências, em especial de Física; é privilegiado o conteúdo, o currículo focado nos exames de ingresso ao ensino superior, os cálculos, a matematização da Física, ficando a evolução conceitual e a reflexão crítica em segundo plano; imagens distorcidas e, em geral, ingênuas da natureza da ciência são passadas à população por programas de televisão, por livros infantis e também por livros de texto de ciências e essa tendência tem se mantido persistente com o passar das décadas. Assim, propagam-se representações sociais equivocadas da ciência e sua influência na vida das pessoas. Os cursos de Licenciatura em ciências têm conservado como *núcleo duro* (em uma concepção lakatosiana) uma formação tradicional e pouco flexível às novas visões da natureza da ciência, postura que contribui para a propagação de uma forma também tradicional de ensinar.

A esperança parece ficar por conta das inúmeras propostas pedagógicas e da divulgação e análise de seus êxitos e dificuldades, que fornecem uma gama de possibilidades aos professores dispostos à transformação e que de fato se valem dos resultados da pesquisa em Ensino de Ciências.

Capítulo 3

REFERENCIAL TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

O referencial teórico-epistemológico adotado nesta tese está baseado em um conjunto de visões epistemológicas propostas ao longo do século XX que, inicialmente contrapondo-se à filosofia *empirista-indutivista*, passaram a oferecer novas e diversificadas explicações sobre a natureza da ciência e sobre o trabalho dos cientistas. Neste trabalho, chamamos a esse conjunto de idéias de “visões epistemológicas contemporâneas” e, ocasionalmente, utilizaremos a sigla VECs.

As idéias propostas por diferentes Filósofos da Ciência, embora valiosas, não são desenvolvidas *em forma de teorias propriamente ditas* (Bunge, 2008, p. 25) porque abordam certas características do nosso conhecimento, a natureza, o discurso científico, os processos, a validade, os aspectos semânticos, etc., que não podem ser investigadas por meios objetivos com o fim de pôr em prova tais *teorias*. Por esta razão, são tratadas nesta tese como “posturas” ou “visões”.

O argumento por que optamos por uma variedade de posturas teórico-epistemológicas centra-se no fato de que esta tese descreve e interpreta um conjunto de estudos etnográficos buscando vislumbrar a influência de “visões epistemológicas contemporâneas” na transformação das concepções e das práticas didáticas de professores e de futuros professores de Física, lecionadas na graduação e na pós-graduação, em disciplinas de Epistemologia que abordaram esse mesmo leque de visões, oferecendo-lhes oportunidades de discussões e reflexões críticas.

Essa estratégia não é tão recente como se poderia imaginar. Aguirre, Haggerty e Linder (1990), por exemplo, desenvolveram uma pesquisa sobre as concepções da natureza da ciência de professores secundários e obtiveram que eles não tinham concepções adequadas e, que pode haver uma conexão entre as visões epistemológicas dos professores e suas concepções de ensino e aprendizagem de ciências. Nessa perspectiva, recomendaram um tratamento mais formal das visões de diferentes Filósofos da Ciência na formação dos professores. Também chamaram a atenção para que fosse enfatizada a importância dos reflexos dessas visões nas suas (futuras) práticas didáticas.

Trata-se, portanto, de apresentar aqui um espectro de posturas epistemológicas, não de assumir um ecletismo epistemológico.

3.1 Um pouco de História da Epistemologia

Epistemologia é o ramo da Filosofia cujo objetivo é o estudo do conhecimento (*episteme*, do grego, conhecimento), mas é usual associá-la ao conhecimento científico dizendo-se que visa estudar criticamente a natureza, os princípios, a justificação, a validade e o alcance da ciência, ou seja, uma Filosofia da Ciência. O termo *filosofia* remonta à Grécia Antiga que testemunhou o surgimento de uma perspectiva cognitiva que ia além do conhecimento dos objetos por questões de sobrevivência, estava em busca do conhecimento pelo conhecimento (*filósofos*, os que buscavam a sabedoria). A busca do saber pelo saber foi incorporada ao que hoje chamamos *ciência*. O termo *ciência* é recente, foi consolidado no século XX, mas a ciência é muito antiga. Por volta do século XVII era chamada de *filosofia natural*, pois não se distinguia a ciência da filosofia. *Ciência* passou a expressar o conhecimento dos fenômenos naturais, dos números, das figuras geométricas, etc. e a assumir uma caracterização geral, ahistórica e um ideal de universalidade. No sentido contemporâneo, o significado de *ciência* é bastante abrangente, divergente desse ideal, e será abordado ao longo deste capítulo.

A Epistemologia é, assim, uma ciência da ciência baseada grandemente na História da Ciência, pois se empenha em mostrar que os conceitos científicos possuem uma história que os integrou à linguagem científica. A Filosofia da Ciência, ou Epistemologia, propõe-se a responder questões como: o que é ciência? Como alcançamos o conhecimento científico? Qual é a natureza das leis e teorias científicas? Existe um método universal e imutável ou princípios, fixos e universais, para se fazer ciência? Como avança o conhecimento científico? O que distingue o conhecimento científico de outros tipos de conhecimento? O que caracteriza o trabalho do cientista? E outras mais, nessa linha.

Neste trabalho focamos a Filosofia da Ciência na perspectiva da Física, ou Epistemologia da Física. A Física, especialmente devido ao seu extraordinário avanço como empresa objetiva e progressista, serviu de paradigma para muitos Filósofos da Ciência do século

XX, até porque, vários desses filósofos tinham formação inicial em Física. Alguns filósofos e cientistas contemporâneos, todavia, passaram a criticar essa tendência fisicalista da Filosofia da Ciência tradicional, especialmente com relação a controvérsias sobre os sistemas adequados de classificação biológica. Este é, seguramente, mais um argumento importante por que procuramos pluralizar a abordagem teórico-epistemológica, incluindo visões concordantes e complementares e outras discordantes. Ao longo deste texto, e sem perda de precisão, utilizaremos os termos Epistemologia e Filosofia da Ciência com o mesmo significado.

A Física e a Filosofia conviveram desde seu nascimento: às vezes misturadas, outras vezes cooperando entre si e frequentemente lutando uma contra a outra, na opinião do filósofo da ciência Mario Bunge (2000, p. 9). Para Feyerabend (1989, p. 20), a história da ciência não consiste apenas de fatos e de conclusões retiradas dos fatos. Contém, a par disso, idéias, interpretações de fatos, problemas criados por interpretações conflitantes, erros, e assim por diante. Bachelard (1973, p. 221) asseverou que ao se fazer um relato contínuo dos acontecimentos, se crê poder reviver facilmente ditos acontecimentos, na continuidade do tempo e se dá insensivelmente a qualquer história a unidade e a continuidade de um livro. (...) não se aproveita a extraordinária sensibilidade dialética que caracteriza a história das ciências. Lakatos (1993, p. 134), parafraseando Kant, afirmou que a filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega, e advertiu que a historiografia da ciência deveria aprender com a Filosofia da Ciência, e vice versa. O biólogo Ernst Mayr (2005) fez uma severa crítica à Filosofia da Ciência tradicional, por entender que os problemas dessa Filosofia não podem ser resolvidos pela lógica. Considerou que a Biologia, assim como várias outras ciências, distingue-se das ciências físicas, tomadas como paradigma pela maioria dos filósofos da ciência do século passado, desde seus princípios básicos e metodológicos até sua influência na visão de mundo do homem atual. Essa diversidade de visões enriquece o debate, e torna a Epistemologia uma fonte rica de idéias para as discussões de estudantes e professores, conferindo-lhe potencial para a reflexão crítica.

Sob esse escopo, adotamos como referencial teórico-epistemológico desta tese, como referido anteriormente, uma diversidade de posturas que representam as idéias de alguns dos principais filósofos da ciência que ganharam destaque no século passado, a saber: Karl Popper (1982), Thomas S. Kuhn (1978), Imre Lakatos (1993), Gaston Bachelard (1988),

Larry Laudan (1977), Humberto Maturana (2001), Paul Feyerabend (1989), Stephen Toulmin (1977) e Mario Bunge (1960). Visões como as de Ernst Mayr (2005), David Bohm (1998) e Ilya Prigogine (1996) serão abordadas como referências adicionais, e também algumas visões epistemológicas mais recentes como as de Timothy Lenoir (2003), Ian Hacking, (1983) e Nancy Cartwright (1983).

Essa é uma das principais características da Epistemologia contemporânea: a multiplicidade de escolas, ora similares e complementares, ora contraditórias e até excludentes.

É possível dizer, em grandes linhas, que a Filosofia da Ciência precisou avançar para acompanhar a ciência do século XX, em seu excepcional progresso. Com isso teve de rediscutir o ideal de universalidade e ahistoricidade dos seus métodos e normas, a racionalidade, o papel da observação e experimentação, levando em conta a interação entre o homem atual, seus conceitos e o mundo onde vive.

Resgatando um pouco as raízes da Epistemologia, pode-se dizer que para o historiador o pensamento científico tem um lastro filosófico; enquanto, para o epistemólogo, o desenvolvimento histórico do conhecimento tem sido acompanhado de perto pela Filosofia da Ciência, desde o alvorecer do pensamento filosófico, nas suas origens gregas. Platão (427-347 a.C.) criou dois planos para suas idéias filosóficas: um das idéias absolutas, permanentes e incorruptíveis e, outro, histórico, onde se desenvolvem as ações humanas, por sua natureza, imperfeitas. Deixou como herança para Aristóteles uma filosofia de além mundo e uma fé nas virtudes especiais das relações lógicas, na sistematicidade lógica. Aristóteles (384-322 a.C.), discípulo de Platão, redirecionou suas reflexões para os fatos concretos, aplicou a observação a suas pesquisas e estabeleceu as bases do método indutivo (Caldera, 2007).

Permitindo-nos dar um saldo da filosofia grega para o pensamento moderno reencontramos categorias trabalhadas pelos gregos e transformadas pelos novos tempos. Descartes (1596-1650) gerou uma verdadeira revolução filosófica ao relatar a experiência de seu próprio pensamento: duvidou de tudo o que não fosse comprovado pela razão (o senso comum, a influência histórica da tradição, o pensamento precipitado e acrítico). Sua célebre frase “*penso logo existo*” expressa a idéia de descoberta do sujeito pensante sobre sua própria

existência, da *dúvida sistemática* à certeza da existência do sujeito que pensa. Descartes buscou uma base sólida para alicerçar o conhecimento e priorizou a razão, o sujeito pensante, o pensamento que calcula, que possibilita conhecer as propriedades quantitativas, enquanto os sentidos captam as propriedades qualitativas da realidade exterior. Separou, assim, o sujeito pensante e produtor de conhecimento do objeto, rompeu com a tradição aristotélica e com o pensamento escolástico, que dominou a filosofia no período medieval buscando harmonizar determinados princípios da filosofia grega com a doutrina cristã. Dessa postura de Descartes surgiu o *racionalismo*, a *razão essência do ser e do existir*, nas palavras de Caldera (2007). Galileu Galilei (1564-1642) impulsionou a revolução filosófica e científica incorporando dois elementos essenciais para a ciência moderna: a indagação experimental empírico-indutiva e a reflexão racional hipotético-dedutiva. Galileu Galilei e Isaac Newton, pioneiros da Revolução Científica que se iniciou no séc. XVII, fundaram uma filosofia da natureza, uma representação da realidade empírica, em que os fenômenos são regidos por leis naturais. O resultado dessa postura difundiu a idéia de uma ciência totalizadora da ordem da realidade.

Nesse espírito, o *Novum Organum*, obra do filósofo Francis Bacon (1561-1626), enfatizou o *método da indução* nas ciências naturais. Bacon foi chamado por muitos de "fundador da ciência moderna", e se ocupou especialmente do "método científico" e do "empirismo". Defendeu que a ciência começa com a observação do mundo, em vez da intuição, fé ou afeto, que contaminam o entendimento; o cientista registra cuidadosamente aquilo que observa, consistindo esse processo no fundamento do *empirismo*; os enunciados observacionais formam a base a partir da qual as leis e teorias que constituem o conhecimento científico devem ser obtidas; através da observação de eventos particulares, induzem-se teorias científicas gerais.

Como Bacon, muitos de seus contemporâneos passaram a ver a observação e a experimentação como fonte do conhecimento científico. O filósofo inglês John Locke (1632-1704) defendeu a teoria da "tabula rasa" (do latim "folha em branco") ao afirmar que todas as pessoas nascem sem saber absolutamente nada e aprendem, em particular os cientistas, através da experiência, dos sentidos e da cuidadosa e meticulosa observação do mundo.

Esse tipo de explicação da natureza da ciência ficou conhecido como filosofia *empirista-indutivista*. Segundo Chalmers (1999), essa visão da ciência começa com a observação e deriva as explicações dos fenômenos através da *lógica indutiva*, ou seja, *nos leva de uma lista finita de afirmações singulares para a justificação de uma afirmação universal, levando-nos do particular para o todo (...)* (op. cit., p. 27).

Immanuel Kant (1724-1804) em *Crítica à Razão Pura* considerou que o ponto de partida do conhecimento é a experiência, mas que o conhecimento não deriva dela. Há um elemento que procede da experiência (*a posteriori*) e outro que procede do pensamento (*a priori*). Segundo Bastos e Candioto (2008), a experiência proporciona o dado sensível que o pensamento, a razão ordena e organiza em conceitos; outra função da razão é deduzir conceitos universais como causa, ordem, uniformidade, substância sobre as sensações, mediante juízos sintéticos *a priori* que existem no nosso *eu transcendental*. Para Kant, a razão pura é aquela que contém certos princípios para conhecer algo absolutamente *a priori*. Esses juízos são universais e permitem estabelecer relações, formular leis, interpretar o mundo sensorial. Torna-se possível, dessa forma, a ciência. O *apriorismo* de Kant é um racionalismo “*sui generis*”, pois a razão projeta os princípios sobre a realidade e não o contrário. Kant fez, assim, da razão um valor universal.

Da adequação entre os conceitos puros do entendimento e a heterogeneidade da realidade surgiu uma divisão entre as ciências formais (fundadas na Lógica e na Matemática) e as ciências empíricas (fundadas na indução a partir da observação). O filósofo da ciência contemporâneo Mario Bunge (1960, p. 10) vai por essa linha ao sugerir que a ciência se divide em *ciência formal*, onde se incluem a Lógica e a Matemática, pois embora produtoras de conhecimento racional, sistêmico e verificável os seus objetos de estudo são entes abstratos, não fornecem informações sobre a realidade; e *ciência fática*, categoria em que se formulam e se verificam hipóteses (construções humanas), geralmente provisórias, a respeito de fatos, fenômenos ou objetos materiais.

Sob essa perspectiva, abriram-se novas possibilidades na busca de uma unidade do saber através da formalização das ordens empíricas. O projeto positivista surgiu sob esse escopo. Impulsionado pelo desenvolvimento industrial e comercial de meados do séc. XIX e, acompanhado pela “descoberta” de novas leis físicas foi se desenhando o *ideal de uma*

teoria científica como nova orientação filosófica (Bastos e CandiOTTO, 2008, p. 25). Um ideal que produziu frutos na França.

Foi nesse país que o positivismo teve início com Auguste Comte (1798-1857), que partiu de um dogma fundamental: só o positivo é objeto da ciência. E o positivo é aquilo que pode ser experimentado. A convicção de que o homem podia arrancar da natureza os seus segredos e sistematizá-los levou cientistas e filósofos a saírem em defesa do “método científico”, entendido como *uma rígida sequência de passos que começa com a observação e culmina em uma conclusão/descoberta...* (Moreira e Ostermann, 1993). Nas palavras de Bunge (1960, p. 47), *uma lista de receitas para obter respostas corretas a perguntas científicas*, segundo o entendimento positivista.

Entretanto, assevera Leff (2002, p. 23), *durante o século XIX e início do XX, produzem-se as rupturas epistemológicas que fundam o conhecimento científico dos processos biológicos, históricos (...), questionando o projeto de unificação do conhecimento (...)*. O real passou, gradualmente, a ser visto como processos materiais diferenciados e com isso afloraram distintos campos de pesquisa.

Além de grandes desenvolvimentos em todos os ramos da ciência, segundo Ronan (2001), ocorreu no séc. XIX o surgimento de sociedades científicas especializadas. A ciência começou a apresentar um aspecto mais público, na medida em que suas consequências práticas se tornavam mais presentes na vida das pessoas. Foi em 1840, em Glasgow, que surgiu o termo “cientista”, na Associação Britânica para o Progresso da Ciência. A Associação Americana para o Progresso da Ciência foi criada em 1848 e nesse mesmo período as publicações especializadas ganharam um ritmo mais acelerado.

Quando Charles Darwin (1809-1882) publicou sua obra *Origem das Espécies* (1859), onde ofereceu uma explicação para a mudança das espécies por meio da *teoria da evolução* e da *seleção natural*, (...) *ele fez pela Biologia o que Newton tinha feito pela Física - aplicou uma lei natural para correlacionar grande quantidade de evidências diversas*. Não havia mais a necessidade de um ato de criação divina para dar origem às diferentes espécies e com isso (...) *tornou o conceito de evolução cientificamente respeitável* (op. cit., p.15).

Essa perspectiva materialista, contudo, não erradicou o projeto idealista de unificação do saber: surge nas primeiras décadas do século XX o *positivismo lógico* ou *neopositivismo* do Círculo de Viena.

No início do século passado houve grandes desenvolvimentos na Física e na Matemática. A Teoria da Relatividade e a Física Quântica passaram a exigir novas formas de ver o mundo. Os conceitos de espaço e tempo, substância, causalidade, probabilidade foram depurados. O “espaço absoluto” e o “tempo absoluto” foram superados pela Teoria da Relatividade; com base na Teoria Quântica a noção de leis da natureza foi substituída por leis estatísticas e a noção de regularidade dos fenômenos em nível microscópico foi posta em dúvida, assim como o princípio da conservação da matéria foi substituído pelo princípio da conservação da energia. O desenvolvimento tecnológico permitiu a construção de novas aparelhagens que resultou no surgimento de novas especialidades e na criação de novos fenômenos. Tudo isso gerou uma crise, nos moldes kuhnianos. Mas Kuhn (2003, p. 103) afirma que *em geral, nem os problemas nem os quebra-cabeças* (apresentados por um paradigma, ou uma teoria) *cedem ao primeiro ataque*.

Assim, a partir de 1910, pensadores como Hans Hahn, Phillip Frank, Otto Neurath, R. Carnap, K. Gödel, G. Bergmann, entre outros simpatizantes, constituíram em Viena, na Áustria, um grupo que ficou conhecido como o *Círculo de Viena*. Através do *Manifesto do Grupo de Viena*, de 1929, tornaram-se públicas suas idéias: o trabalho científico consiste no esclarecimento de problemas que demandam uma explicação e o método é a *análise lógica*. Este método distingue o positivismo do empirismo antigo. O *método de análise lógica* é que torna acessível o significado de conceitos e sentenças da ciência empírica, ou seja, da linguagem utilizada na ciência, revelando o seu conteúdo observável, o “dado” da experiência sensível. O aspecto “positivo” dessa concepção é a definição de proposições sustentáveis, mediante o uso correto das leis da lógica. O positivismo atribui, portanto, enorme valor às *generalizações indutivas* na construção do conhecimento científico. A concepção positivista do mundo não admite conhecimentos incondicionalmente válidos a partir da razão pura, dos “juízos sintéticos *a priori*” kantianos ou da metafísica.

Para os positivistas nada é possível saber através da razão pura. Apenas a pesquisa empírica pode mostrar regularidades ou não. Conceitos científicos devem ser definidos a partir de experiências que garantam um sentido empírico. A metafísica e o pensamento

especulativo estão eliminados do fazer científico por se referirem a entes ideais, que estão além das experiências. O *critério da verificabilidade* demarca os limites da ciência e da metafísica (um enunciado S tem significado empírico, se, e somente se, não é analítico e se deduz logicamente de uma classe finita e logicamente consistente de enunciados observacionais).

O Círculo de Viena direcionou seu interesse maior à Física porque nela o progresso era mais rápido e notório, embora as questões metodológicas interessassem a todos os ramos da ciência. Foi um período fortemente marcado pelo fisicalismo e pelo ataque à metafísica. O projeto fisicalista do Círculo de Viena consistia na construção de uma *linguagem unificada*, que se referia às coisas físicas e seus movimentos no espaço e no tempo, assim como à psicologia condutivista, por exemplo, e que seria *universal* e *ahistórica*. Universal no sentido de que pretendia aplicar-se a todas as afirmações da ciência por igual. Ahistórica no sentido de que se aplicaria às teorias do passado e igualmente às do presente e do futuro.

Nesse contexto, destacam-se duas escolas concorrentes que tentam explicar como o conhecimento é possível: o “racionalismo” atribui à razão o meio para se chegar ao conhecimento, pressupondo que o homem nasce com certas idéias inatas; o “empirismo”, sustenta que a observação e a experimentação, através dos sentidos ajustados pelos instrumentos, são responsáveis pela aquisição do conhecimento.

Houve reações e grandes críticos ao Círculo de Viena. Karl Popper foi, por assim dizer, o crítico oficial do *empirismo-indutivismo* e marcou a retomada do interesse pela tradição filosófica. Depois dele, e ao longo do séc. XX, vários outros filósofos da ciência propuseram novas e diferentes visões sobre o processo da ciência.

Algumas dessas visões serão sumarizadas no item que se segue e a elas faremos referência ao longo deste trabalho como as “visões epistemológicas contemporâneas” ou “VECs”, como já referido.

Esse era o panorama, do ponto de vista epistemológico, até as primeiras décadas do séc. XX. Acreditava-se que a ciência se distingue da pseudociência ou de quaisquer outras formas de conhecimentos pelo uso do *método empírico* da Física, que segundo Chalmers

(1999), consistiria na *coleta de dados por meio de cuidadosa observação e experimentação e da subsequente derivação de leis e teorias a partir desses dados por algum tipo de procedimento lógico* (op. cit., p. 18). Para os empiristas, o procedimento lógico que permitia derivar leis e teorias a partir dos dados empíricos era a *lógica indutiva*. Assim, o *indutivismo* defendia que a ciência começa com a observação e experimentação; que o *método científico* permite registrar fielmente o que se pode ver, ouvir, etc., de forma a possibilitar afirmações a respeito do mundo não-preconceituosas. As afirmações a que se chega dessa forma são chamadas *afirmações singulares*, pois se referem a uma ocorrência específica, a um fenômeno dado ou a um estado de coisas. Os indutivistas argumentavam que é legítimo *generalizar* leis e teorias *universais* a partir de *afirmações singulares*.

Se um grande número de As foi observado sob uma ampla variedade de condições, e se todos esses As observados possuíam sem exceção a propriedade B, então todos os As têm a propriedade B (Chalmers, 1999, p. 27).

O esquema *indutivista* era completado pela *dedução*, ou *lógica dedutiva*. Uma vez obtidas as leis e teorias universais a partir da observação seria possível, considerando que as condições iniciais fossem cuidadosamente descritas, derivar delas consequências lógicas (leis e teorias), que serviriam como explicações ou previsões.

Chalmers (op. cit., p. 28) utiliza um exemplo simples para fazer compreender esse esquema: *dado o fato que os metais se expandem quando aquecidos, é possível derivar o fato de que trilhos contínuos de ferrovias não interrompidos por pequenos espaços se alterarão sob o do Sol. O tipo de raciocínio envolvido em derivações dessa espécie chama-se raciocínio dedutivo*.

Chalmers (ibid.) oferece um esquema para a filosofia *empirista-indutivista*:

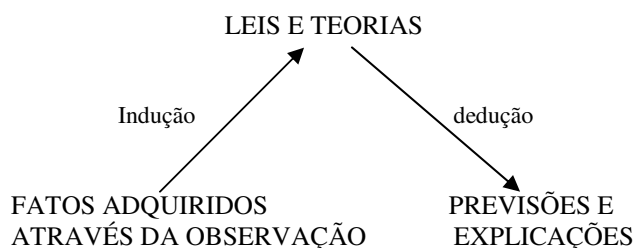


Figura 3.1: Esquema apresentado por Chalmers (1999, p. 28) para a explicação *empirista-indutivista* da ciência.

Contudo, Chalmers (2006, p. 4), afirma que a estratégia positivista em defesa da ciência distinguindo-a da metafísica, ainda tem muitos adeptos que admitem que para defender a ciência faz-se necessário proporcionar uma concepção universal do *método científico* e apelar em tal defesa. Nesse aspecto, afirma (op. cit., p. 7) que há que se distinguir entre o rechaço de normas ou *método universal inalterado*, postura que ele abona, e o rechaço a quaisquer normas e métodos, postura da qual discorda. Esse autor, em sua obra mais recente, busca *captar o termo médio entre o método universal e o relativismo cético* numa tentativa, com a qual estamos de acordo, de distinguir a crença em um *método universal absoluto* daquilo que ele chama de normas e métodos contingentes sujeitos a mudanças e efetivamente implícitos em práticas científicas frutíferas.

Henri Poincaré (1854-1912) em uma concepção *convencionalista* sustentou que as hipóteses nascem da observação dos fatos, o conteúdo da ciência, se organizam por generalização dos inúmeros fatos particulares e devem ser condensadas em fórmulas simples, por necessidade de economia do pensamento. Asseverou, entretanto, que as leis possuem um valor provisório, um grau de probabilidade. Quando da aparição de novos fatos essas leis devem ser revisadas (Urdanoz *apud* Bastos e Candiotto, 2008, p. 26).

Lakatos (1993, p. 114) afirmou que *as novas hipóteses científicas se criam não só para preencher as lacunas entre os dados e a teoria senão para predizer fatos novos*. O aparecimento de novos experimentos, novas idéias, problemáticas rivais e programas de investigação em competição é, para esse filósofo da ciência, característica marcante da prática científica.

Vista retrospectivamente, como escreve o historiador da ciência Colin Ronan (2001, p.78), a ciência progrediu velozmente no século XX, de maneira que *um número cada vez maior de cientistas trabalha, usando um equipamento cada vez mais poderoso e sofisticado, e os resultados obtidos têm sido muitas vezes assombrosos e certamente teriam maravilhado as mentes mais imaginativas de gerações um pouco anteriores*. Ronan seleciona alguns aspectos que, de seu ponto de vista, marcaram o desenvolvimento científico do século passado: o vasto novo universo mostrado pela Astronomia (teorias sobre a evolução e fonte de energia das estrelas, sobre a origem do universo, o princípio das galáxias em expansão, e seu possível fim); a revolução provocada pela Teoria da Relatividade e pela Física Quântica que suscitaram o desenvolvimento da Física Nuclear; e os desenvolvimentos na

Biologia, cobrindo a fisiologia humana e animal, a hereditariedade e a evolução que conduziram à Biologia Molecular e à Bioquímica, que acabou por “unir”, por assim dizer, a Física, a Química e a Biologia.

Após a Segunda Guerra Mundial, os países ocidentais (Inglaterra, França e Estados Unidos) tomaram a dianteira na pesquisa da ciência pura, financiando custosos projetos de pesquisa. Esses projetos produziram um extraordinário progresso da ciência marcando um período de mudanças no panorama científico e tecnológico tão significativo, como jamais fora visto em qualquer outra época.

Segundo Trocchio (2005), a partir de 1945 a ciência da *vocação* transformou-se em *profissão*. Amparada pelo sistema de financiamento da pesquisa científica do pós-guerra adotado pelos Estados Unidos, e rapidamente difundido nos países ocidentais, tornou-se, segundo esse autor, a *big science* ou ciência dos grandes projetos.

Algumas visões epistemológicas mais recentes criticam a idéia de que a ciência esteve (ou está) sempre em busca do conhecimento desinteressado e autônomo sobre o mundo, o conhecimento pelo conhecimento, como um valor em si mesmo. Lenoir (2003) afirma que a ciência não é uma busca desinteressada pelo conhecimento e que este é necessariamente interessado, que a pesquisa científica é cada vez mais uma ocupação paga dentro, e também fora, da academia, dadas: as necessidades da indústria, as questões de distinção, prestígio, reconhecimento e luta por recursos econômicos e técnicos. *Desse ponto de vista, desinteresse e autonomia são idealizações artificialmente impostas sobre a prática de pessoas engajadas na construção do conhecimento científico* (op. cit., p.19). A luta por *status* na ciência é homóloga às relações dominantes de poder econômico, social e político. Por exemplo, durante a Guerra Fria, no início do Projeto Manhattan (1950-1960), os físicos desfrutavam de enorme prestígio nos Estados Unidos. Entre os acadêmicos, poucos estavam tão próximos do poder econômico e político quanto os físicos, que se tornaram líderes intelectuais e consultores do governo.

Toulmin (1977) também vai por essa linha. Ao fazer um paralelo entre disciplinas científicas e profissões, afirma que se verifica na ciência, assim como em qualquer esfera da vida humana, que alguns homens são mais iguais, isto é, adquirem maior influência e o direito de falar em nome da disciplina. Como consequência, toda vez que surge um novo

conceito, ou um conceito modificado por uma nova idéia, ele se tornará uma possibilidade se contar com a adesão dos membros mais influentes da profissão correspondente. Caso contrário, mesmo as boas idéias estarão condenadas a desaparecer. Na ciência, embora apresente uma imagem pública impecável, *o poder segue sendo o poder e a instituição segue sendo a instituição* (ibid.). Os homens e as instituições, advoga, exercem um poder e uma influência tão reais quanto na política e na vida cotidiana.

De qualquer modo, fica evidente que o enorme desenvolvimento da ciência do século XX impulsionou o debate e avanço da Epistemologia.

Segundo Leff (2002, p. 27), *o efeito do conhecimento de uma teoria científica é produto da articulação interna de seus conceitos, os quais são suscetíveis de desarticular-se e acoplar-se pela ação “livre” do cientista e do filósofo (...)*. Nesse sentido, questões relativas, por exemplo, ao caráter e à função do conhecimento experimental, à natureza do conhecimento científico, à existência, ou não, de um “método científico universal” produziram rupturas epistemológicas importantes.

Desde as primeiras décadas do século XX, como já referido, vários filósofos da ciência passaram a travar debates com os positivistas, onde as bases da doutrina *positivista* e *empirista-indutivista* foram sendo criticadas e desmontadas. Surgiram em seu lugar novas e diferentes posturas sobre a natureza, o processo e evolução do conhecimento científico.

Um conjunto dessas novas visões nos serviu de referencial teórico-epistemológico. Elas serão resumidamente apresentadas no item que segue.

3.2 Algumas “visões epistemológicas contemporâneas” (VECs)

As novas posturas teórico-epistemológicas, aqui chamadas de “visões epistemológicas contemporâneas” ou “VECs”, constituem uma nova maneira de conceber a natureza da ciência, seu “método” e sua evolução histórica.

Através delas passou-se a defender, em grandes linhas, que:

- a ciência é uma construção humana;

- o conhecimento científico não nasce da observação pura e ingênua;
- toda observação está carregada de pressupostos teóricos;
- as leis e teorias da Física, e da ciência em geral, têm natureza hipotética, conjectural;
- as leis e teorias não são verdades fixas e imutáveis, mas são aceitas provisoriamente até que apareçam novas e melhores explicações, com maior capacidade preditiva;
- os conceitos, as teorias, os modelos científicos evoluem com o desenvolvimento da ciência;
- o conhecimento científico não é linear e cumulativo, mas é marcado por controvérsias, erros e retificações;
- elementos não racionais como: imaginação, criatividade e intuição fazem parte do processo da ciência;
- não existe um *método científico* universal, ahistórico e algorítmico para se fazer ciência;
- distintas normas e procedimentos metodológicos podem estar implícitos em diferentes ramos da ciência;
- há competição entre teorias e programas de pesquisa nos diversos campos da ciência;
- aspirações pessoais dos cientistas e o contexto sócio-político-cultural interferem na ciência;
- as teorias não são descobertas, mas são propostas tentativamente e verificadas experimentalmente, em alguma medida;
- a ciência é uma atividade cooperativa;
- as comunidades científicas, os periódicos, os congressos e encontros estimulam e ao mesmo tempo filtram novas idéias científicas;
- a instrumentação e a técnica são fundamentais para a criação de novos fatos e para o avanço da ciência.

Como já mencionado, a principal característica das “visões epistemológicas contemporâneas” é a sua diversidade e por esse motivo cada visão que compõe este referencial teórico-epistemológico será aqui apresentada em separado e resumidamente.

Um ponto conflituoso na Epistemologia do século XX diz respeito à distinção entre ciência e não-ciência. O “racionalismo” afirma que há um critério único, atemporal e universal de racionalidade; o “relativismo” nega que haja um padrão de racionalidade universal não-histórico, em relação ao qual se possa julgar que uma teoria é melhor que outra (Chalmers, 1999, p.137/138).

Mais recentemente, fala-se em uma razão humanizada: *o conceito que a razão constrói não é uma categoria abstrata fruto de pura e exclusiva racionalidade, mas uma categoria complexa que resulta da reflexão, da intuição, da observação, da ação, da esperança e do compromisso* (Caldera, 2007, p. 17); e busca-se um *termo médio entre o método universal e o relativismo cético* (Chalmers, 2006, p. 9), tentando iluminar os embates sobre a natureza e o *status* da ciência.

Um dos pontos-chave que iniciou o debate entre o filósofo da ciência Karl Popper e os positivistas foi o *critério de demarcação* de enunciados científicos e pseudocientíficos. A crítica às generalizações indutivas (o *problema da indução*), o papel da observação e da experimentação, a proposição de uma nova visão da análise lógica e da natureza das hipóteses científicas foram outros itens de uma extensa pauta de críticas que Popper passou a empreender à estratégia positivista.

3.2.1 KARL POPPER

Karl Popper (1902-1994) foi o crítico oficial, como referido anteriormente, da filosofia *empirista-indutivista* ou *positivista*. Para ele, a indução não possui argumentos lógicos válidos porque não se pode usar a indução para justificar a indução. Esse tipo de argumento é circular e constitui o chamado *problema da indução*. É possível se obter indutivamente uma conclusão falsa a partir de premissas verdadeiras: a conhecida generalização *todos os cisnes são brancos* (Popper, 2000, p. 28) obtida a partir da observação de um grande número de cisnes, todos brancos, não garante logicamente que o próximo cisne a ser observado não seja preto o que tornaria a conclusão falsa ainda que a premissa inicial fosse verdadeira. Assim, a *indução* não se sustenta em bases lógicas.

Argumentou Popper que a opção teórica que o cientista faz para explicar certa classe de fenômenos não é uma questão de lógica, mas depende em grande medida dos seus pressupostos teóricos. Nesse sentido, toda observação está carregada de conhecimentos anteriores e expectativas, isto é, dois observadores que veem o mesmo fenômeno podem interpretá-lo diferentemente já que algum tipo de teoria sempre precede a observação e porque não há um caminho lógico, algorítmico que conduza à construção de teorias científicas. Silveira (1996) afirma que *as teorias científicas são construções que envolvem*

na sua origem, aspectos não completamente racionais, tais como, a imaginação, criatividade, intuição, etc..

Mais uma deficiência do princípio da indução usualmente apontada diz respeito à exigência de que um “grande número” de observações deve ser feito. A pergunta que surge de imediato é: quantas observações constituem um “grande número”? Não há respostas conclusivas para esta questão.

Outra questão que se coloca: a observação produz uma base segura da qual o conhecimento científico pode ser derivado? Críticas recentes sustentam que os sentidos podem nos enganar. O que um observador vê, por exemplo, não depende apenas das imagens sobre sua retina, mas depende, em parte, de sua experiência passada, das suas expectativas, do conhecimento anterior, das condições da observação, se assistida ou inassistida por instrumentos, e também de sua estrutura e correlações internas, como ser vivo.

Além disso, afirmou Popper, os *enunciados observacionais* sempre são feitos na linguagem de alguma teoria e nesse sentido a teoria precede à observação, o que solapa a afirmação *empirista-indutivista* de que a ciência começa com a observação.

Para Popper, a ciência é uma construção humana que se dá através de *conjeturas* e *refutações*, ou seja, através de hipóteses inventadas livremente para explicar e predizer fenômenos e que podem ser refutadas pela experiência. Propõem-se tentativamente *conjeturas*, salta-se para conclusões genéricas controladas por *experimentos falseadores* (que contradizem a teoria). Se a teoria é *falseada* deve ser abandonada. Se o teste resulta em comprovação da teoria então ela é *corroborada* e é submetida a testes cada vez mais rigorosos, sempre buscando falseá-la. Todo o teste genuíno de uma teoria é uma tentativa de refutá-la. A teoria que não proíbe certas coisas de acontecer (que não é refutável) não é científica. E mais, que teorias altamente falseáveis devem ser preferidas àquelas menos falseáveis.

A *falseabilidade* ou *testabilidade* é, segundo a proposta de Popper, o *critério de demarcação* entre o discurso científico e outros tipos de conhecimento, entre ciência e não-ciência. Mas mesmo falseáveis, as teorias científicas devem ser entendidas como tentativas sérias de descrever uma realidade objetiva. Nesse sentido Popper é um *realista*.

Não existe um *método científico universal* que possibilite provar ou desaprovar conclusivamente as teorias. O *princípio da verificabilidade*, segundo Popper, não é apropriado para demarcar a ciência da não-ciência porque a metafísica não é necessariamente carente de sentido, embora não seja uma ciência. Nas palavras de Silveira e Peduzzi (2006), *a epistemologia empirista é insuficiente para explicar a gênese do conhecimento, empobrece a história da ciência, induz a visões distorcidas da natureza da ciência e do empreendimento científico.*

Segundo a postura de Popper, não se justifica inferir *enunciados universais* a partir de *enunciados singulares*, mesmo depois de um grande número destes resultados singulares. Com isso, ele rejeita a *lógica empirista-indutivista* e *positivista* e assevera que a reiterada substituição de teorias científicas por outras cada vez mais satisfatórias se dá através de uma atitude crítica, o *racionalismo crítico*. O método da ciência é caracterizado pela discussão crítica do conhecimento científico produzido. As teorias, de natureza conjectural, assim como os falseamentos são passíveis de questionamentos, de críticas.

Uma teoria é preferível a outra quando nos diz mais, isto é, quando contém mais informação empírica ou mais conteúdo e, por esta razão, é logicamente mais forte por ter maior capacidade explicativa e maior poder de previsão. Uma teoria ousada é preferível a uma teoria trivial.

O progresso da ciência, para Popper, é um processo de *conjeturas* e *refutações*. Resulta da reiterada substituição de hipóteses falseadas por hipóteses melhores, porém sempre falseáveis. Quando falseada, a hipótese teórica é abandonada e substituída por outra mais satisfatória, que é novamente submetida a testes experimentais. Assim avança a ciência, para esse epistemólogo.

Uma limitação que se aplica ao *indutivismo* e também ao *falsacionismo* de Popper é que a observação e a experimentação não se constituem em base segura para o conhecimento científico porque os dados empíricos são falíveis, são sempre aproximações (são inexatos), ao passo que a teoria possui formulações absolutamente exatas. Mais críticas: os cientistas estão, na prática, muito mais interessados em mostrar que sua teoria está certa do que em provar a falseabilidade de teorias rivais; as teorias não são abandonadas diante da

constatação de desacordo com um enunciado observacional, o que os cientistas fazem é reproduzir os testes, pois pode ser que o dado observacional esteja errado, não a teoria.

3.2.2 THOMAS KUHN

Thomas Kuhn (1922-1996) foi um dos filósofos da ciência de maior destaque do século passado. Sua obra principal *A Estrutura das Revoluções Científicas* caracteriza-se por apresentar uma tendência histórica, onde a História da Ciência é tomada como fonte de fenômenos que muito podem informar sobre a natureza da ciência.

O que ocorre na ciência, na óptica de Kuhn, é que *os aspectos lógicos da racionalidade devem ser integrados nos contextos sócio-históricos do conhecimento, os quais, determinando “concepções de mundo” próprias de uma época ou de uma cultura, produzem, conforme as épocas e as culturas, paradigmas de racionalidades diferentes.* (Magalhães *apud* Bastos e Candioto, 2008, p.147).

Asseverou Kuhn que a comunidade científica trabalha com um corpo de hipóteses bem estabelecidas, com teorias em relação às quais os problemas em que se debruçam os cientistas ganham significado. Essas teorias baseiam-se em um *paradigma*: realizações normalmente reunidas em livros ou manuais, que possuem função normativa e cognitiva e que definem os problemas, as concepções, os padrões e os métodos legítimos e partilhados pela comunidade científica. Isso é, para Kuhn, o *paradigma*.

A ciência cresce através de um esquema dinâmico em que períodos de *ciência normal* baseados em dado *paradigma* são interrompidos por *revoluções científicas*. À medida que as novas teorias são aceitas pelos cientistas segue-se *nova ciência normal* apoiada em um *novo paradigma*.

Ciência Normal caracteriza, assim, o período de pesquisa baseada em realizações que são reconhecidas, durante algum tempo, por alguma comunidade científica. Para Kuhn, a ciência normal tem por objetivo central não a busca de novos fatos ou novas teorias, mas, em vez disso, pesquisa através da articulação dos fenômenos e teorias fornecidos pelo paradigma.

A articulação do paradigma tem três focos distintos:

- *investigação dos fatos significativos* que revelam a natureza das coisas de forma mais precisa e numa variedade maior de situações – são desenvolvidos esforços no sentido de aumentar a extensão do conhecimento sobre certos fatos; aumentar a precisão, a segurança e o alcance dos métodos que visam a redeterminação de categorias de fatos já conhecidos;
- *investigação dos fenômenos associados às predições do paradigma* – são desenvolvidos esforços no sentido de manipular a teoria levando-a a novas predições testáveis; criação de novos e aperfeiçoamento de aparelhos e novas tecnologias capazes de testar e medir com maior precisão.
- desenvolvimento de um gigantesco trabalho empírico para articular as teorias do paradigma, para resolver ambiguidades, para determinar constantes físicas universais de forma precisa e leis empíricas.

A *ciência madura* possui um único paradigma, é monoparadigmática. Através da ciência normal a comunidade de cientistas obtém sucesso solucionando quebra-cabeças e, muitas vezes, isolando certas dificuldades ou anomalias. Quando anomalias sérias se acumulam, com o desenvolvimento da ciência normal, elas podem levar o paradigma a uma crise. Se a crise culmina com a proposição de teorias radicalmente novas, novas técnicas, novas concepções, novos padrões, que possuem função normativa e cognitiva, ocorre o que Kuhn denominou de *revolução científica*.

Nas palavras de Kuhn (2003, p. 194), *a mudança de paradigma não pode ser justificada através de provas (...) as comunidades científicas seguidamente têm sido convertidas a novos paradigmas por persuasão*.

A antiga *ciência normal* e a nova *ciência normal* (gerada a partir de uma revolução científica) apresentam *incomensurabilidade*. Ostermann (1996) escreve que *durante o período de transição, o antigo paradigma e o novo competem pela preferência dos membros da comunidade científica, e os paradigmas rivais apresentam diferentes concepções de mundo*. São maneiras diferentes de ver o mundo, por isso são incomensuráveis. No entanto, incomensurabilidade não implica, segundo Kuhn (1989, p. 99), em incomparabilidade. *Afirmar que duas teorias são incomensuráveis significa*

afirmar que não há nenhuma linguagem, neutra ou de qualquer outro tipo, em que ambas as teorias, concebidas como conjuntos de enunciados possam ser traduzidas sem sobra ou perda. Nem em sua forma metafórica nem em sua forma literal incomensurabilidade implica incomparabilidade, e precisamente pela mesma razão.

Na óptica de Kuhn, a *crise* desempenha um papel importante (é pré-condição necessária) para a ocorrência das *revoluções científicas*, pois quando não há crise a solução dos problemas anômalos é ignorada, mesmo porque a comunidade científica oferece resistências à emergência de novas teorias e acaba concebendo hipóteses auxiliares na sua teoria tentando preservá-la.

A transição de um paradigma em crise para um novo, do qual pode surgir uma nova tradição de ciência normal, está longe de ser um processo cumulativo obtido através de uma articulação do velho paradigma. É antes uma reconstrução de área de estudos a partir de novos princípios, reconstrução que altera algumas das generalizações teóricas mais elementares do paradigma, bem como muitos de seus métodos e aplicações. (Kuhn, 2003, p. 116).

Para esse epistemólogo, o progresso da ciência envolve fatores psicológicos, sociológicos, estéticos, linguísticos e institucionais. A racionalidade verificacionista, falibilista ou testabilista não caracteriza o progresso da ciência. O progresso resulta de um processo revolucionário. Dessa forma, Kuhn salienta o caráter progressista da ciência e considera que é científica qualquer área de estudos que apresente um progresso marcante. O novo paradigma deve ser mais promissor e abrangente do que o antigo.

Também para Kuhn, a ciência está baseada na construção de hipóteses, mas sua postura centra-se na tentativa de explicação marcada pela comparação histórica, com ênfase no caráter revolucionário dos períodos de progresso da ciência e no traço marcante das características sociológicas das comunidades científicas.

Embora alguns períodos da história do conhecimento humano tenham sido, de fato, marcados por revoluções científicas, e esses momentos foram descritos e analisados em detalhe por Kuhn, do ponto de vista histórico e contextual, talvez seja equivocado afirmar que a ciência somente avança através de revoluções esporádicas intermediadas por longos períodos de ciência normal. Por conta disso, num segundo momento, Kuhn reformulou sua postura inicial introduzindo a idéia das microrevoluções, onde admitiu que elas ocorrem

mais comumente. Ainda assim, uma crítica comum a sua epistemologia é que mesmo durante a ciência normal ocorrem avanços contínuos e que as revoluções científicas, esporádicas, não conseguem romper o diálogo entre os cientistas.

3.2.3 IMRE LAKATOS

Lakatos (1922-1974) atribuiu grande importância às idéias de Popper e chegou mesmo a afirmar que elas constituíram um dos mais importantes desenvolvimentos filosóficos do século XX. Concordou com Popper em vários aspectos, especialmente com relação à afirmação de que a ciência progride através da construção e teste de hipóteses, ao invés de “descoberta” de teorias, a partir da observação. Mas não aceitou o falsacionismo popperiano como critério de demarcação entre a ciência e a pseudociência, especialmente porque as teorias científicas não são criações isoladas, mas estruturam-se em *programas de pesquisa científica*. O falsacionismo de Popper prevê que as teorias sejam imediatamente abandonadas mediante falseamento que se dá através de uma base empírica infalível, que não existe, segundo Lakatos.

Argumentou Lakatos que sua *metodologia dos programas de pesquisa científica* é a maneira como se estrutura o processo da ciência. As teorias, sujeitas a contínuas mudanças, organizam-se em séries de teorias, ou seja, estruturam-se em *programas de pesquisa científica*, que são conjuntos de regras e técnicas que indicam as rotas que devem ser seguidas pela investigação científica, e também aquelas que não devem ser seguidas, em determinado campo da pesquisa.

Os *programas de pesquisa* são estruturados de forma a evitar morte rápida das teorias contrariando, dessa forma, o esquema popperiano, que propõe o abandono das teorias falseadas e sua substituição por novas hipóteses testáveis experimentalmente. Isso se dá, segundo Lakatos, porque não existem *experimentos cruciais*, ou seja, experimentos que podem destruir instantaneamente um programa de pesquisa. *À luz de minhas considerações, a idéia de racionalidade instantânea pode ser considerada utópica*, afirma Lakatos (1993, p. 116).

Esse epistemólogo propôs uma nova vertente do falsacionismo, o *falsacionismo metodológico* de base evolutiva, em que sobrevivem as teorias mais aptas, aquelas que apresentam excesso de conteúdo corroborado por testes empíricos em relação às teorias anteriores, e que antecipam fatos novos. Isso constitui, para Lakatos, a demarcação entre teorias científicas e não-científicas.

A *metodologia dos programas de pesquisa científica*, como foi dito, não oferece uma racionalidade instantânea (Lakatos, 1993, p. 16). A crítica a uma teoria não objetiva sua morte rápida através da refutação, mas o programa de pesquisa é estruturado de forma a evitar essa consequência. Constituídos por regras metodológicas e técnicas, os *programas de pesquisa científica* indicam rotas que devem ser seguidas na pesquisa científica (*heurística positiva*) e outras que dizem quais caminhos devem ser evitados (*heurística negativa*). A heurística negativa está associada (protege) ao *núcleo firme* do Programa de Investigação, enquanto a heurística positiva está associada ao *cinturão protetor*, conjunto de teorias auxiliares que podem ser falseadas.

O *núcleo firme* é a característica que define o programa de pesquisa e está protegido contra a refutação por um *cinturão protetor* de hipóteses teóricas auxiliares que podem sofrer modificações e refutações. Mas a *heurística positiva* está em busca da verificação das teorias do cinturão protetor e não da refutação, mantendo assim a marcha do programa de investigação. O *núcleo firme* é uma conjunção de proposições ou hipóteses protegidas contra refutações, por decisão provisória da comunidade científica. No caso da mecânica newtoniana, por exemplo, o núcleo firme se compõe das três leis de Newton mais a atração gravitacional. Pode ser até que o núcleo firme venha a ser abandonado em algumas circunstâncias, mas essa não é a regra. E mesmo nos casos em que um Programa de Pesquisa venha a se tornar regressivo e ser abandonado, pode ser retomado algum tempo depois, décadas até, quando o avanço tecnológico possibilitar novos testes das suas hipóteses.

O avanço da ciência consiste na substituição de *Programas de Investigação Científica Regressivos* por *Programas de Investigação Progressivos*. Um programa é “teoricamente progressivo” quando cada modificação no “cinturão protetor” leva a novas e inesperadas predições ou retrodições (explicação de um fato já conhecido). Ele é “empiricamente

progressivo” se pelo menos algumas das novas previsões são corroboradas (Silveira, 1996, p. 223).

Da postura de Lakatos depreende-se que a permanente competição entre programas de investigação científica, e mesmo a conversão de programas que se encontram em fase regressiva em programas progressivos com o avanço tecnológico, é a regra de como avança a ciência, contrariamente à idéia kuhniana de que a ciência madura é caracterizada pela adesão a um único paradigma e que o avanço se dá por revoluções científicas esporádicas, e também em oposição à idéia popperiana de falseamento e morte rápida das teorias através de uma base empírica infalível.

Destacado filósofo da ciência dos últimos tempos, Lakatos recorreu à Física Contemporânea para tentar estabelecer condições sob as quais se considera científica uma teoria. Dessa forma, adotou um enfoque em que a Física e sua história ilustram a ciência em todo seu esplendor. Por conta deste fisicalismo assumido, Lakatos é muitas vezes criticado.

3.2.4 LARRY LAUDAN

Larry Laudan (1945) entende que a ciência é um empreendimento racional, não-cumulativo, que teorias não são abandonadas somente porque apresentam anomalias, nem são aceitas unicamente porque apresentam confirmação empírica. Afirma que a coexistência de teorias rivais é a regra, tal que a evolução é uma atividade comparativa. O objetivo da ciência é produzir teorias eficazes na *resolução de problemas* científicos.

Os problemas científicos são o ponto central do pensamento científico e as teorias são o resultado final. Laudan propõe que a ciência se ocupa da resolução de problemas de dois tipos: os *problemas empíricos* e os *problemas conceituais*. Ocorre progresso científico quando as novas teorias resolvem mais problemas que suas predecessoras. Uma teoria é efetiva se pode transformar problemas não resolvidos (potenciais) ou anômalos em problemas resolvidos.

As anomalias não são deficiências. São importantes, pois suscitam dúvidas a respeito da teoria que as mostra, mas não são motivo suficiente para abandonar a teoria, segundo Laudan. A ciência está em busca de teorias que resolvam ao máximo os problemas empíricos e reduzam ao mínimo os problemas conceituais.

Para Laudan, a competição entre teorias tem por trás *tradições de pesquisa*, ou sistemas de concepções que constituem visões mais fundamentais sobre o mundo. Toda *tradição de pesquisa* ativa está associada a uma família de teorias. As teorias são testáveis, enquanto as *tradições de pesquisa* não são diretamente contrastáveis já que seus pressupostos teóricos e metodológicos são tão gerais que não podem produzir predições passíveis de comprovação.

Os problemas empíricos estão divididos em três tipos: *problemas potenciais*, são os fenômenos que carecem de uma explicação; *problemas resolvidos*, são afirmações sobre o mundo já resolvidas por alguma teoria viável; *problemas anômalos* são problemas reais não resolvidos pela teoria, mas resolvidos por alguma teoria rival.

Os *problemas conceituais* são deficiências da teoria, inconsistências internas, ou surgem quando uma teoria adota suposições a respeito do mundo que contradizem outras teorias dominantes, ou ainda, quando atacam os princípios da tradição de investigação na qual estão inseridos. A eliminação de problemas conceituais representa um avanço importante para a ciência.

Laudan considera que problemas conceituais são perguntas de ordem superior acerca da estrutura e consistência conceitual das teorias, enquanto as teorias em si buscam responder perguntas de primeira ordem (perguntas empíricas). Os problemas conceituais podem ser de ordem interna (ambiguidades ou circularidades no seio da teoria) e externa (tensões entre teorias, inaceitabilidade conjunta de teorias, ou seja, diferentes teorias explicando o mesmo fenômeno diferentemente, uma delas acaba influenciando a outra).

Entende esse epistemólogo que a história da ciência mostra que vários dos grandes debates entre os cientistas defensores de teorias rivais têm ocorrido no campo conceitual. Muitas teorias importantes se tornaram mais claras e precisas através de esclarecimentos e especificações que tiveram origem em críticas no campo conceitual, e este é um dos meios importantes que a ciência utiliza para crescer.

Para Laudan, não faz muito sentido a preocupação de estabelecer um critério de demarcação entre ciência e não-ciência, mas sim estabelecer a eficácia das teorias, distinguir aquelas que têm grande alcance na resolução de problemas científicos.

Nessa perspectiva, a ciência pode ser tomada essencialmente como uma atividade de resolução de problemas. As teorias científicas são tentativas de resolver problemas empíricos ou conceituais.

Laudan atribui a Kuhn o mérito de ter sido o primeiro pensador a reconhecer com clareza que as macroteorias (ou paradigmas) têm funções cognitivas e heurísticas diferentes das microteorias (teorias específicas), e que as teorias globais ou paradigmas persistem ainda que existam anomalias. Diverge, contudo, de Kuhn com relação à existência de um único paradigma no curso da ciência madura, pois entende que a coexistência de teorias rivais incita o desenvolvimento da ciência.

3.2.5 GASTON BACHELAD

Para Gaston Bachelard (1884-1962) a ciência resulta do pensamento científico inconcluso, aberto, sujeito à retificação. Um dos aspectos centrais de sua postura refere-se à *filosofia do não*, em que adverte que o espírito científico deve formar-se através de rupturas epistemológicas sucessivas na compreensão do real. O conhecimento científico é o resultado de um permanente questionar, cada nova experiência diz “não” à experiência antiga.

Através da *desilusão* com o conhecimento anterior o espírito científico avança mediante retificações, reificações e rupturas. *Conhecemos contra o conhecimento anterior, retificando erros da experiência comum e construindo a experiência científica em diálogo constante com a razão* (Lopes, 1996).

Nessa linha, o erro assume um papel importante, pois aprendemos com ele. *Frequentemente filósofos interpretam o erro como um acidente lamentável, uma imperícia a ser evitada. Bachelard, ao contrário, defende que precisamos errar em ciência, pois o*

conhecimento científico só se constrói pela retificação desses erros (Canguilhem apud Lopes, 1996).

Com isso Bachelard introduziu o conceito de *obstáculo epistemológico* no sentido de que o conhecimento deve ser colocado em termos de obstáculos. Tanto o conhecimento comum, usual, quanto o conhecimento científico estabelecido representam obstáculos para o pensamento científico quando tomados na esperança de haver uma continuidade entre ambos. Tal continuidade não existe. Alertou Bachelard que o espírito científico deve estar atento para a ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico. No decorrer do próprio desenvolvimento científico a ruptura, a inquietude, a descontinuidade, a desilusão aparecem como uma espécie de necessidade funcional, intimamente ligadas ao ato do conhecer.

Conceituou também as *noções obstáculos*: as imagens, as analogias simples, as metáforas apresentam-se como obstáculos ao espírito que aprende e seu uso excessivo deve ser combatido, pois tendem a um estado de repouso da racionalidade. Andrade e Ferrari (2002, p. 3) referem que *estes obstáculos estariam fundamentados na experiência primeira, no conhecimento geral, no abuso de imagens usuais, no conhecimento unitário e pragmático, no substancialismo, no realismo e no conhecimento quantitativo, e seriam as causas da “estagnação e até regressão do progresso da ciência”*.

Bachelard introduziu a idéia de *noção obstáculo*: *coisismo*, corpúsculo – pensado como um objeto minúsculo; *animismo*, a tendência de animar, atribuir vida aos objetos; *substancialismo*, idéia simples de substância; são noções facilmente aceitas, mas que funcionam como verdadeiros obstáculos para o avanço do espírito científico.

Quando se estuda cuidadosamente a história de algum ramo da ciência se percebe a dificuldade de abandonar o pitoresco, de se despojar da influência da experiência primeira, nas palavras de Bachelard (1976, p. 43):

O pensamento pré-científico não se empenha em estudar um fenômeno bem circunscrito. Não busca a variação senão a variedade. E é este um traço particularmente característico: a busca da variedade arrasta o espírito de um objeto a outro, sem método; o espírito só aponta então para a extensão dos conceitos; a busca da variação liga-se a um fenômeno particular, tenta objetivar

todas as variáveis, comprovar a sensibilidade das variáveis. Enriquece a compreensão do conceito e prepara a matematização da experiência (Bachelard, 1976, p. 43).

Todavia, para um conhecimento particular uma única filosofia não basta. Com a noção de *perfil epistemológico* Bachelard chamou a atenção para uma necessária contribuição de todas as matizes filosóficas contemporâneas na construção de um conceito designado. O *perfil epistemológico* sempre se refere a um conceito específico, para um espírito particular que se examina e indica a contribuição relativa das diferentes filosofias. Por exemplo, o conceito de massa passou historicamente por rupturas epistemológicas sucessivas desde a caracterização ingênua de massa como substância física, depois como uma relação entre a força e a aceleração na mecânica clássica e, por fim, por propriedades quânticas. O que ocorreu ao longo desse processo foi que a noção de massa passou por determinações cada vez mais indiretas, que firmam o primado da reflexão sobre a percepção. Nesse esquema, o perfil epistemológico do conceito de massa para Bachelard se compõe, em diferentes níveis, das seguintes filosofias: *realismo ingênuo, empirismo, racionalismo clássico, racionalismo completo, racionalismo discursivo*.

Todo espírito científico que se examina por certo encontra um perfil epistemológico diferente para um mesmo conceito ou fato científico. Porém, importa destacar que o espírito científico deve ser dialético, deve transitar livremente pelo *espectro epistemológico*, através das diferentes filosofias, para tornar a compreensão dos conceitos mais rica. Nessa visão não faz sentido superar o debate empirismo/racionalismo, combatendo cada uma dessas filosofias em separado, pois elas compõem os extremos do espectro epistemológico onde o *materialismo racional* ou *racionalismo aplicado* ocupa a posição central. A conhecimento se constrói à luz dessa problemática, ou seja, o racionalismo autoriza o conhecimento a partir da razão mas que se aplica na experiência pela constituição de uma técnica fundamentada na matemática; ora o espírito científico se vale do racionalismo abstrato, ora do empirismo à medida que vence os obstáculos epistemológicos. Assim, para Bachelard, o conhecimento não resulta do acordo, mas da polêmica, da não-linearidade.

O pensamento racional rigoroso deve ser dialético, precisa dialogar livremente com o empirismo, de um lado, transitando pelas demais filosofias até o racionalismo abstrato, que ocupa o extremo oposto do espectro epistemológico. Esta alternância é importante, pois

essas doutrinas estão ligadas, se complementam sem que se precise falar em derrota de uma ou outra. Essa pluralidade é uma marca bachelardiana para o avanço do conhecimento científico.

Segundo Bastos e Candioto (2008, p. 102), *a ciência está sempre em evolução, em progresso contínuo de seus esquemas e categorias, e a filosofia deve participar dessa evolução e progresso. Esta filosofia, que aceita e participa do progresso da ciência, é uma filosofia aberta, porque dialetiza e supera seus princípios.* Uma filosofia das ciências é necessariamente dispersa. Conserva, no entanto, segundo Bachelard, a coesão da sua dialética, do seu progresso que se faz no sentido de um racionalismo crescente, buscando superar o realismo inicial.

A Física, a Química e outras ciências contemporâneas, segundo esse epistemólogo, possuem dois pólos filosóficos: um campo de pensamento que se especifica em matemáticas e outro das experiências. A Física, em especial, determina uma mentalidade abstrato-concreta que pode ser assim resumida: quando a experiência mostra um fenômeno novo, a teoria é modificada para absorvê-lo; com esta modificação o teórico demonstra como a teoria flexibilizada poderia ter previsto a novidade. Essa fecundidade recorrente é um aspecto importante para o racionalismo, pois *constitui o fundamento da memória racional* (ibid., p. 134). Quando o teórico anuncia a possibilidade de um novo fenômeno, o investigador acrescenta esta perspectiva, busca o fenômeno com auxílio do instrumento, da técnica. Trata-se de um fenômeno instrumentado, que não existe naturalmente, objeto, portanto, de uma *fenomenotécnica*, como conceitua Bachelard.

Essa estreita síntese de teoria e experiência assegura uma dupla certeza: o real está em contato direto com a racionalidade; os argumentos racionais que afetam a experiência são momentos dessa experiência. É nesse sentido que Bachelard afirma que a ciência contemporânea se localiza num *racionalismo aplicado* e é assim que adquirimos o conhecimento científico.

3.2.6 STEPHEN TOULMIN

As posturas epistemológicas até aqui resumidas falam em revolução, abandono, ruptura. Stephen Toulmin (1922) inverte essa perspectiva e argumenta que *evolução* é o ponto-

chave do conhecimento. A compreensão humana está nos *conceitos*, na evolução das *populações conceituais* e na *mudança conceitual* como um processo evolutivo.

Os conceitos integram populações conceituais, compartilhadas coletivamente pelas comunidades científicas, e são constantemente submetidos à crítica racional levando-se em conta os processos sócio-históricos através dos quais se desenvolvem dentro da vida de uma cultura ou comunidade e só conservam seu lugar na ciência reafirmando continuamente seu valor.

A mudança conceitual na ciência, assim como em outras áreas de conhecimento, não resulta de “saltos” repentinos, mas de contínuas modificações menores, cada uma das quais foi seletivamente perpetuada em alguma situação problemática local e imediata. Toulmin utiliza idéias darwinianas para explicar a evolução conceitual no processo ciência: as novidades intelectuais constantemente aparecem e, como ocorre nas variações das espécies, nem todas, mas apenas algumas são transmitidas às gerações seguintes por um processo seletivo, exercido pela própria comunidade nas diferentes *disciplinas científicas*.

Toulmin entende que as diferentes atividades intelectuais dos homens dividem-se em disciplinas, que não se definem somente pelo objeto de estudo no qual se centram suas atividades, mas se referem também às atitudes profissionais pelas quais se guiam essas atividades. As disciplinas são empresas racionais que reúnem em torno de si cientistas, métodos, objetivos, ideais e ambições explicativas, e estão em desenvolvimento histórico, ou seja, as disciplinas passam por profundas mudanças de longo prazo, transformando-se ou sendo superadas. Como as inovações intelectuais são equilibradas por processos de seleção, a existência de foros profissionais de discussão e de periódicos é indispensável para o desenvolvimento sério e metódico de uma disciplina.

Os conceitos, instrumentos do nosso pensamento, são transmitidos através das gerações pelo encultramento. Conceitos, técnicas, procedimentos e habilidades intelectuais são aprendidos no contexto social. Na visão de Toulmin (1977, p. 63), *os conceitos que emprega um homem, os padrões de juízo racional que reconhece, como organiza sua vida e interpreta sua experiência, todas essas coisas dependem, ao que parece, não das características de uma ‘natureza humana’ universal ou da evidência intuitiva de suas idéias básicas somente, mas também do momento em que nasceu e do lugar em que viveu.*

Para Toulmin, sempre foi um erro associar a *racionalidade* à *logicidade*. A racionalidade está associada às condições e maneiras em que o homem se dispõe a criticar e modificar as doutrinas intelectuais ou teorias que adota com o passar do tempo. Não há nenhuma lógica no descobrimento de novos conceitos. Toda atividade intelectual é um empreendimento onde a racionalidade reside nos procedimentos que governam seu desenvolvimento e sua evolução histórica.

Essa postura inverte o ponto de prova. Antes a mudança conceitual era um fenômeno que devia ser explicado dentro de um cenário de crença na imutabilidade intelectual; agora o fluxo intelectual é esperado e tudo o que é contínuo, estável ou universal se converte no fenômeno que exige explicação. A regra, portanto, é a variabilidade e a evolução conceitual.

Assim, se adotamos uma visão suficientemente ampla da ciência, segundo Toulmin, não a contemplamos somente como uma empresa racional, mas como uma empresa racional em desenvolvimento histórico (ibid., p.230). A ciência, como um todo, pode ser tomada como um processo evolutivo.

3.2.7 PAUL FEYERABEND

Paul Feyerabend (1924-1994) entendeu e preconizou a ciência como uma empresa essencialmente anárquica no sentido de que não há uma só regra metodológica, embora plausível e bem fundada, que deixe de ser violada em algum momento. Falou em *anarquismo epistemológico* que se traduz, do ponto de vista metodológico, na recusa à obediência a regras fixas e universais. Feyerabend defendeu o *pluralismo metodológico*.

Anarquismo epistemológico é empregado em oposição à idéia de princípio único, absoluto, fechado às opções alternativas e contrário às tradições rígidas que pretendem padrões universais de racionalidade. Neste ponto, é uma crítica ao racionalismo na ciência que Feyerabend considerava abstrato e ahistórico, diferindo, portanto, do anarquismo político como uma oposição às instituições, às ideologias, ao governo.

Segundo Feyerabend, não existe um “método científico” único e infalível para se fazer ciência, mas, contrariamente, *o fato de a ciência existir prova que esses métodos foram, frequentemente, postos de lado* (1989, p. 260). Defendeu, como referido, o *pluralismo metodológico* em que todas as concepções devem ser examinadas, explicações alternativas devem ser levadas em conta e hipóteses que contrariam teorias bem estabelecidas sempre representam possibilidades de êxito.

Se existe um princípio válido para que ocorra o desenvolvimento do conhecimento científico, este princípio é para Feyerabend: *tudo vale*. A criação de uma coisa e a compreensão de uma idéia correta dessa coisa é um processo não orientado por um programa bem definido, mas sim uma operação desarrazoada, insensata, sem método.

Argumentou que a contra-indução e a contra-regra são sempre possibilidades de avanço na ciência. A contra-regra incita o cientista a introduzir hipóteses incompatíveis com as teorias bem aceitas, a abandonar a condição de coerência, que exige que hipóteses novas se ajustem às teorias já assentadas, não porque as antigas sejam melhor fundamentadas na observação ou porque sejam mais elegantes, mas apenas por serem mais antigas e familiares. A condição de coerência exclui discussões alternativas ainda que empiricamente cabíveis e força o cientista a se apegar a uma única teoria sob o argumento de que fatos incompatíveis merecem ser examinados e podem levar ao progresso na ciência, enquanto hipóteses alternativas não levam ao mesmo progresso. A esse pressuposto Feyerabend chamou de princípio da autonomia e argumentou que deve ser abandonado.

Segundo Regner (1996), Feyerabend procura mostrar a “razoabilidade do irracionalismo” através das seguintes *contra-regras* (opostas às regras do racionalismo): i) *introduzir hipóteses que conflitem com teorias confirmadas ou corroboradas*; ii) *introduzir hipóteses que não se ajustem aos fatos estabelecidos*.

Para Feyerabend, a exigência de somente se admitir teorias decorrentes ou alinhadas a outras já conhecidas deixa-nos sem teoria alguma, pois não há teoria sem dificuldades. Defendeu que o cientista precisa revisar sua metodologia e passar a admitir *a contra-indução a par de admitir as hipóteses não fundadas* (ibid.). Entendeu que o material de que o cientista dispõe (leis, resultados experimentais, técnicas matemáticas, preconceitos

epistemológicos) é de certa forma, indeterminado, ambíguo, contaminado por princípios que o cientista desconhece e, se conhecidos, difíceis de testar.

Possivelmente, nesse ponto, algumas idéias de físico teórico e pensador **David Bohm** ajudem a entender o que Feyerabend quer que se compreenda.

Bohm (2007) defendeu que o desejo de pensar surge de uma emoção ou de um impulso para pensar; que o centro emocional e o centro intelectual estão intimamente ligados no nosso cérebro, são dois lados do mesmo processo. Mas nossa linguagem os separa ao mesmo tempo em que nosso pensamento os divide em fragmentos. Com isso introduzimos no nosso pensamento uma divisão que não existe. Surge, então, uma falsa divisão entre o pensamento e o sentimento, cria-se uma forma ficcional de pensar *e se nosso pensamento é ficcional, com certeza ele está nos enganando* (op. cit., p. 21).

Há, ainda, segundo Bohm uma distinção entre o “ato de pensar” que é ativo e logo se evapora, e o “pensamento”, o que já foi pensado, que não desaparece. Depois de termos pensado em algo este algo desaparece, mas o que foi pensado chega ao cérebro e deixa vestígios, se transforma em pensamento e esse pensamento passa a agir automaticamente. Assim, o pensamento é a resposta da memória, do passado. Isso também ocorre com os sentimentos. Um erro que o pensamento faz é pegar a superfície e chamá-la de realidade. Se aceitarmos “o que parece ser” como “o que é”, não teremos o que questionar, mas “o que parece ser” é altamente incoerente.

Desta forma, geralmente, os problemas que enfrentamos decorrem do efeito dos pensamentos. Quando repetimos algo, gradualmente, isso se torna um hábito e somos cada vez menos conscientes disso. Se escovamos os dentes todas as manhãs, dificilmente nos damos conta disso. Nosso pensamento e nossos sentimentos agem da mesma forma. Parece que precisamos de algum tipo de consciência sobre o que o pensamento está fazendo. Em geral não temos isso. *O pensamento, o “que foi sentido”, o corpo, a sociedade como um todo partilhando pensamentos – tudo não passa de um único processo. (...) o pensamento gera o que geralmente chamamos na linguagem moderna de um sistema. Um sistema é um jogo de coisas ou partes conectadas (...) que são interdependentes por seus significados e por suas existências.* (ibid., p. 29). Se uma das partes não funciona bem toda a estrutura desmorona.

Podemos obter um pensamento relativamente claro na ciência. Mas, mesmo na ciência, ele não está totalmente claro porque os cientistas se preocupam com seu prestígio e status, e assim por diante. Às vezes nem consideram idéias que não estão de acordo com suas teorias, ou com seus próprios preconceitos. (ibid., p. 30).

Em *Ciência, Ordem e Criatividade* (1998), Bohm, através da *teoria da ordem implícita ou teoria das variáveis ocultas* – uma interpretação alternativa para a Mecânica Quântica, defendeu que a totalidade da ordem abrangente (ou ordem implícita) não se manifesta, mas apenas certo aspecto dela se manifesta para nós. Existem ordens ocultas através das quais tudo está conectado por uma estrutura multinível, que confere uma visão holística do cosmos. Por isso, Bohm defendeu que é importante um olhar criativo na ciência, procurando-se evitar uma visão fragmentária da natureza, da realidade e da própria ciência.

Uma das origens da fragmentação na ciência é o que ele chamou de *infraestrututa tácita das idéias científicas*, uma vez adquirida certa habilidade ela é adotada de forma subliminar e inconsciente, assim como o pensamento se torna gradualmente um hábito e dele somos cada vez menos conscientes. Essas habilidades às vezes não acompanham o processo de evolução constante da ciência e o cientista continua usando velhas técnicas em contextos novos, numa tentativa de “guardar vinho novo em odres velhos”. Bohm propôs uma nova ordem capaz de ir além das idéias tácitas e inconscientes e alertou para o papel da criatividade na origem de novas idéias na Física, e na ciência em geral.

É nesse sentido que Feyerabend insistia que o cientista deve adotar métodos pluralistas, comparar as teorias com outras teorias, admitir e aperfeiçoar as alternativas ao invés de afastá-las. *O pluralismo das teorias e das doutrinas metafísicas não é apenas importante para a metodologia; também é parte essencial da concepção humanitária* (Feyerabend, 1989, p. 71). Humanitária no sentido de que se deve acentuar a humanidade, as emoções do cientista e não apenas suas qualificações profissionais.

Defendeu que há diferenças perceptíveis entre as regras (como concebidas pelos filósofos da ciência) e os procedimentos efetivamente utilizados pelos cientistas na sua tarefa de pesquisa, ou seja, há distinção entre o contexto da justificação e o contexto da descoberta. A descoberta é irracional enquanto a justificação faz uso da crítica.

Feyerabend buscou retirar conclusões metodológicas dos exemplos históricos para destacar *formas de agir provocadas por condições psicológicas, sócio-econômico-políticas e outras de caráter 'externo'* (ibid., p. 260). Entendeu que só é possível alcançar o progresso da ciência se a diferença entre o *ser* e o *dever ser* não for encarada como linha divisória fundamental, assim como a distinção entre observação e teoria, pois a experiência sem a teoria é tão incompreensível quanto à teoria sem a experiência.

Salientou que há pelo menos dois níveis de discordâncias entre teorias e fatos: o numérico e o qualitativo. O valor numérico que se obtém frequentemente discorda do valor previsto pela teoria, mesmo considerada a margem de erro. O modelo atômico de Bohr, por exemplo, foi introduzido apesar da evidência em contrário. Esse é um exemplo de uma teoria importante que se conserva mesmo diante de discrepâncias numéricas entre teoria e observação. No nível qualitativo, Feyerabend citou inúmeros casos de inconsistências, na eletrodinâmica, na relatividade, na física moderna. Entretanto, asseverou, conservaram-se as teorias e esqueceram-se as suas insuficiências porque trabalhamos com aproximações *ad hoc*. Essas aproximações escondem ou eliminam as dificuldades qualitativas e criam uma falsa impressão de que a ciência é perfeita.

O dogmatismo na ciência deve ser superado e nesse sentido Feyerabend discordou do racionalismo crítico de Popper. Afirmou que não seria possível se ter uma ciência tal como conhecemos convivendo com as regras do racionalismo crítico: a busca de falseamento das teorias, a exigência de teorias com conteúdo crescente, a exclusão de hipóteses *ad hoc*, etc.. Rechaçou, dessa forma, o *indutivismo* e, igualmente, o *falsacionismo*, pois não oferecem uma adequada explicação do desenvolvimento da ciência. Tanto as regras fixas quanto as “leis da razão” são insuficientes. Todas as metodologias têm limitações e somente o “tudo vale” é capaz de se manter: o “fugidio”, o “caótico”, o “oportunista”, o “anárquico” assumem importante e necessária função no desenvolvimento do conhecimento científico.

Feyerabend defendeu uma necessária mudança na ciência, no sentido de torná-la, do ponto de vista epistemológico, mais anárquica, mais subjetiva, onde os “desvios” e os “erros” às regras metodológicas possam ser pré-condições de progresso. *Dada a ciência, a razão não pode ser universal e a sem-razão não pode ver-se excluída* (ibid., p. 279).

A reação típica de Feyerabend ao esquema *positivista* ou *empirista-indutivista*, movida pelo suposto de renúncia à noção de método universal, fixo e ahistórico na ciência, não passou sem críticas. Chalmers (2006, p. 6-10) afirma que essa postura parece suportar um ceticismo radical com respeito à ciência, em que não se pode argumentar que uma teoria possa ser melhor que outra e com isso o slogan de Feyerabend “tudo vale” torna a ciência, do ponto de vista epistemológico, semelhante à astrologia, ao vodu. Por essa razão, Feyerabend foi considerado por muitos de seus opositores como inimigo da ciência e da racionalidade.

3.2.8 HUMBERTO MATURANA

A epistemologia de Humberto Maturana (1928) difere de outras resumidas neste trabalho que, predominantemente fisicalistas, veem o conhecimento científico surgir a partir de algo externo ao homem, ao cientista. Maturana, biólogo e filósofo da ciência chileno, adota uma visão de cunho biológico na qual o fenômeno do conhecer se dá a partir do observador (do conhecedor). Seus estudos sobre o sistema nervoso e sobre a percepção o levaram a concluir que nossos movimentos resultam de uma correlação da atividade da retina com o sistema motor; que nossas experiências resultam de correlações internas (Maturana, 2001, p.24); e que, em nossa condição constitutiva como seres vivos, não podemos distinguir entre ilusão e percepção. Por isso, entende que é necessário procurar um espaço explicativo distinto do tradicional para abordar o ato cognitivo.

Seu ponto de partida para explicar o fenômeno do conhecer é o ser humano, aquele que conhece, o observador observando, e o observar. Maturana distingue a experiência da explicação: o ser humano é observador na experiência, no suceder do viver cotidiano na linguagem; a explicação se dá na linguagem. O que não está na linguagem não é uma explicação. *Assim, o explicar é sempre uma reformulação da experiência (...) mas nem toda reformulação da experiência é uma explicação. Uma explicação é uma reformulação da experiência aceita por um observador* (ibid., p. 29).

Normalmente se pensa, segundo Maturana, que explicar se refere a como uma coisa é, independente da pessoa. Mas, uma explicação tem a ver com aquele que explica e com aquele que aceita a explicação. A ciência se define, então, como um modo particular de

explicar. O que define o cientista é o modo cuidadoso de explicar, a paixão pelo explicar e o critério de aceitação de explicações que utiliza.

Para Maturana, há dois modos fundamentais de explicar (de reformular a experiência do observador): o *caminho explicativo da objetividade*, em que o observador se comporta como possuidor de certas habilidades que o permitem distinguir entre ilusão e percepção, em que a razão permite dizer que algo é assim independente do observador; o *caminho explicativo da objetividade entre parênteses*, que assume a biologia do observador, em que interferimos com a biologia e com o observar: *tenho que explicar como é que faço o que faço* (ibid, p. 33). Neste caso a existência, a experiência e a explicação dependem do observador.

O *caminho explicativo da objetividade* não se sustenta, segundo Maturana, porque não existe fundamento experiencial para fazer tal proposição. Temos que colocar a objetividade entre parênteses e aceitar que temos que explicar o objeto e explicar como surge o objeto; temos que falar do observador, da experiência, da linguagem. Isso não implica subjetividade, significa apenas que uma afirmação cognitiva é válida pelas coerências operacionais que a constituem.

O observador, como ser vivo, é um sistema auto-organizado, produz constantemente seus próprios componentes e a isso conceitua Maturana de *organização autopoietica*. Todas as ações humanas acontecem num espaço de ação especificado estruturalmente como emoção. A emoção fundamental que rege as relações humanas é a aceitação mútua, é o amor. *Quando se muda a emoção, também muda o sistema racional* (ibid., p. 48). Dessa forma, a filosofia da ciência precisa mudar e assumir a dimensão humana/biológica e como consequência, assumir que as emoções estão presentes no processo explicativo. *O problema das pretensões de universalidade está em crer que se faz referência a uma realidade independente do observador, sem se dar conta de que a universalidade fica definida pelos critérios de constituição do sistema racional que se propõe* (ibid., p. 52).

Ao assumirmos a biologia do observador podemos explicar uma série de fenômenos como o sistema nervoso, a percepção, a linguagem e o próprio fenômeno cognitivo. Descobrimos que a experiência não é o universo, experiência é o que acontece com cada um de nós e que a linguagem surge na convivência com os outros seres vivos. As interações com os

demais seres vivos e com o meio caracterizam-se pela conservação da *organização*. Isto significa que somos sistemas determinados estruturalmente e temos a tendência preservar nossa organização interna, isto é, em nossas interações desencadeamos mudanças que estão determinadas em nós mesmos.

Essa estrutura de sistema determinado também determina o que admitimos como perturbação, quando aprendemos, por exemplo. Além disso, não podemos distinguir variações na configuração do sistema perturbador e por isso não podemos distinguir entre ilusão e percepção. E como o meio também é um sistema determinado estruturalmente, as únicas mudanças que podemos provocar nele são aquelas admitidas pela estrutura do próprio meio. Assim, interações instrutivas, por exemplo, funcionam como perturbações.

Essa é uma implicação das idéias de Maturana para o ensino de ciências. Interações instrutivas não ocorrem, mas tão somente interações que dizem respeito a nós mesmos, não com o outro. Assim, a história das interações do ser vivo é uma história de interações que desencadeiam mudanças estruturais. Essa história dura enquanto houver interações e enquanto se conserva a organização. A perda de organização autopoietica é a morte. As interações com o meio não são, então, destrutivas, mas sim *perturbações* em correspondência com o meio, de tal forma que vai ocorrendo *adaptação*. Há, portanto, uma circularidade essencial nos sistemas vivos que permite ao sistema funcionar como observador. Essa é a essência da sua *teoria da autopoiese*.

Nesse enfoque, explicar cientificamente supõe estabelecer interações que implicam em aceite. Quando o cientista explica cientificamente um fenômeno, quatro condições devem ser satisfeitas, segundo Maturana: *1º) ter o fenômeno a explicar*, e o fenômeno é sempre apresentado como um roteiro do que o observador deve fazer para ter a experiência que quer explicar (o que fazer, ver, observar, medir, etc.); *2º) ter uma hipótese explicativa*, que é a proposição de um mecanismo que posto a funcionar gera o fenômeno a explicar. Essa proposição é sempre *ad hoc*, é inventada, está relacionada com os conhecimentos prévios; *3º) satisfazer a dedução das condições*, das coerências operacionais do âmbito do observador, a partir da operação do mecanismo gerativo (o que o observador tem que fazer para ter a experiência); *4º) realização da experiência* ou fenômeno a partir das operações deduzidas na condição anterior.

Se assumirmos a biologia do cientista (do observador), perceberemos que a emoção que está por trás do fazer científico é a curiosidade, sob a forma de paixão de explicar as coisas. O cientista vive nessa emoção. Como observador, encontra-se na linguagem, na tentativa de explicar e descrever o que faz. Assim, nada externo ao observador pode especificar nele o que lhe ocorre.

As quatro condições acima, satisfeitas em conjunto, constituem o *critério de validação das explicações científicas*. Uma explicação é sempre uma reformulação da experiência com elementos da própria *experiência do observador* e necessita de aceite da comunidade científica. Assim, a ciência é um domínio cognitivo válido para todos aqueles que aceitam o *critério de validação das explicações científicas*.

A ciência muda toda vez que mudam as perguntas que o observador-padrão faz e as explicações que ele aceita, e estas mudam no fluir da *práxis* do viver, de acordo com o fluir de seu linguajar, que por sua vez mudam com a corporalidade, com as emoções, com o contexto social. Aprender a ser cientista é um processo de aprender a aplicar o critério de validação das explicações científicas e de chegar a um comprometimento pessoal de agir com honestidade e impecabilidade operacional na geração das explicações e afirmações científicas. Em suas teorizações, filósofos e cientistas operam como seres racionais, na medida em que seguem as coerências operacionais da linguagem como domínio de operações consensuais recursivas de coordenações consensuais de ações.

Nesse sentido, a epistemologia de Maturana contrapõe-se fortemente ao *empirismo-indutivismo* ou *positivismo* na ciência, que pressupõem uma realidade independente do observador e, mais, que o papel do cientista é o desvendar as leis da natureza. Para Maturana, os cientistas fazem ciência como observadores explicando o que observam. Como observadores, são seres humanos que já se encontram na situação de observadores observando quando começam a observar seu observar na tentativa de descrever e explicar o que fazem. Em outras palavras, os cientistas são sistemas vivos (*máquinas autopoieticas*) linguajantes quando explicam o que fazem e já estão na experiência do observar quando começam a observar, a distinguir na linguagem os diferentes tipos de entidades que trazem à mão como objetos de suas descrições, explicações e reflexões. Suas habilidades cognitivas devem ser tomadas como propriedades dadas, inexplicáveis, ou como resultado da biologia do observador enquanto um ser humano (op. cit., p. 126).

Assim, na ciência, como na vida cotidiana, não podemos produzir explicações ou afirmações que revelem ou conotem algo externo, independente das operações através das quais geramos nossas explicações e afirmações. Trata-se de uma postura inteiramente distinta de conceber e compreender a ciência.

3.2.9 MARIO BUNGE

Físico e filósofo da ciência argentino, Mario Bunge (1919) argumenta que toda teoria científica tem um referente mediato, um “pedaço da realidade”, e um referente imediato que é um “modelo” do sistema real. O modelo não é apenas pictórico, não é um retrato, nem é uma metáfora. A construção do modelo começa com simplificações que fornecem traços gerais, uma imagem simbólica, esquemática do real – trata-se do *objeto-modelo* ou *modelo conceitual*. A seguir, atribui-se ao objeto-modelo certas propriedades, em geral não sensíveis, buscando construir uma teoria ou inseri-lo em alguma já existente capaz de descrevê-lo, isto é, constrói-se o *modelo teórico*. Somente a prova da experiência pode dizer se o modelo científico obtido dessa forma é verdadeiro ou falso.

A conquista conceitual começa com simplificações, esquematizações que acabam negligenciando numerosos traços do objeto ou fenômeno em estudo. Todavia, se o modelo não oferece todos os detalhes que interessam o cientista pode complicá-lo, torná-lo mais audacioso. Portanto, começa-se por se afastar da informação, depois se imagina que o objeto-modelo seja dotado de certas propriedades não sensíveis e adicionam-se elementos hipotéticos, sempre com intenção realista, e procura-se enxertar o modelo em uma teoria suscetível de ser confrontada com os fatos. *Sabe-se muito bem que procedendo desta maneira há o risco de inventar quimeras, mas não existe outro meio, porque a maioria das coisas e das propriedades oculta-se aos nossos sentidos* (Bunge, 1974, p. 14).

Todavia, adverte Bunge que os modelos não são exercícios acadêmicos de Matemática Aplicada. O que caracteriza um modelo teórico é que se trata de um sistema hipotético-dedutivo que tem relação com o modelo conceitual do objeto real.

Aqui, de forma tentativa, fazemos uso de algumas idéias de Cartwright (1983). Argumenta Cartwright que os modelos científicos utilizados pelos físicos como representações formais

não são todos dedutíveis da teoria que os contém. Não é incomum, sustenta, encontrar vários modelos mutuamente inconsistentes dentro da mesma teoria, mas isso não importa, porque os modelos são ferramentas representacionais convenientes usadas com o fim de articular determinados aspectos locais da teoria. Defende Cartwright, que os modelos são robustos diante de mudanças na teoria, ou seja, a teoria que os abarca pode mudar e os modelos não.

Para Bunge, a força de um objeto-modelo reside no fato de ser uma idéia teórica, uma idéia que pode ser enxertada em uma máquina teórica para colocá-la a funcionar e obter novas idéias interessantes. Argumenta que até mesmo o fracasso de um modelo é instrutivo em ciência, porque pode apontar novos caminhos, sugerir modificações a fim de obter modelos mais realistas. Alerta que a construção de objetos-modelo e de modelos teóricos é sempre uma atividade criadora que coloca em jogo conhecimentos, preferências e até a paixão intelectual do construtor. Assim avança a ciência.

Portanto, os modelos teóricos encerram objetos-modelo do tipo conceitual. E, embora as representações visuais e figurativas do tipo diagramas, modelos materiais ou outros, possuam utilidade psicológica, pois auxiliam a compreender idéias difíceis, nenhuma dessas representações figurativas pode representar um objeto de maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciados. As teorias são, para Bunge, sistemas de proposições e não são possíveis de figurar.

Segundo Bunge, qualquer outro caminho que se tente em ciências, a razão pura, a intuição ou a observação, resultam em insucesso. Para esse epistemólogo, a modelagem e a comprovação constituem os mais bem sucedidos métodos de apreensão da realidade.

Bunge faz uma distinção entre *ciência formal*, que inclui a Lógica e a Matemática, pois embora produtora de conhecimento racional, sistêmico e verificável, seus objetos de estudo não fornecem informações sobre a realidade, são entes abstratos, que só existem na mente humana, e *ciência fática*, que se baseia na formulação de hipóteses a respeito de fatos, fenômenos e/ou objetos materiais. A ciência formal demonstra ou prova enquanto a ciência fática verifica hipóteses geralmente provisórias. Ao afirmar que a demonstração é completa e final enquanto a verificação é incompleta e por isso temporária, Bunge (1960, p. 14)

ensina-nos que a natureza em si do “método científico” não permite confirmações definitivas das hipóteses fáticas.

A ciência é um processo de construção de modelos cada vez mais precisos, e consequentemente, de teorias cada vez mais específicas. A história dos modelos mostra, dessa forma, um avanço da complexidade.

Para Bunge, os traços principais das *ciências da natureza* ou *ciências fáticas* são a racionalidade e a objetividade e *o que caracteriza o conhecimento científico é sua verificabilidade* (op. cit., p. 41). Verificabilidade, para esse epistemólogo, tem a ver com o modo, meio ou método através do qual se apresentam problemas científicos e se colocam à prova soluções propostas. Não se trata de obter a verdade. A verdade é aceita sempre provisoriamente porque os dados empíricos não são infalíveis. Além disso, nem todos os modelos teóricos foram submetidos a provas de veracidade e por isso não se lhes podem atribuir valor de verdade; e mais, todo modelo testado é parcialmente verdadeiro no sentido de que algumas de suas consequências se mostraram aproximadamente verdadeiras, ou seja, as fórmulas da teoria não são exatamente satisfeitas pelos dados experimentais.

Um dos aspectos metodológicos discutidos por Bunge diz respeito à existência, ou não, de uma técnica infalível para inventar hipóteses científicas. Existe um “método científico” (*um método é um procedimento regular, explícito e repetível para obter algo, seja material, seja conceitual*; Bunge, 1985, p. 28) que conduz ao enunciado de verdades fáticas de grande extensão? A resposta de Bunge é que *semelhante arte jamais foi inventada* e argumenta que jamais o será, a menos que se modifique radicalmente a definição de ciência. Não há regras infalíveis que garantam o descobrimento de novos fatos e a invenção de novas teorias. O que existe é um conjunto de procedimentos pelos quais: a) *se propõem os problemas científicos e b) se colocam em prova as hipóteses científicas* (op. cit., p. 50).

A ciência é um corpo crescente de idéias que se estruturam em um conhecimento racional, exato, verificável e consequentemente falível. Através do conhecimento científico o homem reconstrói conceitualmente o mundo e a sociedade onde vive. Com isso, Bunge, alinha-se aos principais epistemólogos do século XX no combate à doutrina *empirista-indutivista*, com relação à natureza do conhecimento científico, e defende uma visão de

ciência marcadamente racionalista. E vai além ao propor que a melhor maneira de apresentar uma teoria científica é através axiomatização, da mesma forma como Euclides axiomatizou a geometria elementar. *Creio que tudo quanto pode ser objeto do pensamento científico, em geral, está destinado a cair, tão logo esteja maduro para a constituição de uma teoria, no método axiomático, e com isto indiretamente, na matemática* (Bunge, 1974.a, p. 55). Todavia, esclarece que se trata de um novo tipo de axiomatização em que, particularmente na Física, toda fórmula seria acompanhada de uma assunção semântica capaz de esclarecer o significado físico dos conceitos fundamentais envolvidos. *Os construtos científicos possuem tanto forma como conteúdo. Estes dois aspectos podem distinguir-se, mas não separar-se: unicamente a lógica pode dar-se o luxo de tratar com formas puras. (...) fora da lógica há algo chamado de diversas maneiras, “conteúdo”, “sentido”, “intenção” ou “significado” que não deve ser passado por alto* (Bunge, 1974.b, p. 156).

3.3 Algumas visões epistemológicas mais recentes

3.3.1 ERNST MAYR

O pensador e biólogo evolucionista Ernst Mayr (1904-2005) criticou a postura epistemológica dos principais filósofos da ciência do séc. XX, à qual se referiu como *fisicalista*. Segundo Mayr, toda ciência sofre constantes influências internas (no interior do próprio campo de pesquisa) e externas (cultural, política e social de cada época). Ideologias universais (o essencialismo, desde Platão) e dogmas religiosos (como o dogma cristão do criacionismo) estiveram entre os fatores externos que afetaram o pensamento científico na Biologia, asseverou, mas fatores muito influentes podem ter origem em diferentes campos da ciência: *o fisicalismo externo (incluindo o determinismo e o extremo reducionismo), que prevalecia no pensamento ocidental após a revolução científica, influenciou fortemente a formação teórica em biologia, por vários séculos, muitas vezes, inclusive exatamente contra aquilo que hoje é evidente* (Mayr, 1998, p. 18).

Mayr opôs-se à idéia de que a Física seja o paradigma da ciência e que quando se entende Física se pode entender qualquer outra ciência, inclusive Biologia. Nesse sentido, a filosofia da Biologia de Mayr enfatiza a Biologia como uma ciência autônoma, construída sob parâmetros independentes das ciências físicas, e destaca que todas as tentativas de

circunscrever o mundo vivo às leis naturais da Física e descrevê-lo matematicamente falharam, dado que os organismos vivos são sistemas complexos, organizados e principalmente porque foram afetados durante bilhões de anos por processos históricos, o que não ocorre com o mundo inanimado.

Crítico da filosofia da ciência tradicional, Mayr preocupou-se em mostrar como a Biologia distingue-se das ciências físicas desde seus princípios básicos e metodologias de construção das teorias científicas, até sua influência na visão de mundo do homem atual.

Argumentou que enquanto a observação e a experimentação são muito importantes para as ciências físicas e para a Biologia funcional, na Biologia evolucionista as narrativas históricas e a comparação de evidências variadas ganharam fundamental destaque, mas que esse papel tem sido, até o presente, quase inteiramente ignorado pelos filósofos da ciência. Isso mostra, segundo Mayr, a fraqueza da velha filosofia, feita por filósofos familiarizados com as ciências físicas e que ignoraram a Biologia.

A ciência, na óptica de Mayr e também afirmado por Toulmin, avança de maneira muito semelhante à do mundo orgânico, por um processo darwiniano. *O processo epistemológico, assim, é caracterizado por variação e seleção* (ibid, p. 184).

As idéias de Mayr, assim como as de Maturana, ambos biólogos, têm o mérito de oferecer um contraponto às posturas epistemológicas physicalistas e remetem a uma reflexão mais holística da ciência.

3.3.2 ILYA PRIGOGINE

A visão epistemológica de Ilya Prigogine (1917-2003), físico-químico e ganhador do prêmio Nobel de Química em 1977, está orientada para um repensar do papel do nosso tempo, da nossa visão sobre o conhecimento e, particularmente, sobre as leis fundamentais da Física que visam explicar o universo. Através de um enfoque centrado em sistemas instáveis (de não-equilíbrio) que estão na base da descrição microscópica do universo, advogou que as leis da dinâmica precisam ser reformuladas, precisam ser pensadas em nível estatístico, onde a irreversibilidade surge como um elemento fundamental e indissociável da seta do tempo.

A Física, segundo Prigogine, está alicerçada em sistemas estáveis, deterministas e refere-se a um universo fundamentalmente reversível (que não conhece a diferença entre passado e futuro) em que sistemas instáveis são tratados como exceções. Em sua nova visão, inverte essa perspectiva, onde sistemas estáveis passam a ser casos especiais de uma dinâmica estendida, com formulação estatística, não mais baseada em trajetórias individuais (caso clássico) ou em funções de onda (caso quântico), em que descrições fenomenológicas¹ incluem a seta do tempo (Prigogine, 2002).

Propôs, assim, uma reformulação das leis fundamentais da Física onde conceitos como *indeterminismo, assimetria do tempo e irreversibilidade* possam ser incorporados, dado que a formulação tradicional descreve um mundo idealizado, um mundo estável e não o mundo instável, evolutivo em que vivemos (Prigogine, 1996, p. 29).

Em situações de equilíbrio tudo é simples, estável e não há variação de entropia. Ocorre que sistemas aos quais se aplica o segundo princípio da Termodinâmica (o da entropia) constituem a imensa maioria no universo, segundo Prigogine. Longe do equilíbrio pode aparecer o instável e o complexo: *estruturas dissipativas* são próprias de processos irreversíveis e revelam que pode ocorrer a criação de ordem longe do equilíbrio termodinâmico. Fenômenos caóticos ou irreversíveis não se reduzem a um aumento de “desordem”, como se pensa comumente, mas, ao contrário, têm um importante papel construtivo, estão na base da formação de estruturas complexas e delicadas, como a vida.

Sem entrar na estrutura formal da teoria de Prigogine, pois não é o objetivo aqui, pode-se afirmar que a ruptura da equivalência entre a descrição individual (trajetórias) e a descrição estatística é o ponto central dessa abordagem. Tal ruptura conduz para além da Mecânica de Newton onde a força determina a mudança da trajetória de uma partícula através de uma derivada segunda em relação ao tempo e que é invariante à inversão do tempo ($t/-t$). A questão é que são conhecidas poucas soluções das equações de movimento, somente os casos integráveis. Em geral, faz-se necessário recorrer a métodos de perturbação e aí surgem as chamadas ressonâncias entre os diferentes graus de liberdade do sistema e, por

¹ Fenomenológico: Kerson Huang, em *Statistical Mechanics*, texto usualmente utilizado em cursos de Mecânica Estatística na formação de físicos, afirma na introdução do Cap. 1 que “*Termodinâmica é uma teoria fenomenológica da matéria. Como tal, ela estabelece seus conceitos diretamente da experiência.*” (Huang, 1987, p.3)

consequência, as dificuldades de cálculo. A saída, argumentou Prigogine, é abandonar a mecânica clássica e o espaço de Hilbert, que lida apenas com funções “normais”, contínuas, integráveis e propor uma descrição baseada na dinâmica de não-equilíbrio, que permite construir funções no nível microscópico que são análogos dinâmicos da entropia. Tenta-se, desta forma, buscar uma unificação da Dinâmica e da Termodinâmica e coloca-se em evidência novas propriedades da matéria, associadas ao não-equilíbrio.

Prigogine chamou a atenção para o fato de que vivemos em um universo em evolução, de que existem sistemas complexos em nosso entorno que impõem uma ruptura da equivalência entre a descrição individual (trajetórias ou funções de onda) e a descrição estatística; e que é no nível estatístico que podemos incorporar a instabilidade às leis fundamentais, que passam a adquirir um significado novo, não mais atrelado a certezas, mas sim a possibilidades.

Uma visão evolutiva da ciência não é novidade na Filosofia da Ciência. Toulmin (1977) referiu-se à construção da ciência como um processo evolutivo, darwiniano, no sentido de que a base do pensamento humano está nos conceitos, e estes se desenvolvem e se transformam com o tempo, de geração em geração, tornando-se mais abrangentes com o avanço científico. Prigogine, contudo, foi mais específico com relação às leis da Física.

Para Prigogine, as escolhas, as possibilidades, as incertezas são, ao mesmo tempo, propriedades do universo e da existência humana. Abrem novas perspectivas para a ciência e uma nova racionalidade, em que “verdade científica” deixa de ser sinônimo de certo, de determinado, onde o incerto e o indeterminado são relegados à ignorância, ao desconhecimento. Na nova visão, inverte-se essa perspectiva e os sistemas estáveis passam a ser casos especiais de uma dinâmica estendida, com formulação estatística que é mais rica do que a descrição baseada em trajetórias individuais, pois trata da evolução de conjunto. Longe do equilíbrio as flutuações “escolhem” um dos possíveis regimes de funcionamento do sistema, colocando em jogo o mecanismo dos processos irreversíveis, mas é onde a matéria adquire novas propriedades.

As visões epistemológicas até aqui sumarizadas, ainda que muito diferentes entre si, apresentam, como já referido, alguns aspectos comuns: criticam a filosofia *empirista-indutivista* e *positivista*; enfatizam o papel das teorias, dos conceitos e dos modelos

científicos; salientam a natureza construtiva, inventiva do conhecimento científico; reconceituam a racionalidade e o papel da observação e experimentação; levam em conta a influência de aspectos humanos e sócio-culturais como fatores que interferem e reorientam o trabalho dos cientistas; atribuem importância fundamental a ingredientes não racionais como a imaginação e criatividade; mas enfatizam que as hipóteses explicativas, livremente inventadas, precisam ser testadas empiricamente, em alguma medida.

Em suma, essas visões associam o desenvolvimento científico à construção, discussão, aprimoramento e testagem de hipóteses, modelos e teorias. Esse conjunto de visões epistemológicas é muitas vezes denominado de *pós-positivismo*.

Nas décadas mais recentes surgiram algumas críticas ao *pós-positivismo*, que enfatizam um enfoque mais sociológico e, de certo modo, neoempirista da ciência. Colocam em destaque a experimentação e o papel da instrumentação na construção de novos fenômenos (fenômenos puros, por assim dizer, que somente são possíveis de observar através de moderna e sofisticada aparelhagem); procuram desassociar as teorias dos modelos, no sentido de que estes podem sobreviver àquelas; enfatizam o campo das controvérsias na articulação dos modelos com as teorias; argumentam que novas idéias científicas nascem e ganham adesão no contexto sociológico dos laboratórios, das comunidades científicas, e que a ciência não é um empreendimento desinteressado, mas é um sistema complexo no qual interferem interesses sociais, políticos, de grupo e de indivíduos. Alguns representantes dessas idéias é o que passamos a apresentar.

3.3.3 NANCY CARTWRIGHT

Nancy Cartwright afirma que pode haver mais verdade nos modelos do que nas teorias e que a reunião de uma pluralidade de modelos oferece possibilidades para articular as entidades teóricas. Argumenta que não é possível derivar afirmações testáveis diretamente da teoria e que quando estamos interessados em descrever o mundo real as leis fenomenológicas são mais apropriadas do que as leis fundamentais, embora *normalmente para os filósofos “fenomenológico” e “teórico” assinala a distinção entre o observável e o inobservável* (Cartwright, 2002, p.1). A ligação entre a experimentação e a teoria é feita através dos modelos, que podem ser até mais robustos do que a teoria, ou seja, a teoria que

os abarca pode ser substituída e os modelos, mantidos. Afirma que nem todos os modelos que os físicos utilizam como representações formais são dedutíveis da própria teoria. Mas isso não importa, argumenta, porque os modelos são ferramentas operacionais convenientes usados para articular aspectos locais da teoria, adaptando-os aos fenômenos e à tecnologia experimental.

Essa postura enfatiza o contexto sociológico e pragmático na ciência, uma vez que o que é comum de ocorrer nas comunidades científicas é a seleção, adaptação e negociação no refinamento dos modelos, como elo de ligação entre os tratamentos teóricos e os recursos tecnológicos e experimentais no processo de construção do conhecimento.

Cartwright (2002) destaca o papel importante da experimentação e das leis fenomenológicas na construção do conhecimento, em detrimento da teoria. É usual na moderna Física, assevera, que tratamentos teóricos competindo – tratamentos que empregam diferentes leis para o mesmo fenômeno – sejam encorajados, mas que somente uma única história causal seja permitida. Embora os filósofos geralmente acreditem em leis e neguem as causas, a prática exploratória em Física é justamente o contrário (ibid., p. 85/86).

Concorda com Ian Hacking que quando entidades teóricas podem ser manipuladas e detalhar formas para intervir em outros processos, então se tem a melhor evidência possível para afirmar sobre o que essas teorias podem e não podem fazer; e que entidades teóricas que foram justificadas por afirmações causais testadas raramente são descartadas nos processos da ciência. Afirma que muitos supõem leis fundamentais para determinar o que a leis fenomenológicas tem de verdade. Mas, assevera, temos um grande número de leis fenomenológicas em todas as áreas da Física Aplicada e Engenharia que oferecem acuradas descrições do que ocorre em situações realísticas. Em um tratamento explicativo estas são derivadas de leis fundamentais apenas por longas séries de aproximações, o que torna problemática a visão de que as leis fundamentais são melhores (ibid., p. 127) e coloca em destaque as leis fenomenológicas – derivadas diretamente da experiência – para manipular as teorias na tentativa de descrever o mundo que nos rodeia.

3.3.4 IAN HACKING

Filósofo da ciência canadense, Ian Hacking (1936) reforça a crítica à visão da ciência como dominada pela teoria e assume uma postura pragmática ao colocar em evidência a relação entre o processo de construção de modelos e teorias para uma melhor compreensão da natureza e os meios experimentais e tecnológicos desenvolvidos para interferir nos processos naturais e criar novos fenômenos.

Defende a visão de que ciência e indústria mantêm uma relação muro a muro, pois as novas idéias que constantemente surgem nos meios acadêmicos incentivam a indústria a investir no desenvolvimento de novo instrumental e novas tecnologias, que acabam sendo difundidas e adotadas pela sociedade. Esta, por sua vez, aloca novos e mais recursos e instrumental mais sofisticado para os cientistas construírem fenômenos novos e criarem novas idéias num ciclo em que ambas, ciência e sociedade, são beneficiadas. Destaca, assim, que há um estreito vínculo entre a observação e a experimentação científica e a indústria, a tecnologia e a prática social. Chama mesmo a atribuir *vida própria* à observação e experimentação, no sentido de que a meta destas não precisa estar direcionada para testar ou comparar teorias.

A ciência moderna, adverte, é cada vez mais um processo que ocorre sob circunstâncias definidas: os fenômenos não são descobertos, são criados através de experimentação confiável, repetível que faz uso de aparelhagem e técnicas disponibilizadas por nossa cultura técnica corrente. Latour e Woolgar (1997) também afirmam que os fatos ou fenômenos da ciência moderna não são descobertos, mas sim construídos através das interações sociológicas na cultura do laboratório, no diálogo entre o teórico e o experimental, e emerge de uma indispensável instrumentação, sem a qual o fenômeno não existe.

3.3.5 TIMOTHY LENOIR

Timothy Lenoir destaca que além do importante papel das práticas técnicas há o das práticas sociais, que fornecem o contexto para o diálogo entre os cientistas, suas idéias e a experimentação. Um contexto em que aparecem *subcomunidades com diferentes interesses constitutivos de conhecimento e diferentes tradições experimentais, organizadas*

socialmente pelo acesso a diferentes recursos e orientadas em torno de diferentes repertórios de técnicas e aparelhagem (Lenoir, 2003, p. 41). Na discussão de quão amplos ou restritos devem ser esses contextos, relevantes para o diálogo entre práticas teóricas e experimentais, advoga em favor de uma noção ampla de contexto das instituições públicas. Nesse linha, localiza a ciência como uma atividade interessada, onde distintos fatores entram em cena, o prestígio e a carreira dos cientistas, a persuasão para aumentar o aporte de recursos nos projetos de pesquisa, as questões de desenvolvimento estratégico, e algumas vezes bélico, dos países, etc.

Assevera que a formação de disciplinas é consoante com uma coleção crescente de técnicas e soluções de problemas conectados, muito mais do que o comprometimento com uma teoria em particular. As condições para o crescimento e para as limitações de programas disciplinares, afirma, dependem de três fatores: *um contexto institucional capaz de fornecer sustentação, uma clientela confiável e um programa intelectual viável* (ibid., p. 34). Propõe que no coração desta abordagem as prioridades intelectuais são congruentes com as estruturas e metas institucionais, e que estas são instituições políticas que demarcam áreas do território acadêmico, alocam privilégios e responsabilidades especializadas e regulam a produção e o consumo do conhecimento.

Em contraste com as visões epistemológicas *dominadas pela teoria* (op. cit., p. 62), que constituem a maioria do conjunto de posturas que chamamos nesta tese de VECs, que não desconhecem a importância do desenvolvimento de novos instrumentos e da estabilização e reprodução da experimentação, as visões mais recentes insistem que os objetos da investigação científica da atualidade são cada vez mais construídos pela moderna aparelhagem, focam os sítios de produção do conhecimento, o laboratório, e o campo da controvérsia nele existente. Destacam o caráter negociado, marcado pelas práticas sociais, organizacionais e científico-técnicas, influenciado pelas instituições públicas e sobrecarregado de instrumentação, uma *tecnociência*.

De alguma forma, estas idéias não são novas. Bachelard já afirmava que quando o pesquisador teórico anuncia a possibilidade de um novo fenômeno, o investigador experimental acrescenta esta perspectiva e busca o fenômeno com auxílio do instrumento, da técnica. Constrói o fenômeno instrumentado, faz uso do que ele conceituou de *fenomenotécnica*.

Nesta tese tomou-se como referencial teórico-epistemológico as chamadas “visões epistemológicas contemporâneas”, ou VECs, como referido no início deste capítulo, e adotou-se uma postura próxima à de Chalmers (2006) em que se assume que a ciência moderna tem por fim agregar, ampliar e melhorar continuamente o conhecimento disponível, de modo exigente. Deu-se ênfase, portanto, à epistemologia focada na teoria. Mas se reconhece que a moderna ciência tem conseguido desenvolver e “descobrir” novos fenômenos através de avançada instrumentação e experimentação e que seu êxito prático decorre da contrastação com o mundo das hipóteses candidatas a leis e teorias, de forma cuidadosa e exigente. O requisito de melhoria contínua do conhecimento humano faz com que uma boa teoria diga algo novo em relação ao que já se conhece e isso exige uma melhoria contínua dos procedimentos e técnicas disponíveis. A construção do LHC, Grande Colisor de Hádrons, e a pesquisa em Supercondutividade e Magnetismo em busca de novas propriedades dos materiais supercondutores são bons exemplos disso. Assim, fortalece-se a teoria a par de desviar a concepção empirista-indutivista de que as leis e teorias científicas são verdades últimas estabelecidas com certeza a partir de uma base empírica inquestionável e, de um lado, evita-se a crítica do ceticismo. De outro, o requisito de que as generalizações científicas (leis e teorias) devem ser aplicáveis ao mundo e contrastadas de forma exigente, de alguma maneira, como afirmava Popper, evita o relativismo extremo de que “tudo vale”. Com isso, reconhece-se a importância das visões epistemológicas mais recentes, seu destaque ao importante papel da moderna instrumentação, dos modelos científicos e das intrincadas relações político-cultural-institucionais que marcam a ciência na atualidade.

Capítulo 4

REFERENCIAL METODOLÓGICO

4.1 Pesquisa qualitativa e a opção pela etnografia

O objeto de estudo desta tese é o processo de ensino e aprendizagem da Física e suas relações com as concepções epistemológicas de professores de Física e dos estudantes. Embora a Física seja tipicamente uma ciência da natureza, investigamos realidades sociais: a sala de aula em distintos contextos, buscando vislumbrar a potencialidade das VECs. Pela própria natureza de nosso problema de pesquisa, optamos pela metodologia de “investigação qualitativa” do tipo etnográfica, para todos os estudos de caso que compõem esta tese.

O principal argumento que embasa a escolha da metodologia qualitativa está associado ao fato de que o objetivo da investigação não é o de testar hipóteses, mas de chegar a uma compreensão descritiva de comportamentos, práticas e ações da perspectiva dos professores de Física e estudantes, em contato com os sujeitos nos seus contextos naturais. Um segundo argumento, não menos importante, é que cremos que a pesquisa qualitativa oferece um conjunto de procedimentos úteis, mas não preceitos, que permitem observar, participar, refletir e estudar a realidade social da sala de aula de forma a, esperançosamente, conduzir a um entendimento maior de como ela funciona. Queremos dizer, “maior” do que seria possível compreender através de uma análise puramente quantitativa e estatística.

Pressupõe-se em pesquisa qualitativa que a realidade é socialmente construída e por isso o interesse central está focado na interpretação dos *significados* atribuídos pelas pessoas – os atores sociais – às ações e eventos da realidade investigada. No processo não-estatístico de interpretação, uma técnica muito comum é a *teoria fundamentada*.

Segundo Strauss e Corbin (2009), o pesquisador qualitativo não começa um projeto de pesquisa com uma teoria preconcebida, ao contrário, *começa com uma área de estudo e permite que a teoria surja* a partir da análise e interpretação de registros de diversas naturezas. (...) *teorias fundamentadas por serem baseadas em dados, tendem a oferecer*

mais discernimento, melhorar o entendimento e fornecer um guia importante para ação. O que esses autores entendem por teoria fundamentada é que se trata de teoria derivada de dados sistematicamente reunidos e analisados por meio de processo de pesquisa (op. cit., p. 25).

Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 52):

A palavra teoria é utilizada de muitas maneiras. (...). O modo como utilizamos o conceito está muito mais de acordo com a utilização que lhe é dada em sociologia e em antropologia, sendo semelhante ao termo paradigma. Um paradigma consiste num conjunto aberto de asserções, conceitos ou proposições logicamente relacionadas e que orientam o pensamento e a investigação. Quando nos referimos a “orientação teórica” ou “perspectiva teórica”, estamos falando de um modo de entendimento do mundo, das asserções que as pessoas têm sobre o que é importante e o que é que faz o mundo funcionar.

Embora o investigador tenha alguma orientação teórica quando planeja uma investigação, ela não se constitui em um guia. O que caracteriza a pesquisa qualitativa é que nesse paradigma, como já referido, não se está interessado em testar hipóteses previamente construídas. A teoria se expressa por um conjunto de assunções e conceitos logicamente integrados que orientam o pensamento e a própria pesquisa, de forma que os conceitos e as hipóteses (se houver) são desenvolvidos e refinados no processo de pesquisa, não existem *a priori*.

Existem várias formas de investigação qualitativa, segundo esses autores, mas todas partilham o objetivo comum de compreender os sujeitos com base nos seus pontos de vista. Contudo, afirmam, “os seus pontos de vista” não é uma expressão que os próprios sujeitos utilizem e pode não representar o modo como eles pensam sobre si próprios, mas é o modo como os investigadores abordam o seu trabalho. Assim, “ponto de vista” é um *construto de investigação*. Os investigadores qualitativos fazem interpretações e devem ter um esquema conceitual para isso e, em geral, creem que ainda que abordar as pessoas com objetivo de compreender o seu ponto de vista não seja algo perfeito, é a forma que menos distorce a experiência dos sujeitos (ibid., p. 54).

O principal instrumento de pesquisa dessa metodologia é o próprio investigador, imerso, integrado e participante no fenômeno de interesse. Os registros de eventos são feitos no seu ambiente natural de ocorrência. Nesse sentido, o pesquisador deve ter autenticidade,

credibilidade, intuição e sensibilidade para descrever detalhadamente, transmitir confiabilidade ao retratar a realidade social, persuadir e convencer através de uma narrativa fidedigna e elegante. Ao mesmo tempo deve ser flexível e criativo para adquirir uma maneira de pensar sobre os dados e o mundo no qual está imerso que permita que ele se afaste facilmente do que vê, sente e ouve e possa elevar isso ao nível abstrato e depois novamente voltar ao nível dos dados. Deve aprender a pensar comparativamente e assim perceber semelhanças e diferenças e ver além do comum. Ao alcançar esse nível de visão o pesquisador segue junto com a pesquisa.

O trabalho de campo é exaustivo e se estende por longo tempo. Depois de obtido o emaranhado de dados gerados a partir de registros feitos através de diários de campo, coleta de documentos, gravações de entrevistas e outros meios, é preciso preceder à análise dos mesmos. Essa não é uma tarefa fácil. A análise consiste na interação entre o pesquisador e o material de pesquisa. Por isso um ingrediente importante é que o pesquisador qualitativo deve ter *pensamento crítico e criativo – tanto na ciência como na arte da análise* (Patton, 1990 *apud* Strauss e Corbin, 2009). É ciência porque o pesquisador deve manter certo grau de rigor e basear a análise nos registros; é arte porque a criatividade se manifesta na capacidade do pesquisador para categorizar, *fazer comparações e extrair um esquema inovador, integrado e realista de massas de registros brutos desorganizados* (*ibid*).

Segundo Erickson (1986, p.119), a pesquisa qualitativa é *interpretativa* porque busca compreender os *significados que as pessoas atribuem aos eventos e objetos em suas ações e interações dentro de um contexto social*.

O pesquisador qualitativo está permanentemente perguntando-se quais as ações, o que está acontecendo naquele cenário particular? Qual o significado das ações e eventos para os indivíduos que deles participam, naquele momento e naquele espaço? Como estão organizadas as ações relativamente aos princípios e organização da vida cotidiana? Como o que está acontecendo naquele cenário se relaciona com os outros sistemas externos?

O objetivo desse tipo de pesquisa é a compreensão de uma realidade social particular. Não está em busca de princípios universais, mas sim de *universais concretos*. Procura esmiuçar

a forma como indivíduos ou grupos de pessoas constroem o mundo à sua volta, o que estão fazendo, o que está lhes acontecendo e como se relacionam com os sistemas externos.

Para Flick e Angrosino (2009), *é cada vez mais difícil encontrar uma definição comum de pesquisa qualitativa que seja aceita pela maioria das abordagens e dos pesquisadores do campo*. Contudo, entender, descrever e, às vezes, explicar fenômenos sociais “de dentro” de diferentes maneiras são características comumente citadas pelos teóricos da investigação qualitativa.

Bogdan e Biklen (1982, p. 27) enumeram um conjunto de cinco características básicas para as diferentes abordagens de pesquisa qualitativa:

- 1) *o ambiente natural é a fonte direta de dados, constituindo o investigador o instrumento fundamental;*
- 2) *a pesquisa qualitativa é descritiva;*
- 3) *os investigadores qualitativos estão mais preocupados com o processo do que simplesmente com os resultados ou produtos;*
- 4) *os investigadores tendem a analisar seus dados indutivamente;*
- 5) *o significado é de essencial importância para o enfoque qualitativo (o significado que as pessoas dão aos eventos, às ações e as suas vidas).*

Os subsídios para o enfoque da pesquisa qualitativa derivam da Teoria Crítica da Escola de Frankfurt (Adorno, Marcuse, Fromm, etc. - pretendiam a reconstrução do marxismo e não aceitavam o conhecimento científico como o unicamente válido) e de pensadores clássicos de tendência fenomenológica como Rickert, Weber, Husserl, Heidegger, Dilthey, para quem as ciências sociais devem usar métodos específicos (hermenêuticos, interpretativos) porque o homem difere dos demais seres vivos pela sua capacidade de construir e compartilhar significados.

A ciência social *positivista* ou *comportamentalista*, um movimento do início do século passado, supunha a existência de fatos sociais com uma realidade objetiva independente das concepções dos indivíduos e, dessa forma, assumiu que as sociedades humanas podiam ser modeladas como nas ciências físicas; podiam emular o “método científico” em sua objetividade em busca de modelos gerais para as realidades sociais.

Nos Estados Unidos, o levantamento de W.E.B. Du Bois, publicado em 1899, e o Inquérito de Pittsburgh de 1907, foram os primeiros e mais significativos levantamentos sociais que tentaram aplicar o “método científico”, similar ao das ciências naturais, aos estudos de problemas sociais. Esses estudos a par de conter quantificações estatísticas apresentavam também descrições detalhadas, entrevistas, desenhos (executados em carvão por vários artistas) e fotografias. *Os levantamentos sociais têm importância particular para a compreensão da história da investigação qualitativa em educação, dada a sua relação imediata com os problemas sociais e a sua posição particular a meio caminho entre a narrativa e o estudo científico* (Bogdan e Biklen, 1994, p. 22/23).

Contudo, a investigação qualitativa em educação tem origens antropológicas, especialmente através do desenvolvimento da antropologia interpretativa e seu conceito de cultura, bem como das técnicas de trabalho de campo. Foi no final do século XIX e início do século XX que os antropólogos começaram a usar o método etnográfico para estudar grupos humanos. Estavam convictos que as especulações acadêmicas e de filósofos sociais não eram adequadas para entender como as pessoas viviam. Antropólogos britânicos começaram estudos de campo em áreas então sob controle colonial. Um dos mais influentes antropólogos dessa época foi Bronislaw Malinowski, que lançou as bases da antropologia interpretativa ao enfatizar a importância de apreender “o ponto de vista do nativo”. Malinowski defendeu que a teoria da cultura devia basear-se em experiências humanas particulares e na observação, a ser construída indutivamente.

A partir da década de 1920, sociólogos da Universidade de Chicago adaptaram os métodos da etnografia de campo dos antropólogos ao estudo de grupos sociais em comunidades “modernas” nos Estados Unidos (ibid., p. 28/29).

A influência da “Escola de Chicago” estendeu-se para as áreas da educação, da saúde pública, dos negócios, da comunicação, etc.. Para esses autores, à medida que a etnografia se espalhou pelas disciplinas, ela foi assumindo uma variedade de orientações teóricas: funcionalismo, interacionismo simbólico, feminismo, marxismo, etnometodologia, teoria crítica, estudos culturais, pós-modernismo.

É importante destacar que *na história da pesquisa qualitativa bem como no seu desenvolvimento recente, a etnografia e a observação participante desempenharam um papel fundamental. (...) a etnografia lida com gente no sentido coletivo da palavra, e não com indivíduos* (Flick e Angrosino, 2009, p. 16).

Assim, a etnografia *começa* com a observação cuidadosa de comportamentos vividos com pessoas da comunidade. Quando os etnógrafos falam em “cultura”, ou “sociedade”, ou “comunidade” eles estão falando em termos de abstrações gerais baseadas em numerosas informações que fazem sentido para o etnógrafo, que tem uma visão panorâmica do todo social ou cultural e que as pessoas que vivem nele podem não ter.

A etnografia é feita *in loco*, faz uso da observação participante; é *personalizada*, o pesquisador está face a face com as pessoas que está estudando; requer compromisso de *longo prazo* (de várias semanas a um ano, ou mais); é *indutiva*, isto é, usa um acúmulo descritivo de detalhes para construir teorias explicativas; é *dialógica*, as interpretações podem ser discutidas com os informantes; é *holística*, conduzida para revelar um retrato mais completo possível do grupo em estudo.

Para Goetz e LeCompte (1988), *o objetivo da etnografia educativa é aportar valiosos dados descritivos dos contextos, atividades e concepções dos participantes de cenários educativos. Habitualmente, ditos dados correspondem aos processos educativos tal como ocorrem naturalmente. Os resultados de ditos processos são examinados dentro do fenômeno global; raramente se consideram de forma isolada.*

O pesquisador interpretativo toma a natureza da uniformidade de um ponto de vista diferente, à luz das suas interpretações dos significados, abraça a pluralidade da experiência. Erickson (1986, p. 126/127) adverte que *uma distinção analítica crucial na pesquisa interpretativa é aquela entre comportamento, o ato físico, e a ação, que é o comportamento físico mais a interpretação de significados dada pelo ator e por aqueles com quem o ator está interagindo.*

De maneira geral, a etnografia é útil para estudar questões ou comportamentos sociais que ainda não são claramente compreendidos e especialmente porque nas últimas décadas a

pesquisa qualitativa tem vivido um período de crescimento e diversificação e se tornou uma proposta de pesquisa consolidada em diversos contextos e disciplinas.

A investigação qualitativa pode combinar diferentes tipos de estudos. O estudo de caso, uma das possíveis abordagens desse tipo de pesquisa, combinado com a etnografia é uma possibilidade frequentemente utilizada. *O estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto, ou indivíduo, de uma única fonte de documentos ou de um acontecimento específico* (Merriam *apud* Bogdan e Biklen, 1994, p. 89). Estudos de caso de observação são estudos em que a técnica principal consiste na observação participante e o foco do estudo centra-se numa organização particular (escola, centro de reabilitação) e num local específico dentro da organização (a sala de aula, a sala de professores, o refeitório).

Foi nessa perspectiva que recaiu nossa escolha pela “etnografia de sala de aula” no formato de “estudos de caso de observação”: estudar profundamente alguns casos em diferentes contextos de sala de aula; procurar compreender possíveis relações entre as concepções epistemológicas de professores de Física, as estratégias didáticas por eles privilegiadas e a possível contribuição das VECs para a melhoria da qualidade do Ensino de Física. Tal relação (se existe) não parece ainda bem compreendida na literatura.

4.2 A estrutura da pesquisa

Acreditamos que muitos dos conceitos, padrões, concepções e até mesmo comportamentos, atitudes e aspirações dos homens e mulheres de nossa sociedade advêm da sala de aula, desde a infância até a vida acadêmica, se houver. Por esse motivo a sala de aula configura uma cultura que merece ser estudada em seu contexto com seriedade e profundidade para sua maior compreensão.

A Física, em geral, é considerada uma ciência difícil. Razão por que, não apenas a produção dos saberes científicos, mas também a forma como esses saberes chegam às pessoas e como estas os interpretam, precisa ser compreendida em conexão com os fatores sociais intrincados nesse processo.

É nesse sentido que acreditamos na potencialidade das “visões epistemológicas contemporâneas”, as VECs, para ensinar a Física como ela é, desmistificada, desendeusada, mas acima de tudo uma construção humana em todo seu esplendor. Além, é claro, dos inúmeros benefícios que o seu desenvolvimento trouxe para a vida das pessoas.

Sob esta óptica, formar professores de Física tecnicamente bem preparados inclui primeiramente assegurar-lhes o domínio dos saberes científicos da área, mas também dotá-los de capacitação para que eles possam ensiná-la sob uma visão epistemológica mais contemporânea, que é, no mínimo, mais adequada.

Com esses pressupostos e com os objetivos anteriormente descritos, realizamos um conjunto de quatro estudos de caso etnográficos em diferentes contextos de sala de aula.

Quadro 4.1: Identificação do conjunto de estudos etnográficos que compõem a presente tese.

Estudo:	Estudo Exploratório (Estudo II)	Estudo de caso com o Prof. A (Estudo III)	Estudo de caso com o Prof. B (Estudo IV)	Estudo de caso com o Prof. C (Estudo V)
Contexto da observação participante:	Disciplinas do curso de Mestrado Profissional, UFRGS	Escola Particular de Ensino Médio de Porto Alegre	Escola Militar de Ensino Médio de Porto Alegre	Escola Pública de Ensino Médio de Porto Alegre
Grupos observados:	Turmas de Professores de Física já atuantes	Turma de 2º ano do Ensino Médio	Turma de 2º ano do Ensino Médio	Turma de 3º ano do Ensino Médio
Período de observação	2007/1º semestre	2007/2º semestre	2008/1º semestre	2008/2º semestre
Total de aulas observadas	<i>Etapa 1:</i> 40 horas-aula <i>Etapa 2:</i> 32 horas-aula	41 horas-aula	37 horas-aula	49 horas-aula
Descrição dos grupos observados:	<i>Etapa 1:</i> 27 professores-alunos de Física <i>Etapa 2:</i> 10 professores-alunos de Física	41 alunos de Ensino Médio e o professor de Física	28 alunos de Ensino Médio e o professor de Física	37 alunos de Ensino Médio (18 concluíram o ano) e a professora de Física
Identificação dos professores observados:	<i>Etapa 1:</i> professores-alunos da disciplina de Epistemologia e Ensino de Física; <i>Etapa 2:</i> professores-alunos da disciplina Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II	Professor de Física do Ensino Médio: Prof. A	Professor de Física do Ensino Médio: Prof. B	Professora de Física do Ensino Médio: Prof. C

Os estudos que compõem esta tese aparecem sumarizados no Quadro 4.1 e são um aprofundamento e um alargamento da abrangência do Estudo I, descrito no item 5.2 do capítulo 5, que serviu de motivação inicial para este empreendimento.

Cada estudo foi realizado de forma independente, tanto na recolha dos registos e na análise de dados, quanto em relação ao local, período de observação e contexto, limitado às distintas culturas de sala de aula em diferentes realidades educacionais. Em grandes linhas, porém, o conjunto dos cinco estudos de caso, incluindo o Estudo I, visou cobrir os vários tipos de escola de Ensino Médio, professores de Física em formação inicial (graduação) e professores de Física já atuantes em formação continuada (pós-graduação). Desta forma, investigamos professores iniciados em Filosofia da Ciência e outros não iniciados, olhando primeiro para a sala de aula nas suas formações enquanto profissionais de ensino em preparação e num segundo momento, no ambiente de atuação dos professores, tentando identificar possíveis diferenças ou semelhanças nas suas práticas docentes e possíveis indícios de contribuição das VECs na melhoria da qualidade do ensino de Física.

Para a execução desse empreendimento orientamos a investigação da seguinte forma:

1º) partimos dos achados do Estudo I que se constituiu em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005), que investigou as concepções e as influências das visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de um grupo de licenciandos em Física, da UFRGS, à época, futuros professores de Física;

Os achados bastante positivos do Estudo I relativamente à transformação das visões da natureza da ciência dos futuros professores, à época, e à perspectiva de utilização dessas visões em suas futuras práticas docentes, bem como a ausência de uma melhor compreensão das relações entre as concepções epistemológicas dos professores de Física e as práticas didáticas por eles privilegiadas e as possíveis contribuições das VECs para a melhoria da qualidade do ensino de Física serviram de motivação para os passos seguintes;

2º) na sequência, desenvolvemos um estudo exploratório com professores já atuantes que cursavam uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física no Mestrado Profissional do Instituto de Física da UFRGS;

3º) realizamos, a seguir, um estudo de caso com um professor de Física (Prof. A) atuando em uma escola particular, confessional, de Porto Alegre que tinha participado do Estudo I e do Estudo II e cujas concepções eram sabidamente alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas, com o objetivo de colher indícios de contribuição dessas visões nas suas estratégias, discurso e atitudes, e de vislumbrar melhorias no ensino da Física;

4º) realizamos, em seguida, um estudo de caso com um professor de Física em uma escola militar de Ensino Médio (Prof. B), de Porto Alegre, que não tinha iniciação em Epistemologia da Física;

5º) por fim, realizamos um estudo de caso com uma professora de escola Pública (Prof. C), de Porto Alegre, que tinha cursado disciplina de Epistemologia idêntica àquela do Estudo II, no curso de pós-graduação do Mestrado Profissional do IF da UFRGS, cobrindo, assim, os diferentes tipos de escola de Ensino Médio.

Todos os estudos de caso, como referido, utilizaram a etnografia como metodologia de pesquisa qualitativa. Disso decorrem as descrições compreensivas contextualizadas dos quotidianos da sala de aula, com transcrições, às vezes, longas e detalhadas, visando entender como os conteúdos de Física eram apresentados, dialogados, captados, transformados por sequências de movimentos localizados, circunstanciais, heterogêneos; e também quando e de que forma as concepções epistemológicas, alinhadas ou não às “visões epistemológicas contemporâneas”, puderam contribuir (se contribuíram) para a melhoria do ensino e aprendizagem da Física.

Por questões éticas e para manter a naturalidade das culturas estudadas, nada documentamos através de fotos ou gravações em áudio ou vídeo. Por este motivo nossas anotações carecem da precisão necessária (indicação de tempo, descrição precisa de atitudes, entonações, expressões, etc.) e não se prestam para a “análise do discurso”. Não é nosso objetivo fazer “análise do discurso”. Nossos diários de campo, o exame de trabalhos, provas e testes realizados pelos alunos e entrevistas com os professores nos forneceram material e elementos para realização uma análise descritiva/interpretativa das realidades observadas.

Nessa linha, como destacam Latour e Woolgar (1997), tanto os professores como os estudantes foram tomados como “informantes”. *Informantes de quem se duvida* (*ibid*, p. 20) porque é preciso criar familiaridade com as culturas observadas e ao mesmo tempo manter distância para poder retirar o melhor de uma análise interpretativa e independente da realidade em si, tanto quanto possível.

4.3 Um exemplo de estudo etnográfico em ciência (uma tentativa de compreender a natureza da ciência)²

Latour e Woolgar (1997) realizaram um minucioso estudo etnográfico em um moderno laboratório científico, o laboratório de neuroendocrinologia, no *Instituto Salk*, Califórnia, e mostraram que a etnografia também é uma técnica útil para compreender a natureza da ciência contemporânea.

Na obra “*A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*” esses autores identificaram, através da descrição detalhada de ações, atividades, instrumentação (que torna possível o fenômeno) e da interpretação das interações sociais entre os pesquisadores do laboratório e entre eles e outros grupos de pesquisa, alguns princípios gerais que governavam a vida daquele laboratório, o que tornou possível revelar a natureza da construção do conhecimento científico, naquela realidade particular.

Lenoir (2003) refere-se ao estudo de Latour e Woolgar como *um microestudo em que o contexto é limitado à cultura do laboratório* e caracteriza-o como *programa forte de construtivismo social* na ciência.

Entendemos que esse estudo tem a virtude de descrever e enfatizar as complexas relações sociais da cultura do laboratório; elucidar o processo de construção de novos fenômenos científicos; identificar formas de pensamento; compreender objetivos e produtos dos cientistas e a dependência que o trabalho dos cientistas modernos tem para com o instrumental e a técnica; compreender as nuances das relações cooperativas e às vezes competitivas entre os pesquisadores de uma mesma área; discutir questões relacionadas ao financiamento da pesquisa, sua relevância e seu reconhecimento; destacar a origem às

² Estudo publicado (Massoni, 2009).

vezes arbitrária das idéias e o poder de persuasão dos cientistas e outros tantos aspectos relacionados com a natureza da ciência, que por si só tornam a obra interessante.

Realizamos um estudo similar, porém menos profundo e em escala muito menos abrangente, através da observação de um moderno laboratório de Física, no Instituto de Física da UFRGS: o Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo.

Como referido, com uma abrangência muito inferior ao estudo de Latour e Woolgar, tentamos mostrar que num moderno laboratório de Física as coisas não são muito diferentes das encontradas por esses autores. Durante o primeiro semestre de 2007, na condição de doutoranda em Física, realizamos estágio no Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que é um dos vários ramos de pesquisa da Física Contemporânea.

A estada no laboratório teve um viés antropológico uma vez que apenas acompanhamos os pesquisadores em suas rotinas e porque Supercondutividade é um tema complexo e exige habilidades que não dominávamos, ainda que tivéssemos formação em Física. Essa experiência vivida que se estendeu por alguns meses, em que produzimos anotações de campo das rotinas do cotidiano de alguns pesquisadores do laboratório e acompanhamos alguns experimentos teve, assim, o objetivo responder algumas questões epistemológicas: como se faz Física Contemporânea? Em que consiste o trabalho do pesquisador? Quais os desafios da pesquisa científica atual? Como é o cotidiano do cientista moderno?

A primeira coisa que foi possível observar é que a pesquisa experimental na Supercondutividade exige aparatos e montagens instrumentais sofisticados, pois trata de um fenômeno que ocorre a temperaturas muito baixas, ao mesmo tempo em que os resultados e as medidas precisam ser de grande precisão.

4.3.1 Alguns conceitos fundamentais da Supercondutividade

O fenômeno da supercondutividade foi observado pela primeira vez em 1911, por Heike Kamerling Onnes, após ter conseguido a liquefação do gás hélio, que ocorre a uma temperatura muito baixa, a 4,2 K (Ostermann e Pureur, 2005).

Nessas condições, próximo à temperatura de 4,2 K, Onnes observou que o mercúrio (Hg) conduzia corrente sem resistência elétrica. A interpretação de Onnes para o súbito desaparecimento da resistência foi em termos de uma *transição de fase* de um estado resistivo normal para um *estado supercondutor*, no qual a resistividade é nula quando a temperatura crítica (T_c) é atingida. Essa propriedade foi, no início, atribuída exclusivamente ao mercúrio (Hg). Investigações posteriores mostraram, entretanto, que grande parte dos elementos simples da tabela periódica são supercondutores a baixas temperaturas, inferiores a 9 K, em condições de pressão ambiente.

O estado supercondutor apresenta outra propriedade importante: quando submetido a um campo magnético externo relativamente fraco em temperaturas inferiores a T_c o material torna-se um diamagneto perfeito, isto é, ocorre a anulação total da indução magnética de seu interior. Este é o chamado Efeito Meissner³.

Vários elementos tornam-se supercondutores quando submetidos a pressões elevadas ou quando preparados em condições especiais, por exemplo, na forma de filmes finos ou agregados granulares. A supercondutividade também se manifesta em ligas e compostos intermetálicos, que têm se tornado promissores do ponto de vista tecnológico porque suas temperaturas críticas⁴ são mais elevadas. O composto MgB_2 , por exemplo, atinge a temperatura crítica de 39 K.

Para se obter as baixas temperaturas necessárias é preciso usar hélio líquido, material caro e pouco eficiente, o que representa um obstáculo importante às tecnologias que buscam explorar o fenômeno da supercondutividade.

A década de 80 foi particularmente importante nesse sentido, período em que foi descoberta a supercondutividade de altas temperaturas críticas⁵, em torno de 100 K.

³O Efeito Meissner foi descoberto por Walter Meissner e Robert Ochsenfeld, em 1933, e é atribuído a supercorrentes induzidas na superfície da amostra em uma espessura tipicamente de 100 nm, que cancelam exatamente a indução magnética do seu interior quando ocorre a transição ao estado supercondutor em $T=T_c$.

⁴Temperatura Crítica (T_c): é aquela temperatura, bem definida, na qual ocorre uma variação abrupta da resistência elétrica e indica a ocorrência de um fenômeno de transição de fase (que tem certas analogias com uma transição do tipo líquido-gás) em que as propriedades eletrônicas do material são modificadas (op. cit., p.1/2).

⁵A descoberta da supercondutividade em compostos complexos contendo lantânio, bário, cobre e oxigênio foi anunciada em 1986 pelos pesquisadores Karl Alex Müller e Georg Bednorz, em Zurique, Suíça.

Compostos complexos como o $\text{YBa}_2\text{Cu}_2\text{O}_7$ (conhecido entre os pesquisadores simplesmente como YBCO) apresenta uma temperatura crítica de 92 K. Essas descobertas representaram a superação de uma barreira tecnológica fundamental, relacionada com os líquidos refrigerantes criogênicos necessários à produção das baixas temperaturas. O nitrogênio líquido sofre ebulição a 77 K (-196°C). Equivale dizer que a supercondutividade pode ser observada e estudada a temperaturas ainda baixas, mas acima do ponto de ebulição do nitrogênio líquido, que é muito mais barato economicamente e mais simples de ser manuseado.

Mais recentemente, a pesquisa em supercondutividade tem se voltado à busca de diferentes compostos: óxidos, ligas, compostos orgânicos, com temperaturas críticas elevadas. O composto $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ é recorde atual, com uma temperatura crítica de 133 K.

A compreensão e a modelização do fenômeno da supercondutividade é um dos focos da pesquisa atual. Esse fenômeno intrigante contrasta fortemente com a condução elétrica dos metais normais.

O metal é pensado como um conjunto de átomos em interação eletrostática residual, ou seja, o núcleo e os elétrons mais internos dos átomos formam “caroço iônico” e os elétrons mais externos são considerados “elétrons de valência”. Os elétrons de valência têm sua função de onda afetada pela presença dos átomos da vizinhança, mas deslocam-se livremente pelo metal, pois nestas condições, são menos energéticos do que se permanecessem presos ao núcleo do átomo⁶. O modelo supõe, então, arranjos de caroços iônicos ou redes cristalinas imersas em um “gás de elétrons” (gás quântico dos elétrons de valência) que se propaga livremente pelo volume do metal. Um elétron de condução na presença de um campo elétrico (\mathbf{E}) obedece à periodicidade ou simetria da rede cristalina, formada pelos caroços iônicos. A rede, no entanto, não é um sistema perfeitamente regular, de forma que o elétron colide incessantemente com as imperfeições do cristal. Essa restrição leva à quantização que obedece ao princípio da exclusão de Pauli⁷. O gás de elétrons é adequadamente tratado, portanto, como constituído de partículas que obedecem

⁶O princípio de Heisenberg ($\Delta x \cdot \Delta p = \hbar$) afirma que os elétrons de valência que podem circular livremente pelo metal estejam em estado de menor energia, ou seja, pequenos deslocamentos implicariam grande energia cinética.

⁷Princípio da exclusão de Pauli é um dos mais fundamentais da teoria quântica. Ele afirma que a distribuição de partículas é tal que cada estado quântico não é ocupado por dois elétrons com números quânticos iguais.

à distribuição estatística de Fermi-Dirac. As soluções para estes sistemas mostram que, embora os elétrons se movimentem com uma velocidade muito grande⁸: a velocidade de Fermi (em torno de 10^6 m/s) o que torna os metais bons condutores, sua velocidade de deriva é pequena devido às colisões com os defeitos, impurezas, imperfeições⁹ ou desvios de uniformidade da rede cristalina.

Quando aplicamos um campo elétrico externo (**E**) em um metal, a condução elétrica obedece à *lei de Ohm*¹⁰ e a resistência pode ser entendida em termos da aleatoriedade dos sentidos das velocidades dos elétrons e dos choques destes com as imperfeições da rede cristalina.

O *estado supercondutor*, todavia, é um estado dominado por efeitos de correlações que são energeticamente favoráveis a baixas temperaturas. A supercondutividade é uma característica intrínseca dos materiais: quando resfriados a temperaturas críticas transitam para o *estado supercondutor* e passam a conduzir corrente elétrica sem perdas.

4.3.2 A Teoria microscópica da supercondutividade atualmente aceita pela comunidade científica

O modelo do “gás de elétrons” que se ajusta bem para os metais normais não serve para explicar a supercondutividade. A idéia básica é que os elétrons não podem ser tratados como partículas independentes. A supercondutividade é um fenômeno coletivo. A teoria microscópica atualmente aceita pressupõe que os elétrons organizam-se em pares com energias próximas, momentos lineares de mesmo módulo, porém de sentidos opostos, spin total nulo e apresentam interação atrativa indireta.

Explicitando: dois elétrons que se propagam num composto supercondutor em sentidos opostos vão interagindo com os íons da rede cristalina e produzindo uma deformação local,

⁸Nessa representação a energia dos elétrons é quantizada e a Energia de Fermi (ou velocidade de Fermi) é o nível máximo de energia, em que os elétrons de valência podem adquirir velocidades muitas vezes maiores do que a velocidade dos caroços iônicos.

⁹As imperfeições da rede cristalina podem ter várias naturezas: vacâncias (um átomo que salta para a superfície); interstício (átomo que muda de lugar, desalinha-se); deformação plástica (deslocamento de uma camada atômica sobre as outras).

¹⁰Lei de Ohm: $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$, aonde \mathbf{j} é a densidade de corrente, \mathbf{E} é o campo elétrico e σ é a condutividade elétrica (propriedade especificada da cada metal).

ou seja, quando os elétrons (negativos) passam eles atraem os íons (positivos) provocando uma pequena deformação na rede. Como os elétrons têm velocidades muito grandes comparadas às velocidades iônicas, podem deixar um rastro de carga positiva que passa a atraí-los de volta, num constante ir e vir, como se houvesse uma fraca força de atração entre os dois elétrons. Tal atração é, portanto, indireta e pode produzir um par de elétrons ligados, de momentos lineares e spin opostos, que recebe o nome de *par de Cooper*¹¹.

A interação dos elétrons com as vibrações da rede cristalina é um processo quântico chamado *interação elétron-fônon*¹². Essa interação atrativa é mediada pela troca de um fônon; é fraca e por isso os elétrons de um par de Cooper tendem a estar a distâncias muito grandes em relação à distância típica entre os íons da rede cristalina. Assim, o estado supercondutor envolve milhões de pares de Cooper imbricados, tal que a supercondutividade pode ser entendida como um fenômeno quântico macroscópico descrito por uma única função de onda. Existe uma interdependência importante entre os pares de Cooper, que caracteriza o comportamento coletivo. Em outras palavras, *a idéia de que os pares de Cooper num supercondutor formam um condensado fortemente correlacionado é a essência da teoria microscópica da supercondutividade* (op. cit., p. 35). Essa teoria é conhecida como teoria BCS, foi proposta em 1957 por John Bardeen, Leon Cooper e J. Robert Schriffer, mais de 40 anos após a descoberta da supercondutividade, o que faz sugerir que o processo de construção de hipóteses explicativas é, às vezes, bastante lento, trabalhoso e sucede a observação.

Em outros casos, a teoria antecede à experimentação. Segundo Moreira (2007), *há uma interdependência, uma relação dialética, entre teoria e experimentação. (...) A física de partículas, em particular a teoria dos quarks, é um belo exemplo disso. O que levou Gell-Mann e Zweig¹³ a postularem a existência dos quarks foi uma questão de simetria (o caminho óctuplo) e o que reforçou a aceitação de sua proposta foi uma questão de*

¹¹*Pares de Cooper* são atribuídos a Leon Cooper que, em 1956, teve a idéia de que os elétrons que transportam a “supercorrente” associam-se em pares enquanto se deslocam pelo material.

¹²Interação elétron-fônon: os pares de elétrons interagem através da troca de um fóton, que é emitido por um dos elétrons do par e absorvido pelo outro. Por isso diz-se que o fóton é *virtual*, tem a função de produzir atração entre as partículas. As oscilações da rede cristalina podem ser entendidas como um gás de excitações quantizadas denominadas *fônons*. Estas excitações mediam a interação atrativa dos pares de Cooper.

¹³Os físicos Murray Gell-Mann e George Zweig propuseram, independentemente, que algumas partículas fundamentais do núcleo atômico, prótons e nêutrons, eram *formadas por partículas ainda mais fundamentais que ficaram conhecidas como quarks* (Moreira, 2007, p. 163).

assimetria – por que tão poucos léptons (partículas leves) e tantos hádrons (partículas pesadas)? Esses exemplos ilustram um aspecto importante da epistemologia contemporânea: a não existência de um “método científico” único, absoluto ou definitivo capaz de levar o cientista à descoberta de princípios e teorias científicas.

A teoria BCS descreve bem as supercorrentes, o efeito Meissner, o campo magnético crítico, o salto do calor específico em T_c e outras propriedades, mas não se mostra suficiente para descrever o *estado supercondutor* dos novos cupratos supercondutores¹⁴ de alta temperatura crítica; da mesma forma que a teoria do “gás de elétrons” se mostra insuficiente para descrever as propriedades eletrônicas do estado normal destes materiais.

O cuprato mais famoso é o $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, que apresenta temperatura crítica próxima de 100K. É preparado na forma cerâmica por um processo relativamente simples e por isso é um dos materiais supercondutores mais estudados atualmente.

A complexa estrutura cristalina dos cupratos sugere que eles tenham aspectos e propriedades bastante interessantes e em grande medida desconhecidas. Algumas dessas propriedades já são bem conhecidas como a intensa anisotropia planar – os planos formados por CuO_2 contêm elétrons de grande mobilidade – e a forte interação mútua entre os elétrons móveis, por exemplo.

Existem, no entanto, muitas dificuldades para a formulação de uma descrição teórica do estado supercondutor desses sistemas. Inclusive, existem dúvidas sobre a origem do mecanismo de pareamento via troca de fônons que, teoricamente, não poderia produzir altas temperaturas críticas. Dúvidas sobre a aplicabilidade da teoria BCS aos cupratos e sobre a compreensão de suas propriedades eletrônicas têm estimulado a proposição de diferentes hipóteses teóricas.

Todas essas questões constituem, sem dúvida, um campo fértil para a reflexão epistemológica.

¹⁴Os cupratos supercondutores são compostos com estruturas cristalinas complexas contendo 4 a 5 átomos de natureza diferente cujo aspecto básico é uma seqüência de planos atômicos paralelos com composição CuO_2 . Essa característica da estrutura cristalina é responsável pela anisotropia planar, ou seja, a condutividade é maior na orientação paralela aos planos de CuO_2 do que na orientação perpendicular a estes planos.

4.3.3 Como se faz pesquisa em um moderno laboratório de Física?

Alguns meses de interação no laboratório de supercondutividade permitiu observar que para ser pesquisador na Física da Matéria Condensada é preciso, antes de tudo, como em qualquer outra especialidade, um importante e longo período de convivência, trabalho, estudo e aquisição de competências e habilidades próprias da área. Termos como monocristais, anisotropia, cupratos, YBCO, criostatos, pares de Cooper, susceptibilidade magnética, resistividade, etc. têm significado imediato para um pesquisador em supercondutividade, mas é certamente uma linguagem pouco compreensível para quem não é da área. Mesmo para os pesquisadores da área, afora os mais experientes, a estrutura conceitual, a habilidade na montagem e manuseio dos equipamentos e instrumentos, o cuidado com o preparo das amostras e das condições ideais para a realização das experiências, bem como dos programas de computador que controlam os experimentos constitui um permanente desafio e um processo de aprendizagem constante.

O filósofo da ciência Stephen Toulmin refere-se a esse processo como o de *enculturação*, através do qual os estudantes adquirem o domínio da linguagem e do pensamento conceitual. Na ciência, assim como em outras áreas, os conceitos são de uso coletivo e essa *herança conceitual é recriada em cada nova geração mediante os processos de “enculturação”, seja por imitação ou interação, seja por instrução ou educação formal*, afirma Toulmin (1977, p. 53).

O contato com alguns pesquisadores do laboratório de supercondutividade sugeriu que são necessários vários anos de enculturação: começa com *a iniciação científica* em que os alunos de graduação em Física têm seus primeiros contatos com o laboratório, reconhecem os instrumentos, aprendem a lidar com os programas de computador que monitoram os experimentos, cuidam de detalhes eletrônicos, adaptações e outras tantas atividades, além, é claro, de estudarem com profundidade os aspectos teórico-conceituais da área e se manterem atualizados com as produções e publicações de outros laboratórios em nível mundial; seguem depois no *mestrado*, período que se estende por dois ou três anos em que se dedicam a alguma pesquisa específica; concluem seu treinamento no *doutorado* onde uma pesquisa mais profunda é desenvolvida, em geral, buscando descrever em detalhe

novas propriedades dos materiais supercondutores, analisando o comportamento de amostras com novas ou levemente diferenciadas estruturas, estudando amostras já conhecidas sob diferentes condições físicas (temperatura, pressão, etc.).

*Na medida em que o estudante progride de seu primeiro ano de estudos em direção à sua tese de doutoramento, os problemas a enfrentar tornam-se mais complexos, ao mesmo tempo em que diminui o número dos precedentes que poderiam orientar seu estudo, assevera Kuhn (2003, p. 72), ao referir que os cientistas trabalham a partir de modelos – instrumentos intelectuais encontrados numa unidade histórica e pedagogicamente anterior – adquiridos através da educação ou da literatura a que são expostos subsequentemente dentro do que ele conceitua como *paradigmas* de uma comunidade científica que guiam tradições específicas de *ciência normal*. Ao estudar e utilizar na prática seus paradigmas, os membros de uma comunidade científica aprendem seu ofício, afirma Kuhn.*

Como já mencionado, o acesso, a leitura e o manuseio de artigos produzidos nos principais laboratórios de pesquisa da área é fundamental. É preciso estar atualizado, através dos meios eletrônicos e das revistas de publicação científica, acompanhar as novas “descobertas” e trabalhar em sintonia com as principais correntes atualmente aceitas pela comunidade científica internacional. Nesse sentido, a pesquisa na Física parece assumir, de fato, um aspecto cooperativo em que se dão trocas entre pesquisadores de diferentes laboratórios, de diferentes países, para explorar com maior riqueza de detalhes certas propriedades de materiais supercondutores. Assim, foi comum encontrar no laboratório de supercondutividade pesquisadores de laboratórios de outras regiões e de outros países, lidando com suas amostras e disputando horas de uso do SQUID, equipamento sofisticado usado para medir susceptibilidade magnética muito baixa, da ordem da magnetização cerebral.

Nem sempre, ao que pareceu, os pesquisadores se ocupam com problemas novos, como advertiu Kuhn, porque até mesmo a reprodução de experiências já publicadas é uma atividade importante para a Física Contemporânea: quando vários laboratórios em diferentes países confirmam os resultados de hipóteses novas elas passam a ganhar adesão, credibilidade e, em muitos casos, aclaram a penumbra de realizações cujo *status* ainda está em dúvida. O contrário também pode ocorrer, isto é, resultados experimentais repetidamente desconfirmados colocam a nova hipótese teórica em descrédito e muitas

vezes conduzem-na ao abandono. Os pesquisadores comentam isso com frequência em seus diálogos no laboratório.

Contudo, obter reconhecimento da comunidade científica parece ser um objetivo estreitamente associado à produção científica, ao número de publicações. Produzir artigos interessantes e publicá-los em revistas científicas importantes é o objetivo de todo físico, de todo pesquisador. Se, por um lado, publicar aumenta a chance de ser citado, o que aumenta o *status* de um cientista individual ou de um grupo de pesquisa, por outro, as publicações permitem o debate e a crítica e quem ganha com isso é a ciência. A teoria precisa fornecer explicações claras e fazer previsões possíveis de serem verificadas através de testes empíricos reproduzíveis por outros pesquisadores, em outros laboratórios. *O efeito físico, cientificamente significativo, pode ser definido como passível de ser regularmente repetido por qualquer pessoa que realize o experimento adequado, segundo o modo prescrito*, afirma Popper (2000, p. 47). Clareza na explicação do fato, simplicidade, elegância de raciocínio é o que parece distinguir um bom artigo, aquele que consegue convencer, persuadir seus pares.

Nesse aspecto, subjaz no ambiente do laboratório, na devoção e na dedicação dos pesquisadores, sempre atentos aos menores detalhes em suas atividades cotidianas, certa dose de competitividade. Ter a idéia, planejar os experimentos, obter dados com o máximo de precisão e publicar primeiro parece ser uma preocupação permanente da moderna pesquisa científica.

Ainda que o progresso científico esteja fortemente vinculado à resolução de problemas conceituais – não empíricos – que cumprem uma importante função na evolução das teorias, segundo Laudan (1977), problemas empíricos determinados parecem assumir alta prioridade no domínio científico do laboratório, pelo que foi possível observar, quando a área de pesquisa está bem desenvolvida, como é o caso da supercondutividade. Isso sugere que, de fato, se pratica, na maior parte do tempo, uma *ciência normal* como preconizada por Kuhn, onde muita energia é despendida para solucionar quebra-cabeças, *para alcançar o antecipado de uma nova maneira* (Kuhn, 2003, p. 59).

A grande maioria dessas características e nuances da vida do laboratório de supercondutividade é na verdade, do ponto de vista epistemológico, a confirmação que

tivemos a oportunidade de ter de muitos aspectos relacionados com a natureza da ciência, teorizados e discutidos com riqueza pelo conjunto de VECs que compoem o Referencial Teórico-Epistemológico, capítulo 3, desta tese.

4.3.4 Como é o cotidiano e em que consiste o trabalho do pesquisador moderno?

Para tentar compreender as nuances de um laboratório de Física Contemporânea, o Laboratório de Supercondutividade e Magnetismo, procuramos acompanhar e interagir com alguns pesquisadores, que passamos a identificar:

PESQUISADOR 1 (usamos a sigla PESQ1): trabalha com medidas de magnetização em compostos supercondutores complexos a temperaturas acima da temperatura crítica (200 a 300 K) e submetidos a intensos campos magnéticos. O objetivo é buscar novas propriedades magnéticas que possam contribuir para explicar o estado pré-supercondutor. As medidas são realizadas com um sensor SQUID (*Superconducting Quantum Interference Device*) que permite registrar sinais de susceptibilidade magnética extremamente sensíveis. Essa sensibilidade do equipamento exige uma cuidadosa rotina de preparação e limpeza da amostra, mensuração do sinal do próprio porta-amostra afim de avaliar possíveis perturbações, uma vez que o sinal da amostra é muito pequeno.

O sensor SQUID funciona com hélio líquido. Por se tratar de um elemento caro o laboratório é equipado com tubulação especial para recuperação do gás He e posterior reliquefação. Esta é uma das dificuldades técnicas importantes no estudo da supercondutividade, pois o SQUID deve ser monitorado para funcionar sempre com uma quantidade mínima de He. A liquefação do He não é um processo rápido e às vezes é preciso abortar todas as operações para reabastecimento do equipamento. Abastecido, o SQUID funciona por aproximadamente três dias e três noites ininterruptas, executando uma rotina de atividades previamente programada pelo pesquisador. No caso do PESQ1 as medidas experimentais eram programadas fixando-se a temperatura em diferentes valores entre 95 e 300K e variando-se o campo magnético. Depois era feito o contrário, fixando-se o campo em alguns valores (por exemplo: 8KOe, $1T^{15}$, 2T, 3T, 4T, ...), era variada a temperatura. O conjunto de medidas era realizado em pelo menos duas posições distintas

¹⁵ T é unidade de medida de indução magnética no Sistema Internacional, *Tesla*.

da amostra: uma com os planos cristalinos alinhados ao campo aplicado e outra na posição perpendicular. Isso se deve, como mencionado, ao conhecimento que já se tem de que os compostos supercondutores complexos apresentam intensa anisotropia planar.

As dificuldades, segundo o PESQ1, eram relacionadas com o preparo da amostra: limpeza, desoxidação, centralização e o correto alinhamento no porta-amostras do SQUID. Tudo isso levando em conta que a amostra tem alguns milímetros de tamanho. Tomadas essas precauções, introduzida a amostra e acionado o programa, o SQUID realiza as medidas automaticamente e fornece as curvas da susceptibilidade magnética em função da temperatura e do campo magnético. Refazer as medidas várias vezes com a mesma amostra e também com diferentes amostras do mesmo material parece ser uma providência capaz de fornecer ao pesquisador maior grau de segurança na base empírica. A amostra pequena submetida a campos magnéticos intensos pode sofrer leve inclinação e distorcer os resultados. Uma suspeita desta natureza pode levar o pesquisador a refazer todo um conjunto de medidas experimentais, embora, às vezes, o próprio pesquisador não acredite que resultados não esperados possam ser atribuídos a esse fator, a tendência criteriosa para a minimização de erros leva-o a refazer as medidas.

PESQ1: Todas as fontes de erro devem ser consideradas e às vezes assumem proporções tão importantes que o pesquisador desacredita dos dados empíricos exatamente porque espera algum resultado, com base nos seus conhecimentos anteriores (...).

O SQUID é um equipamento caro e raro, por isso a concorrência para seu uso é grande. Pesquisadores de outras universidades e de outros países, como já referido, estão na fila e disputam uma vaga para a realização de medidas de susceptibilidade magnética em diferentes materiais e sob diferentes formas (filmes finos, granulados, *clusters* de nanopartículas imersas em substratos, etc.). Quase sempre o objetivo é idêntico: procurar novas propriedades, novos comportamentos, novas possibilidades de aplicação, etc.. Enfim, uma disputa que pode paralisar temporariamente o trabalho de um pesquisador, sem contar as interrupções por falta do hélio para reabastecer o equipamento e outras eventualidades.

Diante desse panorama do cotidiano do laboratório e decorridas algumas semanas entre a realização de dois conjuntos de medidas o PESQ1 mostrava-se, finalmente, satisfeito com

os resultados: as curvas indicavam anisotropia do composto quando submetido a temperaturas altas e sob campos magnéticos intensos. Cada detalhe poderia revelar alguma característica, mostrar indícios de alguma propriedade nova ou algo que pudesse vir a ser decisivo na sua hipótese de pesquisa.

Com as curvas das medidas fornecidas pelo SQUID nas mãos, numa fria manhã de junho, o PESQ1 demonstrava sinais evidentes de alegria. Clara manifestação de que as expectativas e os ideais do pesquisador se confundiam com a emoção. A paixão pelo explicar, por desvendar algum carácter da íntima linguagem da natureza microscópica da matéria, é quase sempre um incentivo para a continuidade do trabalho. O pesquisador é um ser humano movido invariavelmente pela emoção geradora de mais e mais dedicação, persistência e uma quase entrega absoluta, em alguns casos. Todas as ações humanas acontecem num espaço de ação especificado estruturalmente como emoção – emoções são disposições corporais que especificam domínios de ação – e no caso dos cientistas, eles agem no domínio cognitivo válido para todos aqueles que aceitam o critério de validação das explicações científicas, assevera Maturana (2001, p. 57).

Outro aspecto que consideramos importante do ponto de vista epistemológico foi que o PESQ1 buscou reproduzir resultados experimentais obtidos e publicados por pesquisadores de um laboratório francês, fazendo uso da mesma amostra utilizada na França que foi remetida ao Brasil. A pesquisa atual parece realmente assumir o caráter de uma construção coletiva, uma Física que transcende às fronteiras territoriais e políticas. Os meios eletrônicos e as facilidades de comunicação e interação entre os pesquisadores favorecem enormemente essa tendência, ainda que, ao que tudo indica, exista uma inevitável corrida pelas novidades científicas ou “descobertas”, como já referido. Em outras palavras, quem publica primeiro uma nova propriedade, um fenômeno importante ou uma explicação plausível adquire os méritos do reconhecimento da comunidade científica internacional e conquista, muito provavelmente, os louros da imortalidade acadêmica. Isto, mais uma vez, sugere uma face da ciência como uma atividade genuinamente humana e por isso mesmo não desconectada dos sonhos e ideais dos homens e mulheres que a ela se dedicam.

PESQUISADOR 2 (PESQ2): estuda o comportamento da resistividade de amostras de compostos YBCO a baixas temperaturas porém sob altas pressões geradas por prensas

mecânicas. O objetivo é investigar a possibilidade de, sob condições físicas diversas, aumentar a T_c do composto supercondutor.

As medidas eram realizadas em criostato que utiliza hélio líquido revestido por uma parede de nitrogênio líquido para aumentar a eficiência e a durabilidade do hélio. As dificuldades eram de ordem operacional relacionadas com o preparo da amostra e do arranjo instrumental: a amostra precisa ficar imersa em fluído especial a fim de evitar o estilhaçamento ao ser submetida a altas pressões. Para medir a resistividade nessas condições todas as ligações que conectam a amostra, os termômetros (de *carbon-glass* e de platina) e a bobina são meticulosamente preparadas pelo pesquisador; fios condutores muito finos e sensíveis tem de ser cuidadosamente adaptados através de uma cana colocada no interior do criostato e que liga a amostra aos receptores de sinal.

A amostra é utilizada repetidas vezes, e frequentemente também é recebida de outros países ou de outros laboratórios. Como o composto oxida facilmente, a amostra precisa ser testada, lixada e desoxidada até atingir condições adequadas (baixa resistência em condições normais). Depois disso, deve ser mantida em ambiente protegido de umidade; é preciso confeccionar o recipiente para conter o fluido onde é mergulhada a amostra para ser submetida a altas pressões. Às vezes o trabalho de dias é perdido porque a amostra se rompe. Tudo isso é um ritual que em muito lembra os procedimentos de preparação cirúrgica. O objetivo é minimizar o erro e aumentar ao máximo a precisão dos dados coletados.

PESQ2: Buscamos novas propriedades com base em artigos recentes publicados na área. Mas quando os resultados não são os esperados, com base na segurança que temos de que os dados experimentais estão corretos, supomos propriedades totalmente novas, novos estados, etc..

Após quase dois meses de preparação, finalmente o PESQ2 conseguiu realizar um conjunto de medidas. E os resultados? Nada foi possível concluir. Novas e mais medidas precisavam ser feitas para verificar se haveria reprodutibilidade, para avaliar o erro, para identificar regularidades. O criostato desabastecido de hélio, a demora para repetir as medidas não escondiam um sentimento de desapontamento por parte do pesquisador, ansioso por novos resultados e finalmente poder passar para a fase de interpretação dos dados. Mas ainda era tempo de esperar pacientemente nova dotação de recursos para

recolocar o equipamento em funcionamento. Não era momento de desanimar. Uma espera paciente e um recomeçar constante também parecem ser características da pesquisa científica atual, onde cada detalhe pode ser decisivo, mas em contrapartida, cada sonho precisa ser mantido vivo dia após dia. De fato, como afirmam vários epistemólogos contemporâneos, devoção e paixão pelo explicar estão na pauta dos requisitos para o trabalho do cientista.

PESQUISADOR 3 (PESQ3): investiga a resistividade, a magnetoresistência e o Efeito Hall em compostos complexos como rutenocupratos ($\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$, comumente denominado Ru1212 com base na estequiometria do composto). A estratégia é mudar o composto substituindo, por exemplo, o elemento químico Sr por Co e mapear o comportamento do novo composto. O objetivo é tentar compreender o fenômeno da supercondutividade e magnetismo nesses sistemas complexos com a expectativa de aumentar a temperatura crítica (T_c). As medidas eram realizadas em criostato idêntico ao utilizado pelo PESQ2 e a magnetização era medida com uso do SQUID.

PESQ3: Procuramos interpretar os resultados com base na teoria existente. Quando a teoria não explica os resultados encontrados, eles são atribuídos a propriedades anômalas.

As dificuldades eram relacionadas com os aparatos instrumentais e eletrônicos, pois o criostato utilizado para as medidas de resistividade não era automatizado como o SQUID. Por isso, as coisas não eram tão simples. Era preciso calibrar os termômetros¹⁶, ajustar os programas de computador buscando automatizar a coleta de dados ao máximo para evitar intervenção humana, e assim minimizar o erro. Essas atividades demoram dias, às vezes semanas, e quando tudo parece pronto algum detalhe inesperado pode adiar por dias a experiência. O pesquisador pacientemente recomeça então a minuciosa rotina de “checagem” até que esteja convencido que tudo está funcionando.

¹⁶Mais de um termômetro é usado na mesma experiência. Por exemplo, o termômetro de platina é mais eficiente para temperaturas altas (≈ 110 K) enquanto o termômetro *carbon-glass* é mais preciso a baixas temperaturas (≈ 40 K). A calibração desses termômetros, que são construídos no próprio laboratório, é feita utilizando-se um termômetro calibrado pelo fabricante, que é mais sensível e mais caro. Por essas razões este não é usado nos experimentos. Contudo, o processo de calibração demanda tempo e dedicação por parte do pesquisador.

4.3.5 Quais são os desafios da pesquisa científica atual?

Um dos grandes desafios da Física do microcosmo talvez seja a medição, a precisão das medidas e o controle das grandezas físicas de interesse. Para se fazer pesquisa capaz de ser reconhecida pela comunidade científica é preciso competir com os laboratórios mais influentes do mundo, que dispõem de recursos e excelente instrumental; é crucial que as medidas sejam muito precisas ao mesmo tempo que não se consegue medir temperatura, resistividade ou susceptividade magnética diretamente. Todas as medidas são indiretas: mede-se corrente e voltagem para se obter a resistência; a resistência é comparada com a temperatura, que é tabelada; no SQUID, por exemplo, mede-se o momento magnético para se obter a susceptibilidade magnética. Em outras palavras, o trabalho do pesquisador atual cada vez mais depende de ter à mão aparelhos sofisticados, de cuidadosa calibragem, de bons programas de computador, de amostras bem preparadas, só para destacar alguns aspectos.

A vida num laboratório de supercondutividade é marcada, também, por desafios de natureza operacional: é preciso confeccionar suportes, roscas, plaquetas, recipientes para conter as amostras, furos milimétricos, contatos para condutores da espessura de fios de cabelo, tudo meticulosamente testado.

A escassez de recursos financeiros para a compra de materiais, insumos e instrumental é um dos motivos, muitas vezes, de atrasos e contratempos. Todo o processo de preparação das experiências: amostras, contatos elétricos, testagem do equipamento eletrônico e ajuste de programas computacionais constitui um intrincado quebra-cabeças operacional que demanda paciência, controle emocional, boa gestão técnica e financeira, e uma variada gama de habilidades e competências, já que não há técnicos suficientes para auxiliar o trabalho dos pesquisadores.

A questão da precisão das medidas e da minimização do erro, que nem de longe é uma característica específica da Física Experimental Contemporânea, pois a preocupação com a fidelidade dos dados e com a reprodutibilidade dos experimentos é, com certeza, uma das primeiras lições de todo aprendiz de pesquisa experimental há pelo menos dois séculos de espetacular avanço da Física, não deixa de ser também aqui uma questão essencial. Da

confiança que o pesquisador tem nos seus dados é que podem surgir novas hipóteses, novos comportamentos, novas propriedades, muitas vezes fundamentais para fechar todo um quebra-cabeças de um programa de pesquisa em andamento. Do contrário, os dados são considerados imprecisos e deles nada se pode esperar de muito promissor e as experiências são retomadas. A inclusão, nos programas que controlam os criostatos, de tabelas que fazem a conversão da resistência em temperatura, por exemplo, os ajustes nos programas que visam controlar temperatura e resistência através de um único multímetro, com vários canais (temperatura e resistência para termômetros distintos: platina, *carbon-glass*, por exemplo) é, muitas vezes, uma providência que demora semanas e objetiva, novamente, diminuir a intervenção humana e aumentar a confiabilidade nos dados.

Ainda que, às vezes, certas linhas de pesquisa pareçam, por mais instrumentalizadas que possam ser, uma investida rumo ao desconhecido, a mola propulsora de todo o trabalho de laboratório parece estar associada às expectativas e ideais do pesquisador, na esperança de produzir artigos relevantes, no ideal de construir uma carreira próspera. É um acontecimento raro, de fato, obter dados inesperados persistentes que levem a descobertas casuais. Na maioria das vezes o pesquisador tem idéias mais ou menos precisas de onde quer chegar e quais as sequências de dados experimentais ele deve considerar ou quais deve descartar, com base em teorias e resultados anteriores. Em outras palavras, via de regra, o pesquisador tem idéia do que está buscando e aonde quer chegar, baseado nos seus pressupostos teóricos e nos resultados de outros laboratórios. Não há, no entanto, garantia de que os achados sejam como o planejado. A matéria pode mostrar outra face da realidade, pode surpreender quando submetida a condições físicas diversas (pressão, temperatura, campos magnéticos intensos, etc.), e nisso parece residir a beleza do trabalho científico. Sempre há lugar para novas perguntas.

A pesquisa científica atual, seja ela experimental ou teórica, é, nesse sentido, um exercício de paciência e perseverança que muitas vezes leva o pesquisador a dedicar fins de semana inteiros ou sucessivas noites de sono. Depois de tudo testado e pronto, é preciso concluir um conjunto de medidas. Não dá para deixar para depois. No dia seguinte pode não haver hélio, ou nitrogênio, ou disponibilidade de equipamento e as medidas ficariam incompletas.

Só depois de obtidas as curvas, as tabelas, os esquemas é que é chegado o momento de interpretar os dados. Um conjunto de curvas nas mãos do pesquisador é sempre uma esperança. Pontos destoantes podem ser um erro de medida, um defeito no equipamento, um problema com a amostra. Mas podem muito bem estar mostrando um novo comportamento da matéria. É preciso estar atento. É preciso ser crítico e criativo ao mesmo tempo. É sempre uma atitude criativa do pesquisador, no seu gabinete, construir um modelo coerente e novo. Na dúvida, ele retorna ao laboratório e recomeça tudo outra vez. Quer ocorra reprodutibilidade dos dados ou repetidas desconfirmações, dependerá da imaginação do pesquisador dar um passo adiante.

4.3.6 Visões epistemológicas dos pesquisadores: uma breve análise de entrevistas

Nossa estada no laboratório de supercondutividade e magnetismo foi, sem dúvida, uma experiência enriquecedora. Dessa experiência resultaram algumas confirmações, como já referido, de vários aspectos das visões epistemológicas contemporâneas e muitas reflexões que nos levaram a realizar uma entrevista com os pesquisadores que observamos e com o professor-pesquisador coordenador do laboratório, e assim tentar compreender como eles próprios veem o seu trabalho.

O resultado das entrevistas não será objeto de análise aqui, mesmo porque o relatório sobre a observação no laboratório de supercondutividade deu origem a um trabalho já publicado (Massoni, 2009).

Procuraremos, contudo, destacar alguns aspectos que consideramos mais relevantes das nossas impressões, refletidas ao longo de alguns meses de observação no laboratório, confrontando-as com as visões dos próprios pesquisadores.

Os pesquisadores entrevistados foram unânimes com relação à relevância da tecnologia no avanço da Física Contemporânea. Além de permitir novas experiências com expectativas de “descoberta” de novas propriedades e novos comportamentos da matéria, o moderno instrumental parece estar intimamente ligado a algo muito mais crucial, inerente à pesquisa experimental: a precisão. Da precisão das medidas depende a confiança nos dados. O aparato tecnológico pressupõe muita teoria bem estabelecida em vários campos da Física, e

os pesquisadores não deixam dúvidas de que sabem disso. Mas quando se referem aos sistemas sobre os quais eles se debruçam parecem acreditar que o fato experimental, aquilo que vão obter do experimento com base nos instrumentos, este sim é definitivo e fundamental para o avanço de seu campo de pesquisa. Nesse sentido, parecem crer que o conhecimento científico deriva dos dados empíricos sérios e precisos, que cuidadosamente são tratados pela estatística de suas análises, numa postura epistemológica tipicamente empirista-indutivista.

Latour e Woolgar (1997, p. 61) afirmam que um moderno laboratório de pesquisa em neuroendocrinologia *distingue-se pela configuração particular dos aparelhos (...)* e que aparelhos sofisticados adquirem importância cada vez maior porque alguns fenômenos de interesse não poderiam ser observados sem eles.

Pode-se dizer que é assim também no laboratório de Física de supercondutividade e magnetismo.

Nas palavras do professor-pesquisador e coordenador do laboratório de supercondutividade: *acho que um experimental tem que ter habilidades bem universais, digamos assim (...). Ele tem que ter familiaridade com o equipamento, conhecer profundamente, detalhadamente como funciona (...). Tem que conhecer muito bem o sistema que ele está investigando: saber preparar a amostra em questão, saber caracterizá-la para depois poder interpretar os resultados (...). Então, tem que ter domínio do equipamento, domínio da amostra e isso implica certa habilidade manual, ou seja, muito trabalho (...).*

Os pesquisadores, em geral, destacam que o trabalho experimental envolve um longo período de preparação, aquisição de habilidades, domínio dos equipamentos e dos sistemas sob investigação (preparação e tipos de amostras, arranjos eletrônicos, tabelas de conversão de grandezas, calibragem, etc.). *Trata-se de um processo de aprendizagem com os pares*, afirmam.

Uma vez adquiridas essas habilidades isso não implica ter aprendido algum método à semelhança do “método científico”, mas parece dotar o pesquisador de certa segurança necessária para poder se arriscar em novos desafios, novas propostas. Possivelmente, um

processo de assimilação do *paradigma* da ciência normal de Kuhn (2003), no seu sentido sociológico, indicando toda a constelação de concepções, valores, técnicas, etc., partilhadas pelos membros de uma comunidade determinada.

As falas dos pesquisadores sugerem também que a atitude mais comum nos modernos laboratórios de Física, com relação aos dados experimentais, é “confiar desconfiando”. Isso reafirma a importância de algumas das principais características da pesquisa científica: a clareza e a reprodutibilidade. Dados não reprodutíveis e experimentos não descritos com precisão não são aceitos, não apenas pela comunidade científica, mas pela crítica do próprio pesquisador. É a *objetividade científica* de que fala Karl Popper (2000, p. 47): *só quando certos acontecimentos se repetem segundo regras ou regularidades, tal como é o caso dos experimentos passíveis de reprodução, podem ser as observações submetidas a prova – em princípio – por qualquer pessoa. (...). Somente por meio de tais repetições podemos chegar a convencer-nos de não estar frente a uma simples “coincidência” isolada, mas diante de acontecimentos que, por força de sua regularidade e possibilidade de reiteração, colocam-se, em princípio, como intersubjetivamente suscetíveis de prova.*

Com relação às publicações, a fala do professor-pesquisador parece autoexplicativa: *com a descoberta da supercondutividade de alta temperatura crítica (...) uma quantidade imensa de pessoas passaram a fazer experiências com esses materiais e foram reportados em revistas de renome internacional, as melhores, as que têm o maior parâmetro de impacto, trabalhos absolutamente falsos, completamente errados, de pessoas que mediam artefatos pensado que estavam medindo a propriedades físicas. Eram enganados pela complexidade do material, pelas dificuldades da experiência, pela afobação (...). Essa competição, que é um pouco a marca da nossa época (...): produtividade e competição (...). Mas, acho que é um pouco assim. Na quase totalidade das vezes não é fruto de uma postura desonesta. A pessoa se afoba mesmo (...).*

Na visão dos pesquisadores, que está de acordo com a visão de vários filósofos da ciência contemporâneos, a ciência básica *é uma empresa coletiva da humanidade como um todo*, conforme as palavras do professor-pesquisador entrevistado. Uma empresa porque as diversas áreas da ciência são hoje profissionalizadas; coletiva, conforme palavras do Pesquisador 2, porque *na maioria dos casos ninguém se apropria de um resultado e*

mantém aquilo em segredo. A gente não faz nada sozinho (...) a gente compara, vê o que os outros obtiveram (...). Nós precisamos desse intercâmbio de informações (...).

Os pressupostos teóricos e as expectativas são tão reais e estão tão presentes no cotidiano do pesquisador que acabam por desencadear grandes euforias ou certa dose de frustração, dependendo se eles obtêm ou não os resultados esperados. De qualquer forma as emoções, a paixão por explicar o mundo é que funcionam, como pudemos perceber e de acordo com Maturana (2001), como fonte da indispensável dedicação e persistência que permeiam a vida no laboratório.

A vivência no laboratório de supercondutividade pareceu indicar que os próprios pesquisadores não têm presente qual é a proporção relativa dos avanços científicos que vivemos na atualidade que pode ser atribuída a novas tecnologias ou a novos experimentos em comparação àquela decorrente de novos modelos conceituais, novas idéias, novas hipóteses. Talvez isso seja mesmo irrelevante. Uma visão, ainda que implícita, de que nossas teorias científicas precisam ser constantemente revisadas, modificadas, testadas e/ou substituídas, de que teorias não são infalíveis e de que não existem perguntas finais parece ser a chave do contínuo desenvolvimento de novas experiências e novas hipóteses.

Quando perguntados sobre como interpretam determinada curva ou dado resultado, rapidamente os pesquisadores fazem uso de papel e lápis e desenharam esquemas que esboçam geometrias de cristais ou de cupratos, imperfeições ou impurezas em redes cristalinas, planos cristalinos, bandas de condução, esquemas de arranjos experimentais, etc., tentando explicar certos comportamentos da matéria associando-os ao ferramental teórico disponível. Ao que parece, é a presença constante dos *modelos* como falam Bunge (1960) e Cartwright (2002).

Acompanhando o cotidiano de alguns pesquisadores nesse laboratório foi possível perceber traços característicos de uma *fenomenotécnica*, conceito cunhado pelo filósofo da ciência Gaston Bachelard (1988); da ciência como uma *empresa racional* como afirmado por Toulmin (1977). Apenas para destacar alguns desses traços: o objetivo final do laboratório são as publicações, a produção de artigos; há grande quantidade de trabalho debruçado em temas de ponta e uma dependência da tecnologia, ou seja, muitos fenômenos observados surgem a partir dos equipamentos utilizados no laboratório; presença de sofisticado

instrumental, que é um dos traços que distingue a reputação de diferentes laboratórios; utilização de modelos teóricos para interpretar fenômenos de interesse e domínio de linguagem específica entre os pesquisadores tem lugar comum; interdependência e debate através das publicações, seminários, encontros, dentre outros eventos. Em suma, o laboratório que serviu de base para a obra de Latour e Woolgar (1977), na década de 70 do século passado, em muito se parece, do ponto de vista epistemológico, com o laboratório de Física Contemporânea que observamos em 2007, quase 40 anos depois.

Parece, também, ser possível compreender melhor as atividades, o cotidiano do laboratório e a natureza da ciência contemporânea através de microestudos etnográficos. De igual forma, esperamos poder através de idêntica técnica (a etnografia) compreender melhor a cultura da sala de aula e as relações entre as concepções epistemológicas de professores de Física e suas estratégias docentes que, possivelmente, apontem caminhos para a melhoria do ensino da Física, e de ciências em geral. Essa é nossa esperança e é nela que depositamos toda a expectativa do trabalho de vários anos e que resultou na presente tese de doutorado.

Capítulo 5

ESTUDO I: UMA MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA E ESTUDO II: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE VISÕES EPISTEMOLÓGICAS CONTEMPORÂNEAS NA TRANSFORMAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE PROFESSORES DE FÍSICA ATUANTES¹⁷

5.1 Estudo I: uma motivação para a pesquisa

O estudo que resultou em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005) e nesta tese chamado de Estudo I, como referido anteriormente, serviu de motivação para uma pesquisa mais abrangente. O Estudo I foi um estudo de caso etnográfico que investigou as concepções sobre a natureza da ciência e as transformações das concepções de 23 futuros professores de Física, da UFRGS, à época, através da disciplina História e Epistemologia da Física, disciplina obrigatória oferecida no curso de Licenciatura em Física. Nessa disciplina foram apresentadas, discutidas e trabalhadas diferentes “visões epistemológicas contemporâneas” através da estratégia *colaborativo-presencial*, descrita em detalhe no item 5.2.3.1.

Os achados do Estudo I, que envolveu três etapas de análise qualitativa: i) descrição compreensiva do cotidiano da sala de aula; ii) análise de monografias produzidas pelos futuros professores sobre episódios da História da Física sob um viés epistemológico; iii) análise interpretativa de entrevistas individuais com cada estudante; e mais uma análise quantitativa dos resultados da aplicação de um questionário de pré e pós-teste em que os futuros professores deviam assinalar o grau de concordância ou discordância relativamente a vinte e cinco afirmações sobre aspectos da natureza da ciência, indicaram que mesmo ao final de um bom curso de graduação em Física os estudantes sustentavam concepções empiristas-indutivistas, em geral, sobre o trabalho dos cientistas e sobre a natureza da ciência; e que essas concepções sofreram transformações através da disciplina de História e Epistemologia da Física, que abordou de forma explícita um conjunto de diferentes visões epistemológicas, promoveu discussões em sala de aula, envolveu a elaboração de trabalhos em pequenos grupos e apresentações ao grande grupo.

¹⁷ Estudo publicado (Massoni e Moreira, 2007.b)

Os vinte e um futuros professores de Física que efetivamente concluíram a disciplina, ao final do Estudo I, foram classificados em três categorias: na Categoria 1, *visão adequada* às VECs, três futuros professores; na Categoria 2, *visão parcialmente adequada*, foram classificados dezesseis futuros professores; e na Categoria 3, *visão inadequada* apenas dois professores (Massoni e Moreira, 2007.a; Moreira, Massoni e Ostermann, 2007).

A Quadro 5.1 contém alguns dados e achados do Estudo I na tentativa de mostrar como as concepções dos futuros professores eram inicialmente inadequadas à epistemologia contemporânea, e alguns indícios de transformações ocorridas por efeito da Disciplina de História e Epistemologia da Física, que apresentou, discutiu e trabalhou explicitamente, como já mencionado, diferentes visões epistemológicas contemporâneas, aquelas citadas no Referencial Teórico-Epistemológico, Capítulo 3, desta tese.

Quadro 5.1 – Alguns dados e achados do Estudo I (Massoni, 2005).

Estudo I:	<i>Estudo de caso etnográfico sobre a contribuição de diferentes visões epistemológicas contemporâneas na formação de professores de Física. Pesquisa que se constituiu em Dissertação de Mestrado e que incitou a Tese de Doutorado.</i>
Disciplina envolvida no Estudo I:	<i>História e Epistemologia da Física, disciplina obrigatória no curso de Licenciatura em Física da UFRGS (1º sem/2004). A disciplina de Pesquisa em Ensino de Física foi observada de forma complementar (2º sem/2004).</i>
Participantes:	23 estudantes do último ano do curso de Licenciatura em Física, dos quais 21 concluíram a disciplina pesquisada.
Metodologia utilizada:	O Estudo I foi um estudo de caso etnográfico
Etapas do Estudo I:	Realizamos observação-participante durante dois semestres; entrevista individual com cada estudante; coleta e análise de monografias produzidas pelos estudantes sobre aspectos da História da Física e visões epistemológicas estudadas; aplicação e análise de pré e pós-teste sobre aspectos epistemológicos.
Concepções dos futuros professores de Física sobre a natureza da Ciência no início da disciplina Alguns recortes do Estudo I.	<i>As concepções iniciais eram, em sua maioria, inadequadas e fortemente associadas a visões empiristas- indutivistas. (p. 144). Com raras exceções, os estudantes pareciam acreditar que a Física se desenvolvia e se sustentava, ao longo da história, sobre bases sólidas porque assentada na observação e experimentação e, por isso mesmo, dando origem a leis e teorias fixas, verdadeiras e imutáveis (p. 144). (...) o curso de Física passa uma visão empirista-indutivista da natureza da ciência. (p.266). (...) os estudantes apresentaram surpresa, desconforto e resistência inicial tanto às novas idéias epistemológicas quanto à</i>

	<i>estratégias de trabalho de grupo, construção de mapas conceituais (...). (p.266).</i>
<p>Indícios de contribuições de uma disciplina de História e Epistemologia da Física na transformação das concepções dos futuros professores de Física. Alguns recortes do Estudo I.</p>	<p><i>(...) a disciplina de História e Epistemologia da Física provocou evolução ou aprimoramento das concepções de 16 dentre os 21 estudantes que efetivamente concluíram o curso. (...) 3 estudantes tinham visões bastante adequadas no início da disciplina (...). Apenas 2 alunos demonstraram permanecer, ao final da disciplina, com concepções inadequadas. (p.212).</i></p> <p><i>(...) um percentual de 76% dos estudantes que concluíram o curso encontrava-se na categoria visão parcialmente adequada; 14% na categoria visão adequada; e 10% na categoria visão inadequada. (p.212).</i></p> <p><i>Atividades colaborativas de grupo, seminários e, o uso de mapas conceituais foram estratégias que auxiliaram enormemente a superar obstáculos.(p.145).</i></p> <p><i>Os próprios livros didáticos transmitem uma visão inadequada da ciência, tratando a realidade objetiva como originária de teorias fixas e imutáveis. (p.267).</i></p> <p><i>Foi possível perceber que as visões e concepções do próprio professor sobre a natureza da ciência são passadas e interferem de forma decisiva nas concepções dos alunos. (p.145).</i></p> <p><i>(...) o resultado dos debates e discussões das idéias contemporâneas da natureza da ciência e suas implicações para ensino e aprendizagem feitas em sala de aula é o que de mais estável parece ter ficado na aprendizagem. (p.267).</i></p>

A organização bastante tradicional do curso de graduação em Física, as visões epistemológicas usualmente superadas transmitidas pelos livros didáticos e também por professores ao longo da escolarização e aulas predominantemente expositivo-tradicionais pareceram estar entre as principais dificuldades enfrentadas pelos estudantes para a construção de visões mais contextuais sobre a natureza e sobre o processo de evolução da ciência.

Os resultados do Estudo I, que teve por objetivo investigar a contribuição de VECs na transformação das concepções, contudo, foram positivos. Sugeriram que houve uma evolução significativa nas visões sobre a natureza da ciência da maioria dos estudantes, à época futuros professores de Física, e que o conjunto de VECs apresentadas, trabalhadas e discutidas na disciplina de História e Epistemologia da Física, aliadas ao método colaborativo-presencial, contribuíram positivamente para tornar os futuros professores de Física mais reflexivos e críticos.

5.2 Estudo II: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE A CONTRIBUIÇÃO DE VISÕES EPISTEMOLÓGICAS CONTEMPORÂNEAS NA TRANSFORMAÇÃO DAS CONCEPÇÕES DE PROFESSORES DE FÍSICA ATUANTES

5.2.1 Introdução

O estudo exploratório descrito neste capítulo teve o objetivo de investigar a contribuição de “visões epistemológicas contemporâneas” na transformação das concepções de professores de Física já atuantes, apresentadas em uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física na pós-graduação em Ensino de Física da UFRGS. A estratégia foi similar àquela do Estudo I.

O trabalho de campo deste estudo exploratório (Estudo II) se deu através de etnografia de sala de aula na disciplina de Epistemologia e Ensino de Física do curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, oferecida em janeiro de 2007, no formato de curso intensivo de verão. Complementarmente, atuamos como observadora-participante na disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, no primeiro semestre de 2007. Disciplina esta composta de quatro módulos: Relatividade, Supercondutividade, Física de Partículas e Física de Plasmas. Fizemos, no entanto, observação-participante apenas nos três últimos módulos, a saber, Supercondutividade, Física de Partículas e Física de Plasmas.

5.2.2 O objetivo do Estudo Exploratório (ESTUDO II)

Neste estudo exploratório, estivemos interessados em captar a influência de visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores de Física já atuantes, como possível fator de motivação para a melhoria das suas práticas docentes e do ensino de Física.

Acreditamos que “visões epistemológicas contemporâneas” como também a História da Física podem ser ferramentas potenciais na transformação das concepções, pois possibilitam ao professor refletir sobre suas próprias visões sobre a natureza da ciência na expectativa de que: aborde além dos conteúdos da Física aspectos sobre a Física; discuta as controvérsias históricas ocorridas na época da propositura das principais teorias físicas de

forma a contextualizá-las e facilitar seu aprendizado; apresente a Física como uma ciência em construção, inacabada e provisória ao invés de ensiná-la como um conhecimento definitivo e inquestionável; exerça uma prática docente efetivamente comprometida com a formação de cidadãos críticos e reflexivos. Adicionalmente, desejamos compreender a influência e o caráter motivador do método *colaborativo-presencial* que inclui a utilização de diferentes instrumentos heurísticos, que estão descritos em maior detalhe na seção 5.2.3.1, como já referido.

Assim, desafiados pelos achados da literatura com relação às concepções, ainda hoje, persistentemente inadequadas de estudantes e professores sobre a natureza da ciência e, ao mesmo tempo, motivados pelos resultados bastante positivos das contribuições das VECs na transformação das concepções de estudantes de graduação no Estudo I, estendemos o estudo para o curso de Pós-Graduação Profissional, buscando tornar a pesquisa mais abrangente. Nessa linha, este estudo exploratório através de observações em situação de sala de aula e interação com os estudantes, teve como objetivos:

- *compreender a contribuição de diferentes visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores já atuantes.*
- *buscar indícios de que a apresentação de visões mais contextuais sobre a natureza da ciência efetivamente oportunizam aos professores a reflexão sobre suas próprias concepções e a tomada de consciência da influência dessas idéias na prática docente.*
- *vislumbrar indícios da influência ou receptividade das estratégias de ensino utilizadas na disciplina em estudo, como fornecedoras de elementos motivadores aos professores para um permanente questionamento da sua prática didática.*

5.2.3 O público alvo, as estratégias e os resultados

Este estudo exploratório se compôs de duas etapas:

1. na primeira etapa trabalhamos com 27 professores matriculados na disciplina de Epistemologia e Ensino de Física oferecida no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS, porém aberta, por se tratar de curso de verão.

2. na segunda, estiveram envolvidos 10 professores matriculados na disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, também do Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS. Nove destes professores também participaram da disciplina da primeira etapa.

5.2.3.1 Etapa I: disciplina de Epistemologia e Ensino de Física

Essa disciplina foi oferecida aos professores no formato de curso intensivo de verão, durante uma semana, com oito horas-aula por dia, totalizando 40 horas-aula, em janeiro de 2007.

Nas aulas foram apresentadas, discutidas e trabalhadas as posturas de nove filósofos da ciência, aqueles mostrados no item 3.2 do Capítulo 3, desta tese. Entre os objetivos da disciplina destacam-se: proporcionar aos professores atuantes uma visão crítica acerca do problema da origem e justificação do conhecimento científico através do estudo da Filosofia e de aspectos históricos da Física e buscar as implicações destas idéias para o ensino da Física.

A estratégia de ensino consistiu de uma exposição introdutória, pelo docente da disciplina, dos principais conceitos e idéias do autor em pauta, com duração de 30 a 40 min, em geral com auxílio de transparências ou recurso *powerpoint*. Em seguida eram distribuídos textos de apoio, preparados pelo próprio professor e/ou pela pesquisadora para a disciplina. Esses textos continham as principais convicções epistemológicas dos epistemólogos em estudo, referências a suas obras básicas e a artigos publicados em revistas de ensino de Física, e no final, um mapa conceitual ou um diagrama V, de forma intercalada.

Os professores (então alunos) eram solicitados, em continuidade, a dividirem-se em grupos de 3 a 4 integrantes para realizarem uma tarefa que consistia em traçar um mapa conceitual¹⁸, ou um diagrama V¹⁹, também de forma intercalada, sobre a epistemologia

¹⁸ Mapas conceituais: são diagramas que expressam relações entre conceitos e devem, de alguma forma, refletir as hierarquias entre os conceitos que estão sendo ensinados em uma aula, ou refletem a organização conceitual de um corpo de conhecimento ou parte dele (Moreira, 2006).

¹⁹ Diagrama V (também conhecido como V de Gowin): é um instrumento heurístico que tem o fim de “desempacotar” o conhecimento a fim de torná-lo adequado para fins instrucionais. Possui a forma de um Vê e faz a conexão entre eventos, fatos e conceitos. (Moreira, 2006).

desse autor. Explicitando: se o texto de apoio oferecesse mapa conceitual, deveriam construir um diagrama V e vice-versa. Durante a realização dessas tarefas docente e pesquisadora (que também atuava como docente) circulavam entre os grupos orientando e discutindo com os professores-alunos as questões epistemológicas. Essa etapa durava de duas a três horas-aula e era marcada por muita interação social entre professores-alunos e entre docentes e professores-alunos. Esta estratégia vem sendo denominada pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da UFRGS de método “colaborativo-presencial”.

Concluída a tarefa, um ou mais integrantes do grupo apresentavam o mapa conceitual (ou diagrama V, conforme o caso) para o grande grupo, em transparências para escrita normal ou em *datashow*. Os trabalhos eram criticados e comentados pelo grande grupo e pelos docentes. Estes também eram momentos de intensa interação, em que surgiam discussões, às vezes divergências, oportunidades de esclarecimentos e, em outras vezes, afloravam concepções fortemente enraizadas nos professores-alunos. Depois disto, os trabalhos eram entregues para fins de avaliação. Podiam, no entanto, serem revisados, em função dos comentários e críticas, antes de serem entregues.

As apresentações duravam aproximadamente duas horas-aula de forma que, muitas vezes, o texto de apoio do epistemólogo seguinte era lido fora do horário de aula, assim como algumas das tarefas eram concluídas à noite e apresentadas na manhã seguinte.

Isto ocorria, dadas as características do curso: intensivo, ininterrupto e introdutório. Se por um lado isto pode parecer problemático, tendo em vista a diversidade de visões apresentadas, por outro, são oportunidades raras de professores atuantes, normalmente com carga horária intensa, buscarem aperfeiçoamento e atualização na sua formação. De qualquer forma, para o pesquisador, uma fonte rica para exploração, pois favorecia a observação, a percepção de formas de pensamento, a interação e aprendizado junto a experiências docentes de muitos anos, em alguns casos, e também porque os professores-alunos atuavam em diferentes níveis de ensino e em diferentes regiões do país.

O Quadro 5.2 mostra alguns dados do público alvo desta etapa do estudo exploratório, colhidos através de um pequeno questionário aplicado no último dia de aula dessa disciplina. O questionário, de apenas cinco perguntas, incluía uma em que era solicitado ao professor-aluno opinar livremente sobre a contribuição das visões epistemológicas

contemporâneas estudadas no curso para a sua prática docente. Essas respostas serão analisadas ao longo deste trabalho.

Quadro 5.2 – Identificação dos professores-alunos inscritos na disciplina Epistemologia e Ensino de Física/2007

SIGLA	SEXO	NÍVEL DE ENSINO EM QUE ATUA	UF	TEMPO DE ATUAÇÃO	JÁ ESTUDOU EPISTEMOLOGIA?	EM QUAL INSTITUIÇÃO?
PROF1	Masculino	MÉDIO	RS	17 anos	NÃO	-
PROF2	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	15 anos	SIM	UFRGS
PROF3	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	SC	5 anos	SIM	UFRGS
PROF4	Masculino	MÉDIO	RS	4 anos	NÃO	-
PROF5	Masculino	NÃO LECIONA	-	-	SIM	FURG
PROF6	Feminino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	PR	15 anos	NÃO	-
PROF7	Feminino	SUPERIOR	RS	11 anos	NÃO	-
PROF8	Feminino	MÉDIO E SUPERIOR	RS	12 anos	NÃO	-
PROF9	Masculino	SUPERIOR	RS	10 anos	NÃO	-
PROF10	Masculino	SUPERIOR	RS	20 anos	SIM	UFSM
PROF11	Feminino	FUNDAMENTAL	RS	5 anos	SIM	UNISC
PROF12	Masculino	MÉDIO	RS	22 anos	SIM	UFBA
PROF13	Feminino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	7 anos	NÃO	-
PROF14	Masculino	MÉDIO	RS	29 anos	NÃO	-
PROF15	Masculino	MÉDIO	RS	2 anos	SIM	UFRGS
PROF16	Masculino	SUPERIOR	RS	2 anos	SIM	UFRGS
PROF17	Masculino	MÉDIO	SC	6 anos	NÃO	-
PROF18	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	11 anos	SIM	UPF
PROF19	Feminino	NÃO LECIONA	-	-	SIM	UFRGS
PROF20	Masculino	MÉDIO E SUPERIOR	MG	15 anos	SIM	UFMG
PROF21	Feminino	MÉDIO	RS	15 anos	NÃO	-
PROF22	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	5 anos	NÃO	-
PROF23	Masculino	MÉDIO	RS	20 anos	NÃO	-
PROF24	Masculino	MÉDIO	RS	18 anos	NÃO	-
PROF25	Masculino	NÃO RESPONDEU	-	-	Não respondeu	-
PROF26	Masculino	NÃO RESPONDEU	-	-	Não respondeu	-
PROF27	Feminino	SUPERIOR	RJ	10 anos	Não respondeu	-

Os Gráficos 5.1 e 5.2, adicionalmente, favorecem uma visualização das características mais relevantes do grupo de professores-alunos observados.

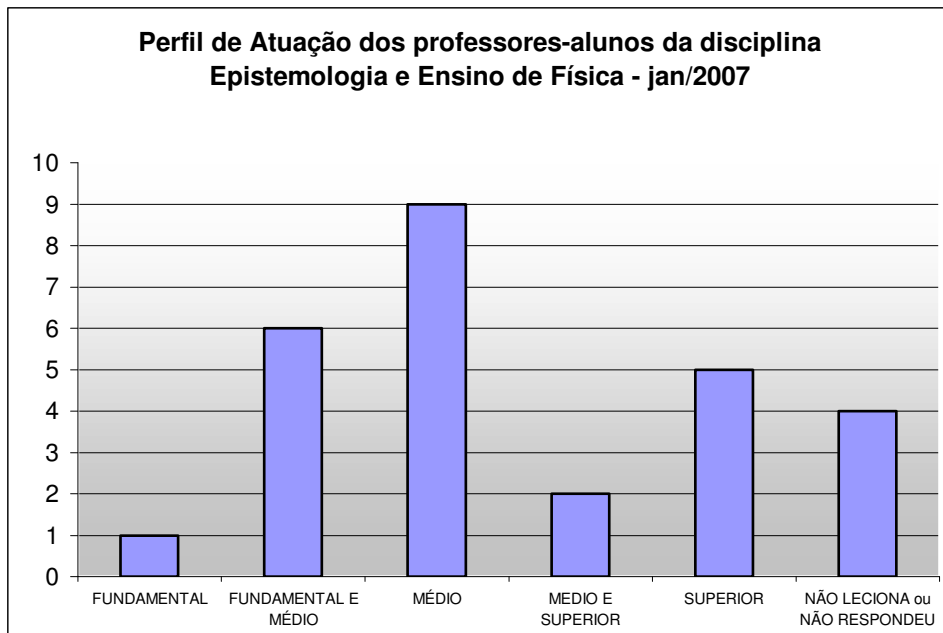


Gráfico 5.1 – Nível de ensino em que atuam os professores matriculados na disciplina Epistemologia e Ensino de Física, jan/2007.

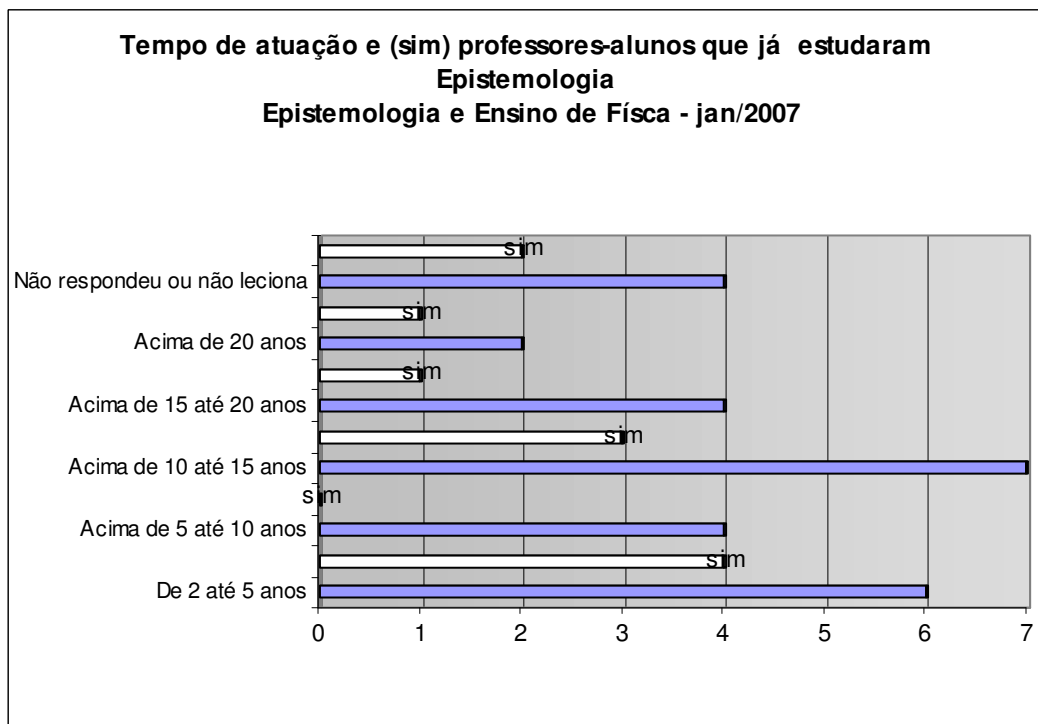


Gráfico 5.2 – Tempo de atuação e indicação dos professores matriculados na disciplina Epistemologia e Ensino de Física, jan/2007, que já tinham estudado Epistemologia na sua formação.

Da observação do Gráfico 5.1 obtém-se que 55% dos professores-alunos da disciplina desenvolviam suas atividades docentes no ensino médio e fundamental. Se levássemos em conta que 15% dos professores não responderam, esse percentual poderia ser maior.

O Gráfico 5.2 mostra que pelo menos 63% dos professores-alunos pesquisados tinham experiência docente entre 2 e 15 anos. Salienta-se que ter no mínimo 2 anos de prática docente é uma exigência para o ingresso no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS. Os professores-alunos PROF5 e PROF19 informaram que naquele momento não lecionavam e sua participação se deve ao fato de ser, essa disciplina, um curso aberto.

Também se pode ver que entre os 63% com esse perfil, que totalizam 17 professores, 7 informaram já ter estudado alguma disciplina de Epistemologia ou Filosofia da Ciência, sendo que dentre os 7, 4 tinham 2 e 5 anos de atuação.

Isto parece indicar que os professores-alunos que concluíram sua formação acadêmica mais recentemente tiveram maiores oportunidades de acesso a disciplinas destinadas a uma formação epistemológica mais contextualizada. Este resultado está de acordo com nossa revisão da literatura, de onde se extrai que o movimento que visa a inclusão de disciplinas que abordem a natureza da ciência na formação de professores, e também no ensino médio, é um movimento que passou a envolver muitos países no mundo nas últimas duas ou três décadas, mas nem todas as universidades adoraram ainda essa orientação. E mais, que não se observa ainda um resultado desejável desse processo para a melhoria das visões sobre a natureza da ciência de professores e alunos.

Em números absolutos, vê-se da Tabela 5.2 que 11 dos 27 professores-alunos da disciplina em estudo, ou 40%, tinham tido alguma introdução em Epistemologia ou Filosofia da Ciência na sua formação. Em sua maioria, 9 destes 11, realizaram seus estudos em universidades públicas, em diferentes regiões do país.

Embora tenhamos apresentado até aqui alguns dados quantitativos, eles têm unicamente o objetivo de oferecer um panorama da realidade social em estudo.

A metodologia utilizada neste estudo exploratório foi, no entanto, essencialmente qualitativa.

A pesquisa qualitativa ou interpretativa volta-se à compreensão das *ações* e do *significado* que as pessoas atribuem às ações e eventos naquele cenário particular e naquele momento, segundo Erickson (1986, p.119). Não tem compromissos com a comprovação de hipóteses previamente construídas, volta-se a compreender a cultura daquele grupo social com base em um paradigma em que a realidade é socialmente construída. Nesta perspectiva, os dados são analisados indutivamente; as hipóteses vão sendo construídas ao longo da pesquisa. A descrição acurada do ambiente natural, da vida como ela é vivida e do contexto social são características fundamentais desse tipo de pesquisa, que visa à compreensão e, eventualmente, a achados que podem evidenciar algumas regularidades, mas sem o objetivo de generalização.

Nessa linha, nossa interação e observação em sala de aula, com base em relatos das atitudes, expressões e manifestações espontâneas, sugerem-nos que, ainda que um percentual significativo (40%) dos professores-alunos tivesse já alguma introdução à Epistemologia, eles se mostravam, exceto alguns como é o caso do PROF15 que participou também do Estudo I em uma disciplina de História e Epistemologia da Física, surpresos diante das visões que eram apresentadas.

Com isso, não estamos aventando que se mostrassem resistentes, pois, ao contrário, o grupo sempre se mostrou muito receptivo às novas e diferentes visões sobre a natureza da ciência. A surpresa evidente a cada nova exposição introdutória do docente da disciplina parecia indicar que: ou desconheciam a diversidade de visões epistemológicas contemporâneas, pois mesmo os já iniciados informaram, em diálogos, que tinham estudado apenas algumas dessas visões mais conhecidas como Popper, Kuhn e Lakatos, exceção feita, repetimos, ao PROF15; ou percebiam, perplexos, nessa nova maneira de interpretar a natureza das leis e teorias físicas e seu processo de evolução, oportunidades e estratégias facilitadoras para suas práticas docentes; ou ainda, porque tais visões contrastavam em muito com suas concepções mais profundas no empirismo-indutivismo, que, como já mencionado, são idéias comuns nos cursos tradicionais de Física.

Não saberíamos eleger qual dessas opções era mais comum, pois o grupo era bastante heterogêneo. Mas, especialmente na primeira aula, em que foi explicitado que o empirismo-indutivismo é uma filosofia superada e foi apresentado o *racionalismo crítico* de Popper como uma das visões aceitas na atualidade, o impacto perceptível fez-nos suspeitar que muitos ali detinham concepções empiristas-indutivistas profundamente enraizadas

Algumas falas da fase de discussão desse primeiro dia de aula:

PROF22: “*Então quer dizer que em alguns casos a observação pode estar equivocada?*”

PROF25: “*O fato de não ter sido detectada a matéria escura não significa que ela não exista. Uma teoria tem que fazer previsões (...)*”

PROF4: “*Os positivistas deixaram de defender sua filosofia após Popper?*”

PROF20: “*A formação do professor é feita em módulos e o que ele tenta fazer é reproduzir o que ele mesmo aprendeu*”.

PROF19: “*Isso tudo vale também para outras ciências, a Biologia, por exemplo?*”

Se por um lado essas falas parecem confirmar nossas suspeitas, por outro lado, conversas e interações nos pequenos grupos, em que o diálogo era sempre muito espontâneo, não deixaram dúvidas de que o grupo de professores-alunos apresentava uma postura bastante aberta e receptiva às novas visões, em contraste com a postura inicial dos alunos observados no Estudo I, todos em fase final do curso de graduação e na sua maioria sem experiência docente, que se mostravam muito mais resistentes e menos receptivos, num primeiro momento, às visões epistemológicas contemporâneas, excetuados casos pontuais.

Nossa hipótese é de que o amadurecimento profissional, a convivência diária com seus próprios alunos, muito jovens em geral, favoreceria uma postura mais aberta e tolerante dos professores atuantes em relação ao “novo”, ao “inusitado”.

O exame minucioso dos trabalhos realizados durante a disciplina sugere que não houve diferença significativa no desempenho de professores-alunos que já tinham alguma introdução em epistemologia em relação àqueles que estavam tendo seu primeiro contato com as novas visões epistemológicas contemporâneas.

Isto parece corroborar alguns achados do Estudo I de que uma disciplina, tão somente, não dá conta das transformações desejáveis nas concepções epistemológicas dos estudantes, em geral transmitidas por livros de texto e por docentes sob bases empiristas-indutivistas ao longo de toda a formação escolar e acadêmica. O processo de transformação é lento e progressivo.

Mostra-se através das figuras 5.1 e 5.2 dois exemplos representativos.

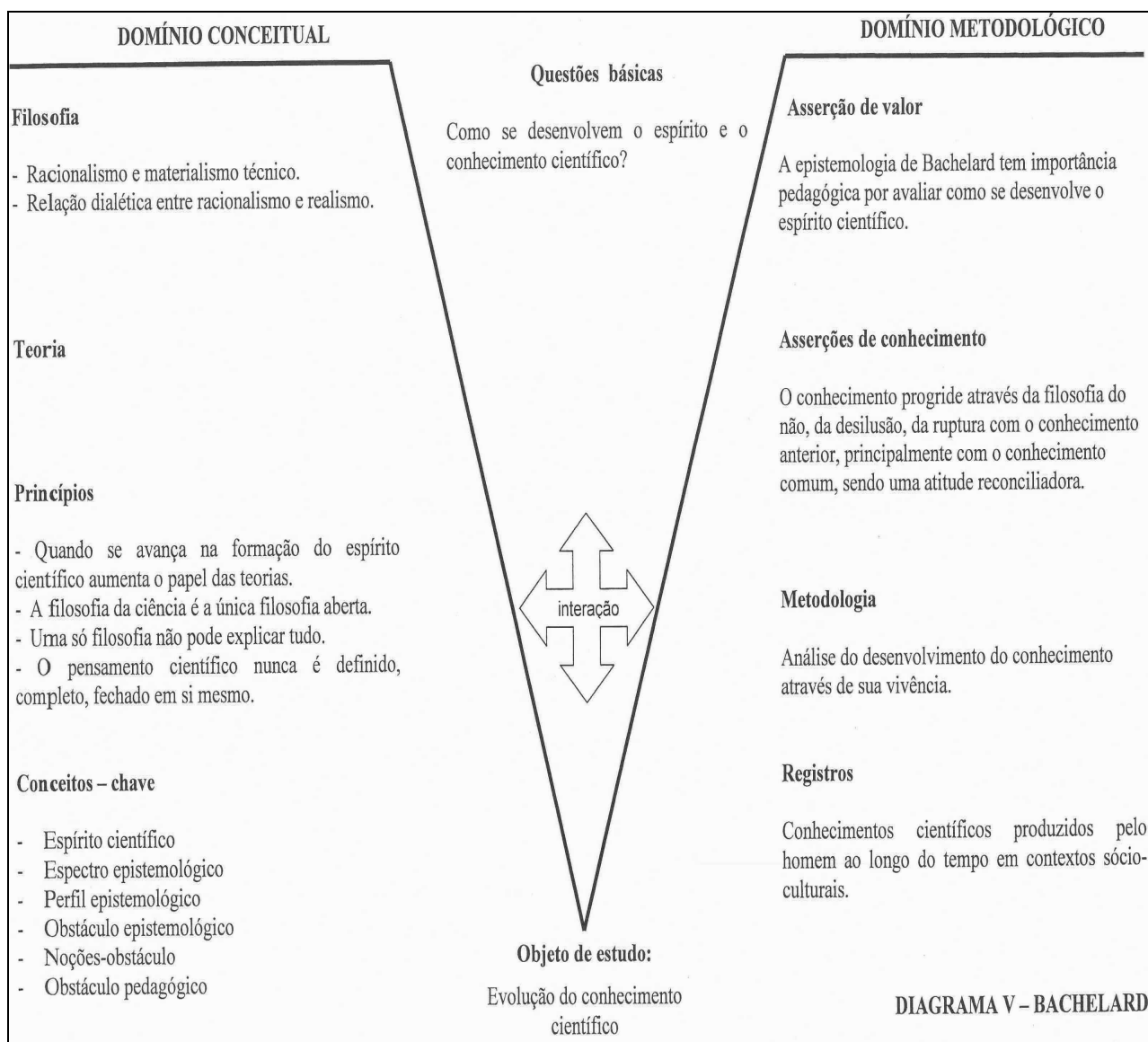


Figura 5.1 - Diagrama V da Epistemologia de Bachelard, elaborado pelos PROF21, PROF22, PROF23 e PROF24.

A Figura 5.1 mostra um diagrama V da Epistemologia de Bachelard realizado pelo grupo dos PROF21, PROF22, PROF23 e PROF24, que informaram nunca ter estudado epistemologia ou filosofia da ciência em sua formação.

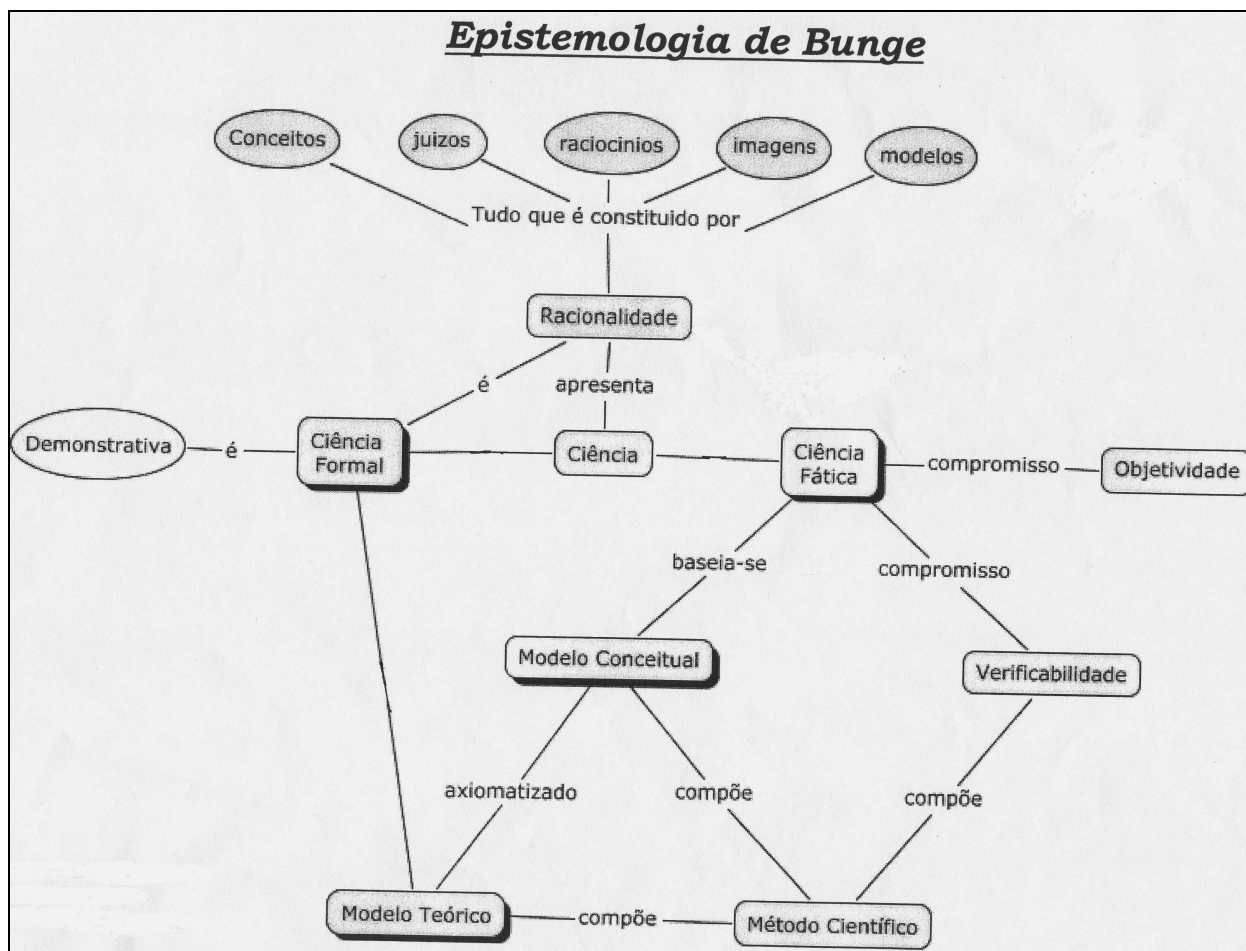


Figura 5.2: Mapa Conceitual da Epistemologia de Bunge, elaborado pelos PROF15, PROF16 e PROF25.

A Figura 5.2 mostra um mapa conceitual da Epistemologia de Bunge elaborado pelo grupo dos PROF15, PROF16 e PROF25 que, como pode ser verificado na Tabela 5.2, pelos menos dois integrantes (PROF15 e PROF16) já tinham cursado uma disciplina de História e Epistemologia da Física.

Destacamos que a grande maioria dos trabalhos foi apresentada em transparências para escrita normal. Embora tivessem acesso a recursos de informática, o seu uso pressupunha tivessem algum contato anterior com as ferramentas computacionais que facilitavam a

construção de mapas conceituais e diagramas V. Aqui optamos por mostrar dois exemplos já transcritos para o computador simplesmente por questões de melhor visualização.

É possível inferir da observação participante que nesse tipo de atividade os maiores ganhos podem estar relacionados com as discussões e interações de grupo, tanto nos pequenos grupos quanto no grande grupo. Nesses momentos era comum aparecer questões, opiniões, perguntas, respostas, pontos de vista e esclarecimentos por parte do docente da disciplina.

Os dois trabalhos, embora simples, mostram de forma esquemática os principais conceitos e idéias das visões epistemológicas abordadas. Esta característica, ausência de profundidade, foi comum a todas as tarefas elaboradas e apresentadas ao longo das aulas. De novo, entendemos que isto pode ser atribuído ao caráter bastante introdutório da disciplina e ao tempo exíguo para escrever trabalhos mais elaborados, sem, no entanto, cair no “tudo vale”.

Com base nos diários de campo, no exame das tarefas e nas manifestações dos professores-alunos em resposta à pergunta 5 do questionário aplicado ao final do curso (*5 – opine livremente sobre o curso de Epistemologia aqui oferecido. Se for o caso, de que forma as visões epistemológicas aqui estudadas poderão contribuir na sua prática de ensino?*) é possível inferir que a disciplina estimulou o interesse pelas visões epistemológicas contemporâneas e fomentou algumas reflexões sobre a prática docente que eles adotavam e sobre estratégias, por assim dizer, epistemologicamente mais contextualizadas.

No que tange à transformação das concepções é possível que os professores-alunos tenham saído do curso com as mesmas concepções com as quais chegaram, mas provavelmente perturbadas. A maioria das respostas ressaltou espontaneamente a importância que os professores-alunos atribuíram às visões epistemológicas contemporâneas, mas ficamos com a impressão de que a estratégia de ensino utilizada na disciplina (*estratégia colaborativo-presencial*) prevaleceu em termos de interesse e como fator de motivação à reflexão.

Passamos a transcrever parte de algumas manifestações dos professores-alunos que parecem confirmar essas suspeitas:

- PROF 4: *O curso forneceu uma boa base para continuar o estudo no assunto. Certamente contribuirá no meu ensino, porém não sei como neste momento.*
- PROF 7: *A dinâmica do curso: apresentação do epistemólogo e depois discussão em pequenos grupos e finalmente a apresentação dos grupos, de seus trabalhos, para toda a turma torna o aproveitamento mais efetivo. (...). Cada uma das epistemologias apresentadas e por nós discutidas me fez pensar em minha prática de ensino e me colocar no papel do aluno (...).*
- PROF 9: *(...) além das visões epistemológicas, que vão contribuir na minha prática docente, a utilização dos mapas conceituais e diagramas V permitem proporcionar atividades com os alunos de previsíveis resultados.*
- PROF 10: *Foi a primeira vez que participei de um curso com essa dinâmica, ou seja, é apresentada uma parte teórica inicial, na sequência é realizada a discussão e finalmente é desenvolvida uma conclusão no pequeno grupo e discutida globalmente. Utilizarei essa dinâmica em algumas discussões de conceitos em minhas aulas de Eletromagnetismo Clássico e de Física Computacional.*
- PROF 12: *Antes de pensar nas visões epistemológicas é mister ressaltar que a dinâmica utilizada no curso (discussão baseada na construção de mapas e vês) pode ser transposta para a sala de aula (...). Quanto às visões epistemológicas (...) parece haver uma correlação direta entre a forma como o ser humano, ao longo de sua história, produz o conhecimento científico e os mecanismos subjacentes de aprendizagem desse conhecimento (...).*
- PROF 14: *Para mim foi uma agradável surpresa, embora o tempo envolvido nos trabalhos tenha sido insuficiente para uma maior reflexão (...).*
- PROF 15: *O fato de termos “idéias” sobre como se dá o progresso da ciência nos dá um entendimento maior sobre como pode se dar a compreensão do aluno. (...) a reflexão gerada se apresenta como algo muito importante para refletir as práticas docentes.*
- PROF 16: *(...) como introdução, o curso é excelente, destacando a participação do aluno e a não intervenção determinante do professor, deixando aberto ao aluno a criação de suas idéias.*
- PROF 17: *Essas visões epistemológicas estudadas (mesmo em parte) irão contribuir para uma melhor compreensão do desenvolvimento científico (aprendizado) do meu aluno. “Compreender porque o aluno não compreende”.*
- PROF 18: *(...). Com as discussões referentes à ciência e seus processos, através dos diagramas V e mapas conceituais, consegui compreender como o conhecimento progrediu na visão de cada epistemólogo, o que me auxiliará muito na elaboração das aulas. (...) com certeza serão estratégias que farei uso na minha vida profissional.*
- PROF 20: *O entendimento das discussões referentes à ciência e seus processos, mesmo que não seja tão profundo, constitui-se num elemento importante para elaborarmos visões menos ingênuas e simplificadas do assunto. Tal conhecimento é de suma importância na condução e formatação das disciplinas a serem lecionadas no curso superior, principalmente, na formação de professores (...) outra contribuição do curso foi a utilização do V de Gowin e dos mapas conceituais (...) com certeza vou empregá-los em meus cursos (...).*

PROF 22: (...). *Não sei exatamente em que ponto o estudo das epistemologias pode me ajudar na prática. Acho que ainda é necessário um pouco mais de tempo para que essas idéias amadureçam. (...) A forma de apresentação e organização dos debates (mapas conceituais e diagramas V) está excelente, pois permite a troca de idéias entre alunos e também constitui uma forma de avaliar diferente das tradicionais.*

PROF 23: (...). *As visões epistemológicas de Maturana, Bachelard e Bunge com certeza vão auxiliar, e muito, nas minhas atividades docentes.*

Possivelmente a ênfase atribuída às estratégias de ensino utilizadas na disciplina estivesse associada às expectativas dos professores-alunos, a grande maioria já atuante havia vários anos, relacionadas com a busca de meios para fazer com que seus alunos compreendam melhor os conteúdos da Física. Essas expectativas parecem normais a todo especialista: dominar técnicas e metodologias eficazes na obtenção de seus objetivos específicos. Não há razões para pensarmos que com os professores seria diferente. Entretanto, técnicas tendem a se tornar bem estabelecidas, o que representa um estado mais estável em termos energéticos para a mente, se assim preferirmos pensar, de um ponto de vista físico. Mas justamente esta é uma visão que procuramos combater no processo mesmo da ciência. O conhecer é qualquer coisa menos um processo que repousa sob princípios fixos e estáveis. Procura-se mostrar através de visões epistemológicas contemporâneas que nem as leis naturais (como as leis da Física, por exemplo), menos ainda aquelas associadas aos organismos vivos (o conhecedor, ver Maturana e Mayr) têm natureza ou *status* imutáveis e universais. São conjeturais, provisórias, evolutivas. Então, temos de aceitar que o ato cognitivo é uma permanente ruptura, uma desilusão, uma desconstrução.

5.2.3.2 Etapa II: disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II

A disciplina envolvida na segunda etapa do estudo exploratório foi oferecida no primeiro semestre de 2007, no curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS e dividiu-se em 4 módulos: Relatividade, Física de Partículas, Supercondutividade e Física de Plasmas. Cada módulo foi lecionado por um professor da respectiva área de pesquisa, nessa ordem. Fizemos observação-participante nos três últimos módulos.

O objetivo da disciplina é discutir temas de Física Contemporânea com potencial de inserção no currículo de Física do ensino médio buscando suprir lacunas de conteúdo que os professores possam apresentar.

Como referido, esta disciplina teve duração de um semestre, com 4 semanas para cada módulo. A carga horária semanal foi de 4 horas-aula concentradas no período da manhã do mesmo dia, às sextas-feiras, totalizando 64 horas-aula.

O programa contemplou introdução aos conceitos, princípios, leis de conservação, modelos, postulados, etc., de cada área da Física Moderna estudada, em geral, apresentados na forma de aulas expositivas e seminários sem demasiado aprofundamento no formalismo matemático. Eram também propostas leituras de textos e artigos relacionados que os professores-alunos efetuavam fora do horário de aula e que serviam de base para discussões e realização de tarefas em grupo. Ao final de cada módulo, que levou em conta a presença, a participação e a realização das tarefas propostas, houve uma avaliação em forma de prova ou de um trabalho escrito, que foi entregue ao docente, sobre tópicos relevantes do tema em estudo.

Estavam matriculados na disciplina 10 professores-alunos, 9 dos quais também participaram da Etapa I deste estudo exploratório. O público alvo está identificado no Quadro 5.3, sendo que o décimo professor-aluno (que não participou da Etapa I) foi identificado com a sigla PROF28, pois optamos por manter as mesmas siglas utilizadas na análise anterior.

Quadro 5.3 – Identificação dos professores-alunos inscritos na disciplina Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, 2007/1.

SIGLA	DADOS
PROF1, PROF3, PROF13, PROF14, PROF21, PROF22, PROF23, PROF24, PROF26	Já identificados no Quadro 5.2 da Etapa I.
PROF28	Sexo M; atua no Nível Médio; único professor-aluno da Etapa II que não participou da Etapa I.

Nesta etapa atuamos tão somente como observadora-participante. Assistimos às aulas e participamos, sempre que possível, das discussões e atividades durante os meses finais da disciplina. Nosso objetivo, passados alguns meses da primeira etapa, foi tentar identificar indícios da presença de concepções alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas nas discussões, nas formas de raciocínio, nas atitudes diante das novidades teóricas apresentadas.

Destacamos que o módulo de Física de Partículas foi lecionado pelo mesmo docente da disciplina analisada na Etapa I deste estudo exploratório e foi a partir desse módulo que iniciamos nossa observação-participante.

Pode-se dizer que o conhecimento atual da Física de Partículas é resumido pelo Modelo Padrão. Desenvolvido na década de 70 o Modelo Padrão é uma Teoria Quântica de Campos, consistente com a Mecânica Quântica e com a Relatividade Especial, que descreve interações fundamentais da natureza bem como as partículas fundamentais (férmions e bósons) que constituem toda a matéria. A teoria da interação forte (cromodinâmica quântica) e a teoria eletrofraca (que descreve as interações fracas e eletromagnéticas) modelam as forças entre férmions (identificados por doze tipos de “sabores”) acoplando aos bósons que “carregam” as forças. Fótons mediam a interação eletromagnética; os bósons W e Z mediam a interação fraca; os glúons rotulados como pares de “cores” e “anti-cores” mediam a interação forte; os bósons de Higgs seriam responsáveis pela existência da massa inercial. Contudo, ainda existem muitas questões em aberto: a interação gravitacional (mediada pelos bósons grávitons, ainda não detectados) não é descrita pelo modelo e o bóson de Higgs é o único bóson da teoria que não é “bóson de calibre”²⁰. Assim, o bóson de Higgs tem um status especial na teoria, que foi motivo de várias controvérsias. O modelo padrão predisse a existência dos bósons W e Z, dos glúons, do *quark top* e do *quark charm* antes que estas partículas fossem observadas. Experimentos em grandes colisores, como o colisor de Elétron-Pósitron no CERN, têm confirmado muitas das previsões teóricas do Modelo Padrão.

Essa breve introdução tem o objetivo de mostrar que o Modelo Padrão é, talvez, o exemplo mais paradigmático da natureza tentativa e provisória da Física Moderna, em que criatividade, imaginação, intuição são fatores decisivos na construção das teorias e a comprovação experimental vem, muitas vezes, anos mais tarde. Mediante confirmações a teoria vai ganhando credibilidade na comunidade científica e diante de dificuldades vai sendo modificada e melhorada.

²⁰ Bósons de calibre são descritos no espaço de transformações da Teoria de Grupos, por isso o Modelo Padrão é frequentemente referido como $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Explicitando $SU(2)$: S=special; U=unitário; (2) representado por matrizes 2×2 , ou seja, $SU(2)$ é o grupo de matrizes unitárias 2×2 com $\det=1$, no campo dos complexos, que representa as transformações associadas a momento angular (j,s) das partículas. O $SU(3)$ é o grupo de matrizes 3×3 associado à cromodinâmica (interação forte).

No final desse módulo o trabalho escrito e entregue pelos professores-alunos para fins de avaliação incluiu uma questão em que era solicitado comentar as dificuldades do Modelo Padrão, desde uma perspectiva epistemológica.

Passamos à transcrição de parte das respostas:

PROF 1: *O Modelo Padrão pôde explicar e resolver muitos problemas (...). Teorias não são definitivas, são boas na medida em que resolvem a maior quantidade de problemas, tornam-se mais abrangentes na tentativa de explicar o mundo. (...).*

PROF 3: *(...) Em uma visão popperiana a teoria deve ser corroborada na prática. Neste enfoque existe a necessidade de detectar o gráviton, o bóson de Higgs e a anti-matéria prevista pela teoria do Modelo Padrão (...).*

PROF 13: *(...) como a Física não é uma ciência acabada, ou seja, suas teorias não são definitivas pode-se dizer que o Modelo Padrão que atualmente é aceito pode mais tarde ser refutado pela comunidade científica. Caracteriza-se aqui, o critério de demarcação da testabilidade ou refutabilidade das teorias científicas de Popper. (...).*

PROF 14: *O coisismo e o choquismo, muito utilizados no ensino médio e na academia pelos professores com seus alunos, são obstáculos epistemológicos muito fortes ao aprendizado significativo do Modelo Padrão das partículas elementares, aonde aos corpúsculos não se deveria atribuir forma ou localização definitiva, pela impossibilidade de observação e pelo princípio da indeterminação. (...) a produção e aniquilação das partículas normalmente são apresentadas como sendo iguais às colisões elásticas de pequenas esferas coloridas, como as bolinhas de bilhar, com forma e massa definida, o que impede os estudantes formarem a sua própria imagem das partículas elementares (...).*

O Modelo Padrão das partículas elementares, embora seja uma das melhores teorias feitas pelo homem (...) não é final ou definitiva. (...).

PROF 21: *(...). No ensino do Modelo Padrão, para ocorrer a aprendizagem significativa, devemos tomar o cuidado de não representarmos as partículas como esferas coloridas chocando-se umas com as outras e, se assim forem representadas, deixar claro de que é apenas um recurso didático, que estas partículas poderiam ser representadas por qualquer outra figura.*

PROF 22: *(...) a existência do gráviton e do bóson de Higgs são, portanto, conjeturas que poderão ser refutadas, levando a uma reformulação da teoria ou construção de uma nova teoria (...).*

PROF 23: *(...) De acordo com a epistemologia de Karl Popper (...) a existência do bóson de Higgs e do gráviton são conjeturas que pode vir a ser refutadas (...).*

Segundo Thomas Kuhn (,,) se os experimentos que buscam a comprovação da existência do gráviton e do bóson de Higgs não se confirmarem deverá surgir um novo paradigma (...).

De acordo com a epistemologia de Laudan, o Modelo Padrão é uma ótima teoria, uma vez que já resolveu vários problemas empíricos.

PROF 24: (...) *As existências do gráviton e do bóson de Higgs, de acordo com a epistemologia de Karl Popper, são conjecturas. – segue citando definições oriundas do texto de apoio - (...).*

De acordo com a epistemologia de Thomas S. Kuhn, o Modelo Padrão é um paradigma (...). – segue citando definições retiradas do texto de apoio - (...).

Segundo a epistemologia de Larry Laudan (...) o gráviton é um problema conceitual e empírico.

PROF 26: (...) *Segundo Laudan, a ciência dá preferência às teorias que resolvem o maior número de problemas empíricos, que é o caso do Modelo Padrão, pois as partículas previstas pelo modelo foram detectadas. (...) A detecção do bóson de Higgs (...) é mais um problema conceitual.*

PROF 28: (...) *O Modelo Padrão rompe com o “modelo clássico”(…). Para entender o Modelo Padrão se deve abandonar as representações pictóricas clássicas, pois elas representam um obstáculo epistemológico.*

De maneira geral, pode-se ver nas transcrições que a maioria dos professores-alunos associou bastante bem as dificuldades do Modelo Padrão com as visões epistemológicas contemporâneas. Cada qual, dando mais ênfase a este ou àquele epistemólogo, pareceu revelar o mais importante: aparentemente algumas sementes das visões epistemológicas discutidas vingaram na mente daquele grupo de professores.

Um exame mais minucioso das afirmações e opiniões, no entanto, mostra que 50% dos professores (PROF3, PROF13, PROF22, PRO23 e PROF24) citaram ou associaram o Modelo Padrão à epistemologia de Popper. Como foi exatamente Popper quem iniciou o debate epistemológico contemporâneo, ou seja, deu início a uma nova era na compreensão da natureza da ciência, gerou uma ruptura ou uma revolução nos moldes kuhnianos, se assim preferirmos pensar, as afirmações pareceram indicar que tal ruptura foi o que mais marcou estes professores. Em outras palavras, suspeitamos que Popper possa estar representando o início de uma ruptura nas concepções espiristas-identivistas dos próprios professores. Talvez por isso ele tenha sido o mais lembrado. De qualquer modo, se isso pode ser tomado como um achado, ele é positivo, pois sugere uma contribuição efetiva das visões epistemológicas contemporâneas apresentadas, embora no caso do PROF23 e PROF24 pouco se possa afirmar, pois tiveram o cuidado de ser impessoais. Fizeram citações, mas não expressaram suas próprias opiniões.

Os PROF1 e PROF26 pareceram ter seguido uma linha mais pragmática, associada à visão epistemológica de Laudan, tomando o Modelo Padrão como uma teoria eficaz na resolução de problemas científicos. Fazemos referência à visão pragmática porque esta é, sabidamente, uma tendência bastante comum nas aulas de Física, ou seja, aulas baseadas na resolução de problemas de papel e lápis. Se assim for, o efeito é não menos positivo, pois a visão de Laudan é uma visão contextual, que propugna a flexibilidade das teorias, a comparação entre séries de teorias de forma que sobrevivem as mais eficazes e por isso mesmo, um processo de evolução da ciência aberto, não cumulativo, em construção. Esperamos que os professores-alunos a tenham entendido dessa forma.

Já os PROF14, PROF21 e PROF28 pareceram expressar uma tomada de consciência dos problemas que as *noções obstáculo*, no sentido de Bachelard, podem trazer na transposição didática do Modelo Padrão para o Ensino Médio. A postura desses professores sugere que as visões epistemológicas contemporâneas, especialmente as discussões de sala de aula sobre *noções obstáculo* como coisismo, choquismo, corpúsculo, etc., contribuíram de forma efetiva para uma reflexão das suas práticas docentes. Sugere mais, que eles se deixaram conquistar pelas novas idéias e que passaram a ter, no mínimo, visões parcialmente alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas, no sentido de que estas (as novas visões) parecem ter funcionado como mediadoras de posições mais críticas e reflexivas.

No módulo de Supercondutividade o docente da disciplina procurou introduzir o fenômeno em termos de uma *transição de fase* de um estado resistivo normal para um *estado supercondutor*, a baixas temperaturas. Nestas condições, o material supercondutor exhibe duas características: resistividade nula quando resfriado a uma temperatura crítica e diamagnetismo perfeito (expulsão do fluxo magnético de seu interior ou efeito Meissner) quando submetido a um campo magnético. A supercondutividade pode ser entendida como um fenômeno quântico-macroscópico, um estado descrito por uma única função de onda. Isto significa que as interações entre elétrons são levadas em conta: os elétrons se organizam em “pares de Cooper” e formam um estado de muitos corpos quânticos, tal que o resultado é um comportamento coletivo. Esse fenômeno, ressaltou o professor, contrasta fortemente com o comportamento da resistividade elétrica de um metal normal.

Os metais são modelados, segundo a Mecânica Quântica, como um conjunto de átomos em interação eletrostática residual, ou seja, o núcleo e os elétrons mais internos formam o “caroço iônico” enquanto os elétrons mais externos formam os “elétrons de valência”. O modelo pressupõe então, arranjos (redes cristalinas) de “caroços iônicos” imersos em um “gás de elétrons” (os elétrons de valência), que se propagam livremente pelo metal, já que estão fracamente ligados. A rede cristalina não é ideal: apresenta “defeitos”, impurezas, imperfeições ou desvios de uniformidade. Ao aplicarmos um campo elétrico externo, a resistência elétrica pode ser entendida em termos de colisões dos elétrons livres com as imperfeições da rede cristalina.

Quando o docente da disciplina explicava, na segunda aula desse módulo, as características do modelo, ocorreu o seguinte diálogo:

PROF 14: *O elétron não pode ser rebatido ao colidir com a rede cristalina?*

Docente: *Os caroços iônicos já foram levados em conta na construção deste modelo, por isso o elétron se choca com as imperfeições ou impurezas da rede, não com os caroços iônicos.*

PROF 14: *Ah! Sei... ele entra certinho* (e sinalizou com a mão como se o elétron, pontual, seguisse um caminho retilíneo por entre os arranjos da rede cristalina).

Docente: *O elétron deve ser pensado como uma onda está espalhada, não é pontual (...).*

Esse diálogo, entendemos expressa de maneira inequívoca uma maneira clássica²¹ de pensar e a presença forte de *noções obstáculo*, como cunhado por Bachelard, nas concepções do PROF14. Justamente ele, que de forma tão clara manifestou sua preocupação com os problemas que a noção clássica de corpúsculos, referindo-se às partículas elementares pensadas como *bolinhas de bilhar, com forma e massa definida, o que impede os estudantes de formarem a sua própria imagem das partículas elementares*, usando suas próprias palavras, deixou transparecer que elas (as *noções obstáculo*) permaneciam nele próprio fortemente enraizadas.

Trata-se de um diálogo ilustrativo de muitas outras manifestações individuais ou coletivas que ocorreram ao longo das aulas que tivemos a oportunidade de observar.

²¹ Visão clássica na Física contrasta conceitualmente da visão quântica, em que as partículas elementares são pensadas não como objetos com momento e posição definidos, mas como entes dotados simultaneamente de propriedades ondulatórias e corpusculares.

Parece mostrar que a tomada de consciência é um processo cognitivo ou cerebral independente das concepções do sujeito a respeito do mundo que o rodeia.

Não desejamos aqui entrar no campo psicológico, que não dominamos, e menos ainda abordar aspectos associados à neurociência ou invocar a milenar discussão cérebro-mente. Mesmo porque, a esse respeito, persistem controvérsias, ou seja, parece que ainda sofremos a falta de teorias sobre o cérebro e a mente simultaneamente.

Os dados da observação apenas nos permitem suspeitar que questões da consciência podem, aparentemente, ser controladas pelo sujeito enquanto as concepções são profundas, difíceis de serem transformadas, avaliadas e mensuradas e afloram, vez ou outra, de forma inconsciente, espontânea. Capturá-las depende da habilidade do pesquisador e certamente metodologias puramente quantitativas dificilmente conseguiriam fazê-lo de forma eficiente.

No módulo de Física de Plasmas não foi diferente. Plasma foi introduzido como o quarto estado da matéria: um gás ionizado, com grande quantidade de partículas que apresenta um comportamento coletivo. Como as partículas são carregadas e estão em permanente movimento elas geram campos elétricos e magnéticos. O plasma sustenta, assim, oscilações de vários tipos (eletrostáticas, íon-acústicas, magnetosônicas, ondas de ciclotron de íons, onda de Alfvén, etc.). A principal dificuldade é manter e confinar o plasma, sem que ele volte ao estado neutro. Uma das maneiras mais usuais é o confinamento magnético em que as partículas ficam presas a um campo magnético uniforme descrevendo trajetórias circulares em torno das linhas de campo com um raio que é chamado “raio Larmor”, mas a componente de movimento paralela à linha de campo acaba gerando um deslocamento linear e as partículas espiralam (escapam) para as extremidades. A descrição ou modelo microscópico é estatístico e faz uso de conceitos como: função de distribuição, densidade, velocidade média, energia cinética média, função delta de Dirac, etc..

Também nesse módulo foi possível observar que quando os conceitos acionados nas explicações do docente eram mais familiares causavam um nível maior de conforto. Por exemplo, quando o docente explicou que plasmas podem se manter também na natureza, exemplificou com a magnetosfera planetária, citou que o campo magnético intenso da Terra sofre influência do campo solar e quando o sol está mais ativo ocorre perturbação da

magnetosfera terrestre e a terra torna-se um grande emissor de ondas de rádio. Este foi um momento em que o assunto em pauta propiciou grandes debates na sala de aula: perguntas, trocas de experiências e de informações, questões relativas à interferência nas comunicações (rádios AM, FM, período do dia em que a interferência é maior ou menor, etc.).

De novo, não estamos afirmando que o grupo de professores-alunos não era receptivo ou aberto aos novos conceitos da Física Moderna. Este tipo de atitudes já foi objeto de análise na Etapa I deste estudo: sempre demonstrando muito interesse e atenção, os professores-alunos reagiam espontaneamente com surpresa quando as teorias pareciam exigir novas formas de pensamento, novos paradigmas, novas visões de mundo enfim.

Macroscopicamente, explicava o docente, o plasma pode ser modelado como um fluido, em que valem a equação da continuidade e a Equação de Euler como em um meio contínuo.

PROF 3: *Teoria do contínuo?*

Docente: *Sim, supõe-se um ponto sem estrutura interna, o que não vale para o modelo microscópico.*

PROF 3: *Pode-se dizer qualitativamente que a equação da continuidade é “se eu perder massa tenho que ganhar massa?”*

Docente: *Você gosta de palavras perigosas...”perder” significa que existem sumidouros....*

A observação desafiante do docente ilustra a tendência que o grupo de professores-alunos tinha de fazer analogias simples dos novos conceitos com outros já conhecidos e que se aplicam bem ao mundo cotidiano.

Intervenções e manifestações como os recortes de diálogos transcritos nesta análise parecem sugerir o quanto as concepções iniciais dos professores-alunos ainda permaneciam enraizadas e o quanto é lento o processo de mudança. A disciplina de Epistemologia e Ensino de Física analisada na primeira etapa deste estudo exploratório serviu, possivelmente, apenas para perturbá-las, como já foi dito. Muito provavelmente os professores-alunos tenham saído dela, repetimos, com as mesmas concepções com as quais chegaram. Isso não invalida, entretanto, a importância da disciplina de Epistemologia, seja

na graduação ou na pós-graduação. O conflito cognitivo é sempre necessário, mas a mudança conceitual, ou representacional, é progressiva e lenta.

Longas horas de observação participante em sala de aula no ensino superior e também no ensino secundário durante o trabalho de campo desta tese, sugeriram que as concepções de professores e estudantes sobre a natureza da ciência podem ser tão profundas e tão lentamente moldadas ao longo dos anos de escolarização, que parecem parentes próximas da fé.

Kelly chama de *construtos pessoais* aos moldes, padrões, gabaritos que o homem constrói para dar sentido às realidades do universo. *Um construto é uma representação do universo ou de parte dele, uma representação erigida por uma criatura viva e, então, testada frente à realidade desse universo. (...). Em geral, o homem procura melhorar sua construção aumentando seu repertório de construtos, ou alterando-os para melhorar o ajuste, ou subordinando-os a construtos superordenados ou sistemas de construção* (Moreira, 1999, p. 126). Supomos então que, se *construtos pessoais* podem ser ajustados e melhorados, é possível que as concepções sobre a natureza da ciência, e até mesmo a fé, embora profundamente enraizadas, possam ser modificadas se esforço for canalizado nesse sentido.

Matthews (2009a e 2009b) fala em *visões de mundo* e destaca a relevância de professores e alunos refinarem seu entendimento sobre esse tema, mesmo porque, alerta, existe certa pressão cultural para as questões da ciência, para a modernização e industrialização baseadas em populações não-ocidentais cujas religiões e concepções de mundo são diferentes daquelas que têm estado associadas à ciência ortodoxa. Daí a importância de fazer com que o ensino e a aprendizagem de ciências possam ir além dos conteúdos da ciência e abordar também algo sobre a ciência, aspectos não científicos e suas interações com a cultura e a sociedade.

A apresentação de forma explícita e a discussão de algumas das principais visões epistemológicas contemporâneas, ainda que introdutória, conseguiu gerar reflexões positivas e uma tomada de consciência da importância de apresentar a Física como uma ciência consistente e rigorosa, mas provisória, mutável, uma construção humana inacabada. Pareceu também ter contribuído para refletir sobre como a natureza da ciência, vista dessa óptica, chocava-se muitas vezes com concepções empiristas-indutivistas bastante

enraizadas e que muitos daquele grupo passaram a criticar. Essas reflexões, sempre dialogadas abertamente em grande grupo ofereceram indícios de que os professores foram contagiados por um processo lento, como já referido, mas importante de transformação de longo prazo das suas concepções.

Muitos daquele grupo de professores se mostraram motivados pela disciplina de Epistemologia, talvez uma oportunidade ímpar para minimizar o perigo de ensinar a Física sob um enfoque empirista-indutivista, superado pela epistemologia contemporânea. Pelo menos, se optarem por ensinar uma Física formulista, dotada de leis e teorias como verdades inquestionáveis, farão essa escolha conscientemente ao invés de inadvertidamente, como afirma Bunge (1960).

5.2.4 Alguns Achados do Estudo Exploratório

Este estudo exploratório teve o escopo de chegar a uma primeira aproximação, para uma pesquisa mais aprofundada, visando identificar contribuições de uma disciplina que apresentou de forma explícita, diferentes visões epistemológicas contemporâneas a professores de Física já atuantes, para a transformação das suas concepções e das estratégias docentes por eles utilizadas.

A análise interpretativa de tarefas realizadas e apresentadas em aula, de trabalhos escritos e entregues para fins de avaliação na disciplina, de notas de campo contendo falas, discussões de sala de aula e diálogos com os professores-alunos, indicou que a apresentação e discussão de um leque de visões sobre a natureza da ciência, em conjunto com o método colaborativo-presencial, iniciou um processo de transformação das concepções epistemológicas dos professores observados. Embora possa ser um processo lento, de longo prazo, pareceu despertar o interesse para futuras leituras e aprofundamentos sobre o tema, com vistas a uma prática docente mais reflexiva.

A análise também mostrou que a apresentação explícita de diferentes visões epistemológicas contemporâneas é uma ferramenta potencial para incitar em sala de aula discussões, trocas de experiências, negociações de significados e reflexões críticas.

Entretanto, não se pode afirmar que todos os professores-alunos que participaram das duas etapas deste estudo exploratório tenham alcançado as mudanças desejáveis para alinhar suas concepções às VECs ou para refletir criticamente suas estratégias docentes. Estudos de caso etnográficos mais aprofundados foram realizados com esse fim, sendo esse o objeto dos capítulos seguintes desta tese. Também investigamos em que medida se processa a transposição dessas idéias e se efetivamente contribuem para uma prática docente mais reflexiva e para uma melhoria do processo de ensino e aprendizagem da Física.

Capítulo 6

ESTUDO III: ESTUDO DE CASO COM UM PROFESSOR DE FÍSICA DE UMA ESCOLA PARTICULAR (CONFESSIONAL)²²

6.1 O professor, a escola e o público alvo

Este estudo de caso ocorreu em uma escola particular, confessional, de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A escola, de cunho religioso, localiza-se em um bairro de classe média da capital e tem boa infraestrutura: prédios com salas de aula, biblioteca, administração e ginásios, todos com aspecto acolhedor e com instalações em boas condições físicas. Os corredores e acessos internos, em todos os andares, eram permanentemente monitorados por funcionários que auxiliavam a manter um padrão de organização e equilíbrio entre alunos, professores e administração da escola. As salas de aula, bem equipadas, com ar condicionado e ventiladores de teto, com classes e cadeiras em boas condições, chamavam a atenção pelo seu tamanho: pareciam pequenas para acomodar turmas de 40 alunos, em média. Os laboratórios, de Física e Química, embora presentes eram modestamente equipados.

A observação participante nas aulas de Física deu-se no 2º semestre do ano letivo de 2007, no período de setembro a dezembro, numa turma de 2º ano do Ensino Médio, com 41 alunos e compreendeu 41 horas-aula. Cada hora-aula tinha a duração de 40 min, sendo que a turma tinha uma hora-aula de Física todos os dias da semana, com exceção das segundas-feiras.

O professor de Física, que aqui chamamos de Prof. A, tem concepções claramente alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas. O Prof. A já havia sido objeto de investigação em dois outros estudos etnográficos: participou do Estudo I como aluno da disciplina de História e Epistemologia da Física durante sua graduação, onde foram mapeadas as concepções epistemológicas de futuros professores de Física, à época, e suas transformações por influência da disciplina observada; com objetivo idêntico, porém com professores de Física já atuantes, participou também da primeira etapa do Estudo II desta tese, como aluno da disciplina de Epistemologia e Ensino de Física no curso de Mestrado

²² Trabalho publicado (Massoni e Moreira, 2010)

Profissionalizante (trata-se do PROF15 descrito no Estudo Exploratório, Capítulo 5 desta tese).

Os achados dos Estudos I e II mostraram que o Prof. A foi conquistado pelas novas visões da natureza da ciência, manifestando em sala de aula, nos trabalhos de grupo e escritos e nas entrevistas, concepções notavelmente alinhadas às VECs. Além disso, ele manifestou preocupação constante em melhorar suas práticas didáticas. Exatamente por estas características do Prof. A, recaiu nossa escolha para fazer o estudo de caso. Ou seja, além de ter demonstrado que suas concepções epistemológicas tinham sido profundamente modificadas por efeito das disciplinas investigadas, ele declarou interesse pessoal na observação-participante em suas aulas, a fim de obter parecer sobre a forma como ele as conduzia.

6.2 O objetivo

Este estudo de caso que se constituiu em uma etnografia de sala de aula, onde realizamos imersão no cotidiano daquela realidade escolar, observando e participando de todas as aulas de Física de uma das turmas do Prof. A, durante um semestre, teve o objetivo de investigar possíveis relações entre as concepções epistemológicas do professor, sabidamente contextualizadas com a Epistemologia contemporânea, como referido, suas práticas instrucionais e o processo de ensino e aprendizagem da Física. Assim, procuramos vislumbrar em que medida as concepções epistemológicas contemporâneas do professor puderam contribuir para a melhoria do ensino e aprendizagem da Física no Ensino Médio.

Essa realidade escolar, os eventos e ações do seu cotidiano, as experiências por nós vividas enquanto observadora e ao mesmo tempo participante, e nossa descrição interpretativa é o que passamos a relatar.

6.3 O cotidiano da sala de aula de uma escola particular de Ensino Médio

A observação-participante teve início em 25/09/07, após um período de conversas e obtenção de autorização das autoridades da escola, quando o Prof. A revisava com seus alunos os fundamentos da Termodinâmica e corrigia exercícios, como preparação para uma prova escrita. A turma era de 2º ano, como já referido e, composta de 41 alunos apinhados

em uma sala pequena, com filas de classes próximas umas das outras, com janelas normalmente fechadas, cortinas escuras que também permaneciam fechadas por causa da luz solar e do calor. Por conta disso as luzes da sala precisavam permanecer constantemente acesas. A proximidade das classes favorecia as conversas, os cochichos, os ruídos, a troca de pequenos objetos (canetas, chaveiros, etc.) e facilmente desconcentrava os estudantes. Os alunos, mais meninas do que meninos tinham idades entre 15 e 16 anos. No primeiro dia não houve apresentações, muito embora nos tivesse ficado a impressão de que os alunos tinham sido previamente avisados sobre nossa participação nas aulas. O Prof. A confirmou essa nossa suspeita no final da primeira aula. A turma foi escolhida em reunião prévia com o professor por ser de 2º ano, ou seja, por já ter estudado Física durante o primeiro ano do Ensino Médio com o mesmo professor e por apresentar desempenho considerado bom.

Apesar da aparente indiferença do grupo de estudantes, só depois de algumas semanas nossa permanência diária ali pareceu integrar-se à rotina. Será que os alunos se sentiam vigiados? Este é sempre um risco da etnografia de sala de aula: ela é invariavelmente invasiva, pelo menos no início, enquanto o pesquisador ainda é um estranho na tribo.

Naquele primeiro dia de observação a aula começou com vários minutos de atraso, pois os alunos se encontravam numa atividade religiosa em um prédio anexo ao das salas de aula, e demorou alguns minutos até que retornassem e se acomodassem em aula.

O professor iniciou com uma pequena revisão sobre expansão adiabática ($\Delta Q=0$), com o objetivo de resolver um exercício. Desenhou um pistão.

Prof. A: (...) *essa transformação ocorre quando o sistema é isolado, como uma garrafa térmica, ou quando a transformação é rápida, como uma bomba de bicicleta. Quando se comprime o pistão adiciona-se energia. Qual é a grandeza física que deve aumentar?*

Não houve respostas. Apenas o silêncio. O professor insistiu na pergunta e as poucas respostas foram quase sempre “chutes”. O comportamento geral não deixava dúvidas, professor e alunos estavam perturbados com nossa presença ali. Depois de algumas tentativas sem sucesso o professor passou a ler as alternativas de respostas do exercício (questão 8, da apostila de Física preparada pela escola) e a discutir cada uma delas. A sala

de aula quente e abafada parecia tornar o clima mais pesado; o professor informou a alternativa correta sem demora e passou para o exercício seguinte.

O professor escreveu no quadro as principais expressões envolvidas no tópico em pauta e retomou alguns conceitos e princípios físicos tentando fazer compreender o enunciado do exercício.

Prof. A: *Vocês conseguem ler e entender o que está acontecendo no problema? Têm que tentar entender o que acontece... o gás recebeu energia na forma de calor, o volume aumentou de 1 para 3 m³ e durante o processo a pressão ficou constante (...).*

Aluno 1: *O sistema libera energia em forma de trabalho!*

Prof. A: *Esta é uma maneira de pensar. (E escreveu: $\tau = p \cdot \Delta V = 10 \cdot 2 = 20 \text{ J}$). Esse é o trabalho realizado pelo sistema. Mas ainda precisamos resolver qual a variação de energia interna: $\Delta U = Q - \tau$. Como o trabalho é positivo, pela nossa convenção, porque foi realizado pelo sistema, então: $\Delta U = 80 - 20 = 60 \text{ J}$.*

Esclarecemos que a sigla que atribui uma identificação numérica aos alunos é utilizada nesta análise (bem como nos demais estudos de caso) simplesmente para distinguir a fala de diferentes alunos numa mesma aula. Não tem o fim de identificar univocamente cada aluno, de forma que na sequência da descrição das aulas as mesmas siglas são usadas para diferentes interlocutores. Ou seja, a sigla Aluno 1, por exemplo, não se refere a um sujeito específico, mas tão somente designa o primeiro aluno citado da descrição daquela aula e, de forma semelhante para as demais.

A aula naquele dia terminou com aproximadamente 25 min de tempo efetivo. Os alunos saíram desordenadamente e ficamos com a sensação de que a aula tinha sido bastante improdutiva, tanto para os alunos quanto para o professor.

A segunda aula, em 26/09/07, também começou com 5 minutos de atraso. Os alunos continuavam em atividades religiosas. Chagaram aos grupinhos, fazendo muito barulho: conversas, risos, brincadeiras. O assunto do dia eram as maquetes, um projeto interdisciplinar – Física, História e Matemática – em que tinham construído, em grupo, maquetes em escala de prédios históricos da cidade de Porto Alegre. Um aluno informou que o esquema elétrico de iluminação de sua maquete estava com problemas, mas o

professor avisou que a preferência era a preparação para a prova. Os ajustes das maquetes ficariam para depois.

O professor começou falando da Segunda Lei da Termodinâmica.

Prof. A: *A descoberta que envolve a aula de hoje marcou a transição da Idade Média para a Idade Moderna: a máquina térmica. (...). A máquina térmica usa a troca de energia para realizar trabalho. (...) energia, como sabem, flui da maior temperatura para a menor...*

Aluno 1: *Se lá fora estiver mais quente o que acontece?*

Prof. A: *É o que acontece com o ar condicionado. Por que ele é colocado aqui na sala na parte superior? ...pausa... na verdade o ar condicionado retira energia térmica do interior da sala e joga para fora.*

Aluno 2: *Mas como ele consegue se toda a sala está fechada?*

Prof. A: *Ele faz isso através do dispositivo interno. Mas para isso ele precisa de energia elétrica (...) o ar condicionado bombeia energia térmica para fora (...).*

Houve algumas perguntas e uma pequena discussão sobre o funcionamento de diferentes tipos de aparelhos de ar condicionado. Em seguida o professor retomou o assunto de aula.

Prof. A: *Vou enunciar a 2ª Lei da Termodinâmica através de um pistão de carro olhando para uma seringa (o professor trazia uma seringa para simular um pistão). O carro utiliza a queima da gasolina para empurrar o pistão e aproveita o movimento do pistão para mover o carro. O sobe-e-desce do pistão faz a engrenagem girar e faz o carro andar (...) usando o calor como faço o cilindro subir?*

Não houve respostas.

Prof. A: *Vamos lá. Se aumentarmos a temperatura o gás se expande e o pistão sobe. Entendem? (desenhou um pistão no quadro) Aquecendo posso fazer uma caixa colocada em cima de um êmbolo subir? (...).*

Utilizando a seringa o professor tentou mostrar que a compressão fazia o êmbolo subir, um processo similar ao da expansão do gás aquecido.

Prof. A: *Vocês concordam que temos depois que retirar energia para o pistão descer, colocando-o em contato com uma fonte fria? Eu forneci energia e agora preciso retirar energia para o pistão voltar. A essência da 2ª Lei da Termodinâmica é que num processo cíclico parte da energia é desperdiçada. (...) é jogada na fonte fria. É por isso que numa máquina térmica cíclica a gente não consegue*

aproveitar 100% da energia fornecida. (...) Quem é a fonte fria no caso do carro?

Aluno 3: *É aquela água que a gente coloca no motor?*

Prof. A: *É a atmosfera.*

Aluno 4: *Mas como?*

Prof. A: *Vamos ver isso com uso da seringa (...).*

A aula era comumente interrompida por perguntas. Em alguns momentos, muitas perguntas. Algumas eram apenas curiosidades. Nem todas eram respondidas. O grande número de alunos e a sala pequena tornavam as coisas complicadas. Era comum ocorrer um ruído de fundo em sala de aula e o resultado era que o professor não escutava várias perguntas e os alunos acabavam desistindo. Mas em geral, explicações preferencialmente conceituais do Prof. A e o uso de pequenas demonstrações pareciam despertar a curiosidade dos alunos.

Nesse dia uma explicação do professor sobre o rendimento das máquinas térmicas foi interrompida pelo sinal sonoro. Fim de aula. Num momento um pouco tumultuado, ele nem ao menos conseguiu escrever a expressão matemática do rendimento das máquinas térmicas. Como veremos no decorrer desta análise, a brusca interrupção das explicações era comum o que parecia indicar que períodos curtos, de 40 min, representavam uma dificuldade para o desenvolvimento adequado dos conteúdos.

Em 27/09/07, terceira aula, o período foi cheio, 40 minutos. O professor começou fazendo a chamada pelo número. Ao que parecia, todos os alunos sabiam seu número de chamada e respondiam em meio a ruído de fundo, que parecia ser uma constante na sala de aula, como já informado.

A aula foi uma continuação da revisão. O professor começou acordando o que ele chamou de “regras para a aula de hoje”: silêncio e ordem para fazer as perguntas. Devido às preocupações dos alunos com “*o que vai cair na prova, se a matéria de ontem só tinha uma fórmula?*” o professor foi resolutivo.

Prof. A: *Eu já falei que fórmulas matemáticas não dizem nada se você não sabe o que significam (...). Um sistema contendo gás, fechado, é um sistema termodinâmico (...) pode produzir trabalho; existe uma grandeza que é a energia interna que é a*

soma do calor com o trabalho realizado, ou seja, $\Delta U = Q - \tau$. (...) Por que surge o sinal negativo nesta expressão? Porque convencionou-se que se o gás realiza trabalho a energia interna deve diminuir e o sinal de τ é positivo. Se trabalho é realizado sobre o gás o sinal é negativo, e a energia interna aumenta. Pessoal, o sinal é negativo porque nós padronizamos assim desde o início. (...).

Era possível perceber certa preocupação do Prof. A com a natureza tentativa e conjectural das teorias da Física. *Os sinais são convenções dos cientistas e as teorias são explicações (...)*, repetia com alguma regularidade, em meio às explicações. Uma preocupação que era percebida pela pesquisadora, mas e os alunos? Em geral, eram frases soltas em meio a explicações teóricas e os alunos pareciam mais preocupados em compreender a Física do que a natureza da Física.

Essa aula concluiu a revisão para a prova. Foi uma revisão tumultuada, entrecortada por perguntas, espremida entre aulas de horário reduzido e cuja validade e eficácia nos deixaram dúvidas. Talvez fosse mais produtivo avançar no conteúdo e deixar a tarefa de revisar o conteúdo para os próprios alunos através da apostila. Mas aí entrava um problema peculiar da escola particular: a escola é uma “empresa” e o aluno o “cliente”; é preciso manter os alunos na escola e a reprovação é sempre uma ameaça.

Na quarta aula houve aplicação da prova bimestral. Não participamos para deixar os alunos mais à vontade.

Na quinta aula, em 02/10/07, os comentários do professor não foram animadores: os resultados da prova tinham sido ruins.

Prof. A: *Fiquei triste e alegre ao mesmo tempo. Triste porque muitos não foram bem; alegre porque a maioria dos erros foi nas continhas e não na parte conceitual da Física. (...).*

Nesse dia o Prof. A corrigiu as questões da prova como preparação para a prova de recuperação. De novo a questão das provas e das notas se fazia presente. Houve novamente alguma preocupação do Prof. A em destacar questões epistemológicas, ainda que de forma implícita, como se vê na fala que transcrevemos.

Prof. A: *Questão 1: Transformação adiabática. Qual a grandeza associada à variação de volume? Por **convenção, por acordo**, quando o gás realiza trabalho ele é positivo;*

o gás usou energia em forma de trabalho. Assim, $\Delta U = Q - \tau = 0 - \tau$, a energia interna ficou menor. É como uma conta no banco. Quando você passa um cheque a conta diminui (...). (Grifamos).

E seguiu com as questões da prova:

Prof. A: *Questão 4: temos um cilindro com êmbolo móvel. O melhor jeito é pensar na bomba de bicicleta, ocorre uma compressão rápida, $\Delta Q = 0$, logo é adiabática. (...).*

Havia uma característica nas aulas do Prof. A que, aparentemente, os alunos apreciavam: a tendência de associar conceitos ou enunciados de problemas com o cotidiano dos alunos procurando facilitar a compreensão dos fenômenos físicos. *Um sistema termodinâmico pode ser uma seringa, uma bomba de bicicleta, um pistão de carro (...)*, nas palavras do professor.

Mas as coisas não eram tão simples assim. Nesse dia as explicações pareceram extensas demais e alguns alunos apoiando a cabeça nos braços cruzados sobre a classe ameaçavam cochilar. Outros, se mostravam distantes, alheios, talvez decepcionados com seu próprio desempenho na prova.

No final daquela aula conversamos com o professor. Nossa interação com alguns alunos parecia indicar que: ou tinham ido bastante bem ou muito mal na prova. O professor confirmou essa tendência. As notas da prova situavam-se em duas faixas: uma entre 2 e 3 e outra entre 8 e 9, tendendo para menos. *Isto é sempre assim*, disse o Prof. A, *ou eles entendem e vão muito bem, ou então vão muito mal*. Não dispúnhamos de elementos ainda para avaliar as causas dessa tendência.

A sexta aula, em 03/10/07, nova etapa de revisão que se estendeu até a aula 8, quando houve a prova. *Toda a matéria do bimestre* avisou o professor, cairia na prova de recuperação. Um visível clima de desânimo tomou conta dos alunos em sala de aula e levou o professor a fazer um apelo para que fizessem um esforço e procurassem acompanhar. Uma aluna recusou-se, disse que não precisava de nota e o professor concordou que ela se retirasse para a biblioteca.

O professor começou desenhando o diagrama de fases da água; marcou o ponto tríplice e o ponto crítico; fez uma distinção entre vapor e gás, associando o primeiro ao ponto tríplice e o segundo ao ponto crítico (temperatura de 684 K e pressão de 22Mpa), explicação que não ficou clara para os alunos, como mostra o diálogo.

Prof. A: *Se qualquer objeto estiver nesta linha (apontou para a linha do diagrama de fases) significa que encontramos a mesma substância em dois estados diferentes...*

Aluno 1: *Se baixar a pressão do gelo até o ponto crítico ele vira gás?*

Aluno 2: *Dá para saber qual a diferença entre vapor e gás?*

Prof. A: *A diferença principal é a questão da temperatura para voltar ao estado líquido. Bem, posso pesquisar e trazer uma resposta mais precisa na próxima aula. (...).*

A tentativa de distinguir “vapor” de ‘gás”, visivelmente, causou confusão. O Prof. A não foi convincente e vez ou outra essa dúvida retornava, como veremos ao longo desta descrição. O Prof. A avançou e passou a discutir o item “umidade relativa do ar”. Sua preocupação era marcadamente com o aspecto conceitual.

Aluno 3: *Como se calcula isso?*

Prof. A: *Vocês gostam de fazer contas. O mais importante é que vocês não pensem como fez certo locutor de rádio, ao dizer que ‘a umidade do ar está hoje em 80%, estamos praticamente respirando água’. Não é nada disso. (...) a umidade relativa mede o quanto de água tem no ar em relação ao máximo que o ar pode suportar (...).*

Passou para os gases ideais.

Prof. A: *Fazemos três **idealizações** para estudar um gás ideal **que não é a realidade, mas se aproxima dela**: 1) existem muitas partículas; 2) a pressão é o resultado do choque das partículas com as paredes do recipiente; 3) nas interações só acontecem colisões. (...) Quando o gás obedece a estas condições chamamos de gás ideal. Daí ele obedece à lei $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$ (...). (Grifamos).*

Encerrou a aula com uma explicação que incluiu, como se vê, uma referência a um aspecto epistemológico relevante: a teoria, a idealização não é a realidade, mas sim uma tentativa de explicar a realidade. Cristalino para a pesquisadora. Mas e para os alunos? Difícil saber como essa idéia, expressa sem destaque explícito em meio a uma explicação, soou na mente daqueles alunos, às 11h55min daquela manhã de quarta-feira.

A sétima aula, em 04/10/07, foi uma continuação da revisão para a prova de recuperação e teve um início agitado: conversas, brincadeiras, movimentação pela sala de aula. O professor gastou vários minutos tentando estabelecer a ordem. Optou por usar a tática de fazer a chamada pelo número, em voz baixa. A conversa diminuiu. Depois, ele começou escrevendo a expressão $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$.

Prof. A: *Esta expressa, que vocês gostam de chamar de fórmula, expressa na verdade uma relação (...) se uma das variáveis mudar, então pelo menos outra deve mudar para compensar e conservar a igualdade. Por exemplo, um gás na bomba de bicicleta que obedece, ou pelos menos se aproxima das condições de um gás ideal, posso fazer transformações. Se for lenta então é isotérmica ($T_1 = T_2$) e pode ocorrer que $V_2 = V_1/2$. Se assim for, então $P_2 = 2 P_1$ (...).*

Aluno 1: *Professor, eu não entendo por que neste caso a pressão dobra?*

O professor utilizou um exemplo numérico. Fez as contas.

Aluno 1: *Agora entendi!*

Fazer os cálculos e mostrar quantitativamente que se o volume aumenta a pressão tem de diminuir na mesma proporção para manter a igualdade, às vezes, parecia ser uma prova cabal que os alunos esperavam. Do ponto de vista da pesquisadora era possível perceber que o Prof. A pouco se valia desses recursos e dava maior destaque aos aspectos conceituais, como já referido.

Na sequência, vieram: a transformação isobárica, a isovolumétrica, novamente as máquinas térmicas, o trabalho realizado por um gás, a convenção dos sinais.

Por fim, o sinal sonoro de final de aula. Os alunos saíram ruidosamente.

Aula 8, em 05/10/07, foi destinada à prova de recuperação. Nesses dias não havia interações, pois a prova era escrita e individual.

Na aula 9, em 09/10/07, a agitação na sala de aula era grande e o professor experimentou algum *stress* convidando dois alunos a se retirarem da sala, encaminhando-os para a biblioteca e recomendando-lhes uma tarefa sobre o assunto em pauta. Observamos que, aparentemente, os alunos interpretavam com tranquilidade esses episódios. Não reclamavam, não geravam enfrentamentos e simplesmente se retiravam. Transparecia uma

relação de profundo carinho e respeito entre alunos e professor. *O conteúdo para ser visto ainda é grande e não há tempo a perder*, avisou o professor pedindo silêncio.

Retomou o assunto sobre máquinas térmicas, explicou o princípio de funcionamento da geladeira, a função do gás refrigerante, o processo de resfriamento, etc..

Aluno 1: *Tem geladeira a vapor?*

Aluno 2: *Mas o gás tem temperatura maior que o vapor, não é professor?* (Grifamos).

Novamente a questão da distinção entre “gás” e “vapor”. Talvez nem mesmo para o professor este ponto estivesse claro, nos pareceu. Mas como as perguntas pipocavam, essas questões logo foram deixadas de lado. Saber como funciona a geladeira pareceu mais interessante para os alunos. Houve muitas perguntas pertinentes. Outras nem tanto.

Aluno 3: *Por que se colocam as frutas na parte de baixo da geladeira?*

Prof. A: *Por que vocês acham que o congelador fica na parte de cima da geladeira?*

Aluno 4: *Não tem a ver com aquilo de densidade do ar?*

Prof. A: *O congelador é de onde a energia térmica é retirada. Queremos retirar energia do interior da geladeira, logo o ar mais quente sobe, é retirada energia em contato com o congelador, ele resfria e depois de resfriado desce. À medida que desce se aquece e volta a subir (...).*

Aluna 4: *Não entendi, como assim?! Retira energia do ar quente, como ele consegue?*

O professor desenhou um esquema, explicou a função da serpentina, da tubulação, do compressor, etc.. As perguntas aumentavam e o ruído na sala de aula também. Rapidamente a pergunta reapareceu como se fosse pela primeira vez: *por que o congelador não é embaixo?* Houve nova explicação e a promessa do professor de fazer um seminário sobre o assunto.

Prof. A: *Ciclo de Carnot: Carnot era um auxiliar de Napoleão Bonaparte e seu objetivo era saber por que a máquina térmica tinha um rendimento tão baixo? (...). O que ele obteve é que o rendimento máximo de uma máquina térmica é alcançado quando ela funciona em ciclo. O “ciclo de Carnot” consiste em uma transformação adiabática, uma isotérmica, outra adiabática e mais uma isotérmica. (...). Pelo que a ciência sabe hoje o ciclo de Carnot é o máximo rendimento que uma máquina térmica pode fornecer, e não é de 100%.*

Aluna 5: *Ninguém consegue mais do que isto?*

Prof. A: *Não. Isto é o máximo. Portanto, se alguém quiser vender para vocês uma máquina que funciona 100%, isto pode ser verdade?*

Alunos: *Não!!*

Era interessante de observar. Num dia em que a aula tinha começado tumultuada, aos poucos foi conquistando a atenção dos alunos e terminou com alguns momentos de reflexão. Alguns conhecimentos da Física podem ser levados para a vida! Era o que parecia ter ficado.

A décima aula, em 10/10/07, aconteceu na sala de aula do terceiro ano do Ensino Médio, onde havia *datashow*. O Prof. A apresentou um seminário sobre máquinas térmicas: geladeira e ar condicionado. A sala era ampla, em formato de auditório e era equipada com sistema de som, mas o professor pediu para ocuparem a parte da frente e preferiu não usar o sistema de som. Fez a chamada pelo número e avisou que passaria a ser rigoroso. *Quem não ouvir e não responder leva falta*, advertiu. Mas as conversas continuaram.

Prof. A: (...) *a função da geladeira é resfriar os alimentos e diminuir a atividade das bactérias. Do ponto de vista Físico, ela retira energia da fonte fria para a fonte quente. Utiliza a evaporação de um líquido para absorver calor. (...). O que acontece quando suamos? O suor é evaporado do corpo e dá uma sensação refrescante. (...).*

O foco foi momentaneamente desviado por perguntas e assertivas sobre vapor, transpiração, e depois a respiração humana, como funciona, quais os gases que são aspirados e expelidos pelo organismo, se o oxigênio é todo consumido, etc.. O professor consentia com essas interrupções. Algumas vezes elas quebravam a monotonia, em outras pareciam um recurso para reconquistar a atenção dos alunos. De qualquer forma, elas vinham ao encontro da forma de ser do Prof. A: sempre questionador, desafiador, focando a compreensão conceitual e visivelmente relegando fórmulas e cálculos a um segundo plano.

Prof. A: *Na serpentina inferior temos líquido refrigerado à alta pressão que passa por uma válvula de expansão e vaporiza rapidamente, diminui a temperatura e resfria (...).*

Aluno 1: *O gás fica mais frio do que a temperatura de dentro, como assim?*

Prof. A: *Sim, menor do que está lá dentro e a tendência é passar energia do gás de dentro da geladeira para o tubo de gás refrigerante, que é mais frio.*

Aluna 2: *Ah!...ele tem que estar sempre mais frio para poder gelar!!*

Prof. A: *Isso mesmo. O ciclo é fechado e sempre funciona assim (...).*

Aluno 3: *Professor, isto também cai na prova?*

Prof. A: *Faz parte...*

O cepticismo do Aluno 3 pareceu rapidamente contagiar os colegas. O ruído aumentou e o desinteresse também. Apesar do enorme esforço do professor em continuar o seminário, não mais do que três ou quatro alunos fizeram uma ou outra pergunta. Finalmente a aula terminou e os alunos saíram apressados.

Era em desafio, sem dúvida, manter um grupo de jovens nessa faixa etária concentrados. O perigo parecia maior ao se dar sinais de que o assunto em discussão “não cai na prova”.

A décima primeira aula, em 11/10/07, como de costume, começou agitada. Demorou alguns minutos até os alunos se acomodarem e o professor reclamou que havia *conversa demais e trabalho de menos*, e também fez queixas sobre o desinteresse observado durante o seminário da aula anterior.

A objetividade da fala do professor, para nós, soou como sinal evidente de que nossa presença ali não mais gerava perturbações. A aula nesse dia transcorreu normalmente.

Uma aluna pediu ao professor para explicar o funcionamento do ar condicionado tipo *split*. Havia um na sala de aula. O Prof. A deu uma explicação. Houve perguntas e alguns sinais de que persistiam dúvidas e, então, novas explicações.

Por suas manifestações, era possível perceber que parte dos alunos tinha compreendido. Outros não. A explicação estendeu-se ora com avanços, ora com retrocessos, o que pareceu deixar alguns alunos entediados. Nesses momentos a estratégia desses alunos era simples: intervir comentando fenômenos ou curiosidades que tinham visto em programas ou documentários de televisão e que tinham alguma relação com o assunto. O resultado era certo: o nível de conversas crescia e a monotonia era quebrada. Existia uma relação de amizade e respeito mútuo entre professor e alunos, como já referido. Disso não havia dúvidas. A tática era muito mais um jogo de sobrevivência para os momentos em que parte da turma parecia não acompanhar o raciocínio da maioria, exigindo repetidas explicações

do professor. A turma era grande, o que tornava as coisas complicadas, e quem levava a melhor era o grupo mais pró-ativo. As relações sociais que constituem o tecido social e cultural da sala de aula apresentavam seus diferentes mecanismos em diferentes situações, ao que parecia.

Prof. A: *Sobre o Ciclo de Carnot a idéia não é nos aprofundarmos, mas sim mostrar que a máquina térmica obtém seu máximo rendimento quando o ciclo é fechado, quando é um “ciclo de Carnot”. Significa que se quisermos melhorar uma máquina térmica teremos que saber que há um limite, alterando a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria (...). Pessoal, dessa parte de termodinâmica ficou alguma dúvida?*

Aluno 1: *Não tem nada para a gente fazer cálculos?*

Prof. A: *Da maneira como tratei é bem conceitual, é isso que interessa (...) mas a gente pode fazer cálculos bem complicados se desejarem (...).*

Não houve manifestações. Talvez os alunos preferissem deixar tudo como estava. O professor encerrou a aula explicando o material que deveriam preparar para a aula seguinte: uma vela e uma caixa de sapatos ou de papelão com um lado aberto e forrado com papel vegetal ou papel manteiga. Uma caixa já pronta para cada dupla.

Na aula de nº. 12, em 12/10/07, o professor procurou transmitir entusiasmo para a execução de uma tarefa não habitual.

Prof. A: *estamos começando o estudo da Óptica Geométrica e faremos uso da caixa e da vela para observar imagens produzidas na câmara escura. (...). Sem barulho excessivo, reúnam-se em duplas; retirem todo o material de aula de cima das classes para evitar sujeiras ou acidentes com a vela; não sujem a mesa; apóiem a vela sobre uma folha de papel para não pingar. (...)*

A despeito das recomendações, a confusão inicial foi inevitável: um arrastar de classes, conversas e a constatação de que alguns alunos não tinham trazido o material. O resultado foi que os grupos acabaram se formando com quatro ao invés de dois componentes.

Prof. A: *Pessoal, a atividade consiste no seguinte: façam na caixa um pequeno furo no lado oposto à parede de papel vegetal, façam o menor furo possível, do tamanho de uma ponta de lapiseira. Acendam a vela e coloquem-na em frente ao furo e observem o que vocês vêem. Na folha que estou entregando há algumas perguntas em duas etapas. Cada um, individualmente, responde a parte 2, que tem a ver com o que vocês estão vendo.*

O professor circulava pela sala auxiliando, ouvindo os grupos e incentivando os alunos a observarem diferentes imagens, aproximando e afastando a vela. Um grupo de quatro alunos ao nosso lado fez não um, mas quatro furos de diferentes tamanhos na caixa, o que permitiu observar imagens de diferentes intensidade e nitidez. Os alunos acharam a observação interessante e ao mesmo tempo se sentiam alegres com aquela atividade. A alegria estava estampada naqueles rostos juvenis. Um visível prazer pela investigação. Um aluno verbalizou esse sentimento: *que alegria!* Os colegas riram, em concordância. Tinha sido entregue uma folha com algumas questões que deviam responder sobre o que observavam.

Alguns grupos discutiram as questões que deveriam responder, esboçando explicações. Outros não, e continuavam a observar. Ao nosso lado, um aluno desenhou com bastante clareza de raciocínio um esquema de raios de luz passando pelo furo e que mostrava a formação da imagem invertida na câmara escura. Embora não conseguissem verbalizar, a intuição parecia correta.

Prof. A: *Respondam o que vocês acham, não é preciso consultar para responder, todas as idéias são válidas. (...).*

Uma breve inspeção junto aos grupos que estavam à nossa volta indicou que muitos alunos tinham idéias adequadas sobre o fenômeno em estudo, mas não conseguiam sistematizá-las e escrevê-las.

Foi uma aula inteira dedicada às observações com a câmara escura. Pareceu-nos uma forma bastante original para iniciar a discussão da Óptica Geométrica, e muito bem pode ser utilizada como *organizador prévio*, pois a maioria dos alunos, aparentemente, sentiu-se motivada para propor explicações. *O uso de organizadores prévios é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva, a fim de facilitar a aprendizagem significativa* (Moreira, 1999, p. 155).

A aula seguinte, em 17/10/07, foi atípica. Os alunos encontravam-se no ginásio em atividade de lançamento da “campanha de matrícula” na escola. Os alunos retornaram à sala de aula muito barulhentos e desacompanhados do professor. Seguiram-se muitos

minutos de brincadeiras, andanças pela sala de aula, conversas, fotografias tiradas com os celulares, cantorias, anedotas e muita alegria. Em meio àquele ambiente, houve quem preferisse simplesmente permanecer em silêncio na sua classe. O clima, entretanto, sempre foi descontraído, sem excessos ou atitudes desrespeitosas, denotando uma relação de amizade e integração entre os colegas.

A ausência do professor se prolongou por quase trinta minutos. Depois disso ele chegou e justificou que prestara auxílio a uma aluna que sofreu uma queda nas escadas. Ao chegar à sala de aula o Prof. A, além de manifestar sua desaprovação com a confusão que encontrou, reclamou que os alunos deveriam ter aproveitado para responder às questões sobre as observações da câmara escura e fez um alerta sobre o perigo de correrem nas escadas da escola: *é algo que nunca devem fazer, pois correm risco de sofrer acidentes sérios*, advertiu.

Aproveitou os minutos finais daquela aula para fazer uma combinação da estratégia para a aula seguinte: solicitou que todas as folhas com as respostas fossem respondidas e entregues e após fariam um debate em grande grupo, onde todos poderiam apresentar suas idéias para explicar o observado na câmara escura.

Prof. A: *Tragam todas as idéias de vocês sobre o fenômeno (...). Pode ser qualquer idéia (...) são a forma como vocês pensam. Vamos discutir em conjunto e tentar chegar a uma explicação, pois nem eu, nem a ciência somos donos da verdade!*

A décima quarta aula, em 18/10/07, começou em clima ameno. Mesmo depois das reclamações por conta da bagunça na aula anterior os alunos receberam o professor com brincadeiras amigáveis. Nesse aspecto, a psicologia da escola, marcadamente de cunho religioso, parecia contribuir fortemente: *há que se buscar sempre o equilíbrio, a ordem, a harmonia*, advertiu o diretor da escola numa das palestras a que assistimos.

O professor pediu que entregassem as respostas às questões sobre a câmara escura. A maioria não tinha feito a tarefa e alguns tentaram improvisar respostas enquanto outros discutiam suas idéias com os colegas e, como de costume, foram necessários vários minutos até que os alunos se acomodassem e se concluísse a chamada para depois iniciarem-se as discussões.

Prof. A: *A partir de agora estou falando com o grupo todo, portanto silêncio. (...) Podem colocar as idéias de vocês. O que é luz? (...).*

Aluno 1: *É uma claridade que o objeto emite, que tem como origem o calor...*

Aluno 2: *Acho que é um conjunto de fótons!*

Aluno 3: *Acho que é uma radiação luminosa!*

Aluna 4: *É o contrário de trevas!*

O professor incentivou a livre manifestação de idéias, mas não houve nenhuma consolidação das mesmas. Elas permaneceram soltas enquanto o professor insistia, *por favor, venham preparados na próxima aula para defender as idéias de vocês*, dando indícios de que o debate continuaria.

A aula desse dia teve período reduzido porque os alunos foram liberados para participar da semana de gincana. A gincana teve objetivo social e envolveu todos os alunos do turno da manhã dividindo-os em quatro equipes, com aproximadamente 100 alunos cada. A turma 121 estava dispersa entre as equipes azul, verde, amarelo e vermelho. Os alunos tinham de realizar diferentes tipos de atividades: internas e externas.

Exemplo de atividades internas: decoração do espaço ocupado pela equipe nas arquibancadas do ginásio; confecção de placas e ornamentos da cor da equipe, jogos, competições, etc.

Exemplo de atividades externas: arrecadação de alimentos, roupas e dinheiro para serem doados e famílias pobres e doação de sangue.

Os alunos mostravam-se participativos, entusiasmados e integrados à semana de gincana. Um período, sem dúvida, de exercício da cidadania e da responsabilidade social, mas também um momento de convívio com os colegas, professores e administração e de folga das aulas, tão aspirada pelos alunos.

No começo da aula 15, em 19/10/07, havia em aula um grupo de seis alunos e alunas às voltas com um jogo de cartas e o professor chegou quando eles vibravam com o jogo. O professor limitou-se a rir da reação dos alunos. Começou a aula fazendo a chamada em voz baixa, implicitamente pedindo silêncio. Os alunos entenderam e corresponderam, mas era

uma espécie de reciprocidade em que o silêncio não durava mais que alguns minutos, até que um ruído, quase familiar, tomasse conta novamente da sala de aula.

Prof. A: *A aula de hoje vai ser um pouco diferente. No final da Termodinâmica, por questões de tempo, o professor falou, falou e vocês simplesmente aceitaram. O professor, como vocês estão acostumados, o dono da verdade. Hoje, cada um aqui pode falar. Estávamos discutindo o que é luz (...).*

Aluno 1: *É uma claridade do corpo que tem uma fonte de energia calorífica... pausa ... quanto mais quente, mais claro.*

Aluno 2: *Eu acho que são fótons.*

Aluno 3: *É tipo raio que sai das coisas...*

Aluno 1: *Acho que todo objeto emite luz, senão a gente não enxergaria nada...*

Aluno 2: *Acho que nem todos os corpos emitem luz. Alguns emitem e outros refletem.*

Prof. A: *O sol emite?*

Aluno 2: *O sol emite luz sim, porque é uma estrela.*

Prof. A: *Vamos anotar as principais idéias que estão surgindo. 1) alguns corpos emitem luz; b) alguns corpos refletem luz. Mas não conseguimos chegar a um acordo sobre o que é luz!*

Aluno 4: *É alguma coisa que ilumina...*

Aluna 5: *A gente enxerga a luz...*

Prof. A: *Você tem certeza que enxerga a luz? Será que nós enxergamos mesmo a luz ou objetos que refletem luz?*

Aluno 5: *Mas é claro que enxergamos, eu estou vendo a lâmpada!*

Aluno 6: *Escuridão é a ausência de luz e a gente não enxerga. Então, para a gente poder enxergar temos que ver a luz.*

Aluno 2: *Já não sei mais...*

Prof. A: *Vamos avançar um pouco nas questões. A questão 1 e 2 já estão respondidas. Todos concordam que para enxergar alguma coisa é preciso que luz chegue ao olho?*

Aluno7: *À noite quando apagamos a luz não enxergamos nada. Depois o olho vai se acostumando e a gente passa a enxergar um pouco.*

Aluno 8: *Para resolver o problema acho que o olho tem um tipo de regulagem e esta regulagem é feita pela pupila.*

Aluno 1: *A pupila dilata-se para procurar mais luz. Mas quando está mais claro ela se contrai para diminuir a quantidade de luz que entra no olho (...).*

Fizemos uma longa transcrição para mostrar como as idéias foram brotando e também, gradativamente, se afastando do foco. A proposta era explicar o que é luz, como ela se propaga e porque houve formação de uma imagem invertida da vela na câmara escura. A

aula terminou sem conclusões claras e o desconforto de alguns era evidente. Uma aluna ao nosso lado que permaneceu debruçada sobre a classe apenas ouvindo, desabafou na saída: *eles não chegaram à conclusão nenhuma!* Retrucamos: *você conseguiu chegar a alguma?* Não, respondeu ela, visivelmente desapontada.

O professor, claramente, tentava a tática de fazer com que os alunos discutissem suas idéias, abandonassem aquelas que se mostravam ineficazes e selecionassem as que melhor explicavam os fenômenos observados na câmara escura e com isso chegassem aos princípios da Óptica Geométrica, a exemplo das comunidades científicas que, de posse de um problema científico, constroem hipóteses e testes buscando explicá-lo. Acreditamos que a estratégia era boa, como fator de motivação ao debate, mas uma tentativa implícita de fazer compreender a natureza da ciência. No entanto, faltou, ao que parecia, condução, explicitação dos objetivos de tudo aquilo e, em especial, faltou definir uma adequada sequência de atividades de aprendizagem, para que começasse a fazer sentido aos alunos.

Nesse sentido concordamos com Davson-Galle (2004). Em estudo que visou incluir aspectos do “espírito crítico” e da “filosofia da ciência” no ensino de ciências o autor defendeu que o ensino de ciências tem dois objetivos distintos: 1) deve ser parte da preparação profissional dos cientistas; 2) deve ser parte da educação liberal dos não-cientistas. Destacou três aspectos que devem estar a serviço desses objetivos comuns do ensino de ciências: *habilidade dedutiva; espírito crítico e reflexão crítica*. O espírito crítico e o desenvolvimento de habilidades dedutivas devem fazer parte da preparação dos cientistas. Todavia, defendeu que o ensino de ciências nas escolas básicas, mesmo com tempo e conteúdos limitados, deve ser arranjado de forma a fornecer *reflexão crítica*. Sugeriu que os professores identifiquem as premissas implícitas na relação entre teoria e evidências quando ensinam um conteúdo; que analisem explicitamente o conjunto de concepções e exponham as diferenças semânticas das várias proposições dentro do conjunto de concepções. É importante que o cidadão entenda que existem proposições centrais e outras periféricas. E mesmo que a habilidade dos estudantes seja mínima, tendo o professor desenvolvido em seus alunos a consciência do abrangente contexto proposicional de qualquer teoria frente aos dados, terá valido a pena o esforço.

Assim, segundo esse autor, mesmo que o ensino de ciências não desenvolva suficientemente as habilidades dedutivas, *pelo menos o cidadão deve ser um consumidor*

intelectual crítico de alguns dos pronunciamentos dos cientistas e mais crítico com relação ao papel da ciência na vida pública. Além de um entendimento compreensivo da natureza da ciência, a reflexão crítica transcende para outros campos de operação intelectual do cidadão, como religião, ética, etc..

Embora não tivéssemos dúvidas de que o Prof. A tinha concepções contextuais sobre a natureza da ciência, pelo seu retrospecto nos Estudos I e II, ao que parecia, ele não estava preparado para fazer a transposição dessas visões de forma explícita aos seus alunos. Isso sugere que as disciplinas de Epistemologia ou Filosofia da Física oferecidas nos cursos de formação de professores talvez careçam de orientações ou instrução didático-pedagógica capaz de preparar os professores para ensinar a Física e abordar a natureza da Física visando utilizar seu potencial para a reflexão.

Nas aulas 16, 17 e 18, período de 23 a 25/10/07, os alunos foram liberados para participarem da semana de gincana da escola.

Durante as atividades da gincana percebemos alguns aspectos interessantes. Foram formadas quatro equipes identificadas por diferentes cores e juntas envolviam todos os alunos do turno da manhã. Cada equipe confeccionou uma placa, que foi chamada de “placa do silêncio”, e toda vez que a comissão organizadora desejava anunciar nova competição, fazer alguma combinação ou comunicado solicitava que as placas de silêncio fossem levantadas. Esse gesto (levantar as “placas de silêncio”) fazia com que todos no ginásio de esportes silenciassem instantaneamente. Se permanecessem ruídos ou conversas, a equipe que apresentasse tal comportamento perdia um ponto. Dessa forma, conseguiam estabelecer a ordem e os alunos aprendiam regras de convivência social ordenada. Valores, comportamentos e atitudes éticas eram constantemente destacados pelos organizadores, professores e direção da escola numa clara preocupação com a formação de cidadãos éticos, solidários e participativos. A gincana tinha esse espírito e os alunos pareciam entender bem o seu significado.

A décima nona aula, em 26/10/07, começou com a usual agitação que caracterizava cada troca de período. Em nossa avaliação visual a sala de aula tinha não mais de 48 m². Um espaço reduzido para acomodar 41 alunos, como já referido, o que favorecia as conversas e

promovia um ruído de fundo permanente. Muitas vezes os alunos não escutavam a chamada e acabavam por levar falta.

Prof. A: *Espero que hoje a gente consiga terminar a discussão. Alguém ainda lembra? (...). Vocês já conseguiram chegar a algumas conclusões: 1) é preciso chegar luz até o olho para poder enxergar; 2) a vela emite luz; 3) uma imagem invertida da vela aparecia no anteparo da caixa; 4) à noite enxergamos menos, mas que mesmo assim alguma forma de luz existe; 5) que a pupila do olho tem algum tipo de regulação para enxergar à noite (,,).*

Ainda faltava explicar porque se observava uma imagem invertida da vela na câmara escura. Um aluno prontificou-se para desenhar no quadro um esquema da câmara escura e explicar a inversão da imagem.

Aluno 1: *Um raio emitido na ponta da vela atravessa o furo em linha reta e se projeta na parte de baixo da parede oposta da caixa, enquanto um raio que sai da base da chama se projeta na parte superior...*

Prof. A: *Por que enxergamos os objetos diretamente e na caixa formam-se imagens invertidas?*

Aluno 2: *Porque na caixa não tem cérebro para discernir (...).*

Seguiu-se novo período de discussões, hipótese, “chutes”, intuições e um desabafo.

Aluna 3: *Professor, olha só, eu queria que tu explicasses o que é a luz...luz...luz...porque eu já estou angustiada. Não aguento mais ir embora sem saber o que é luz afinal ... a gente discute, discute, mas não chega a nenhuma explicação.*

O professor procurou acalmá-la dizendo que chegariam lá aos poucos, através da discussão.

Aluna 3: *Então se eu responder outra coisa na prova tu vai me dar errado?*

O professor limitou-se a sorrir e ficamos com a impressão de que havia o risco iminente de cair num relativismo perigoso, numa espécie de “tudo vale”, em que, para os alunos, qualquer explicação seria válida, legítima.

Em certos momentos os desafios lançados ao professor pareciam transmitir uma tendência de transgredir, de ir além, de testar o professor e observar sua reação. Ou seria o ímpeto de ter acesso ao novo conhecimento, de saber mais? Para vários alunos daquela turma, esta

seria uma possibilidade plausível. A “aluna 3” era um bom exemplo de quem visivelmente desejava o conhecimento pelo conhecimento. Ir mais a fundo na Física, de um lado, parecia fascinante, mas de outro, assustava boa parte do grupo porque isto exigiria o consumo adicional de energia e compreensão de novas relações e de intrincados quebra-cabeças. Difícil captar o preciso sentimento que às vezes parecia marcar as também intrincadas relações de sala de aula.

A discussão continuou.

Aluno 4: Acho que a vela emite luz em todas as direções. Cada ponto emite, mas apenas alguns raios passam pelo furinho da caixa.

Aluno 5: A luz é em forma de raios que andam em linha reta.

Aluno 6: Se cruzam no buraquinho da caixa ...

Aluno 7: Se eles não se cruzassem não inverteria a imagem.

Aluno 8: Acho que não inverteria se o buraco fosse tão grande quanto o tamanho da vela.

O professor tinha, como já referido, a intencionalidade clara de que os alunos chegassem através da discussão e da negociação de idéias aos princípios da Óptica Geométrica. Ele usufruía de boa receptividade entre os alunos e isso lhe permitia a autonomia necessária para dar continuidade a esse projeto.

Aquele tipo de aula, aberta ao debate amplo e irrestrito, parecia absolutamente incomum e o desabafo da Aluna 3 refletia bem o clima de ansiedade que ia tomando conta de boa parte da turma e dava sinais da urgência de o professor intervir e expor, de forma clara, como a comunidade científica explica a luz e os fenômenos a ela associados. Contudo, a aula terminou mais uma vez sem intervenções conclusivas.

Blanton (2003) advertiu que o que se espera da escola é que ela coloque as fundações sobre as quais o conhecimento é construído e equipe os estudantes com as ferramentas necessárias para que essa construção seja possível. O papel do professor é crucial para o tipo de estrutura que os estudantes podem construir, e suas estratégias instrucionais devem ser capazes de torná-los participantes ativos nesse processo. Para ajudá-los de maneira efetiva a construírem o conhecimento, o professor deve ter metas e deve prover situações para que os estudantes atinjam as metas. Nesse sentido, as metas do Prof. A não pareciam

claras e o resultado imediato é que todo o projeto parecia estar em risco, e disso também decorria a constante perda de foco.

Na vigésima aula, em 30/10/07, as classes estavam dispostas em forma de círculo, por conta da disciplina anterior. A sala de aula era pequena e os alunos sentados lado a lado, ocupavam todas as paredes da sala. O professor decidiu manter a posição das classes.

Prof. A: (...) *Acho que a disposição como está facilita a discussão, por isso gostaria de mantê-la. (...) Qual foi o resultado da experiência que realizaram em casa? Tentaram, diante de um espelho, olhar o olho de outra pessoa de tal forma que essa pessoa não pudesse enxergar o olho de vocês? Alguém conseguiu?*

Aluna 1: *É impossível...*

Aluna 2: *Não tem como ...*

Prof. A: (...) *Tínhamos feito três afirmações, de acordo com nossas discussões anteriores: 1) raios se propagam em linha reta; 2) raios de luz são independentes; 3) luz é emitida em todas as direções. Agora quero retomar a experiência da câmara escura. O que aconteceu quando a gente levou a vela para o lado de dentro da caixa? (...) Vocês explicaram que a chama aparecia invertida no anteparo da caixa. Quando colocamos a vela no interior acontece a mesma coisa, ou seja, imagem aparece invertida na parede. O que acontece com a luz quando enxergamos o olho de outra pessoa no espelho? (...) Vocês viram que através do espelho não é possível descrever um caminho em que luz chegue ao olho, seja refletida e não enxerguemos o olho de outro. Vocês não conseguiram certo? (...)*

Aluno 3: *Se numa sala há uma parte escura e outra clara, quem está na parte escura vê a pessoa que está na parte clara, mas o contrário não...*

Prof. A: *Perfeito, mas o que você sugere para separar a sala em duas partes, uma clara e outra escura? (...) Estou tentando induzir vocês a seguirem o raio de luz...luz anda em linha reta até o olho, o olho reflete e a luz volta em linha reta ...*

Aluna 5: *Mas o que tem isso? E daí se a luz anda em linha reta?*

Pausa.

Prof. A: *Existe alguma maneira de enxergar o olho de alguém sem que essa pessoa enxergue o nosso olho?*

Aluna 6: *Isto está ficando complicado! A gente está aqui há um tempão discutindo luz, escuridão, etc. e eu não sei aonde a gente quer chegar?*

O professor pretendia que chegassem ao princípio de reversibilidade dos raios de luz, mas não conseguiu.

Prof. A: *A gente está tentando discutir tudo isso, que é o que homem fez ao longo da história da ciência (...). A gente tomou um fenômeno, discutiu e chegou a algumas conclusões: a luz se propaga em linha reta; um furo inverte a imagem; um objeto luminoso emite luz em todas as direções. Não sei se isso é a verdade absoluta, mas para nós isso é verdade e a partir disso a gente construiu nossa teoria. Quando se faz isso na Física a gente chega a pressupostos que são chamados de princípios.*

(...)

As conclusões a que vocês chegaram estão corretas e são os princípios fundamentais e valem para a Óptica Geométrica (...)

Finalmente, nesse dia, o professor explicou o motivo das repetidas discussões. Do ponto de vista epistemológico, fez uma exposição adequada às visões epistemológicas contemporâneas tentando mostrar aos seus alunos que, em geral, é da forma tentativa, hipotética e provisória que a Física estabelece suas teorias e princípios. De fato, as coisas não são fáceis no cotidiano da sala de aula quando se pretende introduzir algo novo: um ambiente em que os alunos seguem acostumados a receber o conhecimento pronto na maioria das disciplinas escolares.

É interessante notar como a própria comunidade de físicos tem dificuldades para aceitar certas idéias. Trocchio (2005, p.53), por exemplo, assevera que *desde 1905 até os dias de hoje os físicos têm sustentado que a Teoria da Relatividade nasceu para explicar o resultado inesperado da experiência que Albert Michelson e Edward Morley levaram a cabo em 1887, (...) Einstein confirmou repetidas vezes que, de fato, o experimento de Michelson e Morley teve muito pouco ou nenhuma influência na elaboração de sua teoria. Isto quer dizer que todos os textos de física afirmam algo falso quando sustentam que a teoria da relatividade nasceu para explicar o resultado obtido naquele famoso experimento e que os físicos relativistas se comportam como impostores (se bem que de boa fé) quando, fazendo descender a teoria da relatividade de um resultado experimental, buscam creditá-la como uma teoria apoiada solidamente em fatos, em lugar de reconhecê-la como uma simples especulação matemática, como efetivamente a considerou o próprio Einstein no momento em que a propôs.*

O Prof. A, a nosso ver, cometeu o equívoco de fazer tarde demais esses esclarecimentos, ou de não expor abertamente seus objetivos antes de iniciar as observações com a câmara escura ou mesmo durante o processo de discussões que se seguiu, pois àquelas alturas os

alunos não pareceram ter dado a atenção devida e o clima de ansiedade persistiu. Acostumados a aulas tradicionais, continuavam a espera de uma explicação, da verdade estabelecida na ciência.

De fato, talvez fosse o momento de o professor expor os conceitos e teorias cientificamente aceitas para explicar fenômenos ópticos. Mas ele preferiu um caminho intermediário e disse que as conclusões a que os alunos tinham chegado seriam tomadas como verdadeiras. Foi nesse clima que a aula terminou.

Na aula 21, em 31/10/07, a sala de aula permanecia disposta em forma de círculo e assim foi mantida. O professor fez a chamada pelo número num dia em que o ambiente estava mais silencioso do que de costume. O Prof. A mudou nesse dia sua estratégia.

Prof. A: *Já que a gente discutiu bastante e agora vamos dar uma olhada em alguns conceitos importantes, para vocês se acostumarem com as nomenclaturas. Pelo nosso acordo, luz se propaga através de raios luminosos e em linha reta. É possível mostrar que a luz tem uma velocidade constante, dependendo do meio. No vácuo a velocidade é 300.000 km/s. Significa que ela leva 1/1000s para ir de Porto Alegre até a cidade de Rio Grande (...); leva 8,14s para vir do Sol até a Terra. Sugiro um desafio para a próxima aula: viajando a 300.000 km/s qual a distância que a luz viaja em um ano?*

(...)

“corpos luminosos” são aqueles que emitem luz (...); “corpos iluminados” são os que refletem a luz (...); “pincel de luz” é um feixe de luz, e se os raios forem todos paralelo em forma de cilindro, então chamamos de “pincel cilíndrico de luz” (...) existem três fenômenos importantes: i) reflexão da luz, é o que vocês vêem no espelho, a luz chega até o espelho e volta (...); ii) refração é outro conceito importante que ocorre quando a luz atravessa um meio transparente (...).

Introduziu esses conceitos seguindo a mesma ordem em que eles apareciam na apostila de Física, elaborado por professores de Física da própria escola. O Prof. A utilizou uma garrafa com água e um objeto no seu interior para mostrar a refração.

Aluno 1: *A luz faz todo esse trajeto para a gente poder ver a coisinha lá de dentro?*

Prof. A: *É isso mesmo. (...) na “absorção” o corpo interage com a luz e transforma a energia em outra forma. Pensa em uma roupa preta. O que acontece?*

Aluno 2: *Ela esquenta...*

Prof. A: *Pode ser energia térmica ou outra forma de energia...vamos tentar entender os fenômenos que acontecem com a luz sem nos preocuparmos com o que é luz...*

O professor seguiu falando dos fenômenos ópticos (formação das imagens; nitidez; intensidade) sem fazer referência à natureza da luz ou ao conceito de cor. Também não fez uso da idéia de “modelos”.

Erkina *et al.* (2006) afirmam que a modelagem tem sido cada vez mais comum no ensino de Física, Química e ciências em geral, mas que é preciso ter um claro entendimento do papel do “modelo” na ciência. É preciso esclarecer que os cientistas usam modelos ou simplificações para descrever ou explicar fenômenos e prever resultados de novos fenômenos. Os modelos científicos, quaisquer que sejam: de objetos, de interações, de sistemas, de processos, quer sejam eles representados por conceitos, funções matemáticas, gráficos, figuras, diagramas de movimento, diagramas de raios, diagramas de forças, etc. precisam estar claros tanto para os professores quanto para os estudantes. Se assim for, os estudantes podem aprender a usá-los para resolver problemas específicos, e se engajar na construção de modelos de situações reais com o objetivo de descrever e explicar os fenômenos em estudo, sem confundir os modelos com a realidade. Ou seja, como o modelo tem o fim de representar algum aspecto da realidade deve “transmitir” essa coerência e precisa ser trabalhado criticamente com os alunos para não correr o risco de passar a idéia equivocada de que o modelo é a própria realidade.

Araujo, Veit e Moreira (2004) também nessa linha, em uma pesquisa com estudantes em início do curso de Física, obtiveram que eles apresentavam uma série de dificuldades para a interpretação de gráficos da Cinemática, por exemplo, interpretavam os gráficos como fotografias das trajetórias. Defenderam o uso de atividades de modelagem computacional como forma de permitir que ocorra interação dos estudantes com o processo de construção e análise do conhecimento e uma melhor compreensão dos modelos físicos, incluindo a discussão dos limites de validade dos mesmos.

Com relação ao uso da câmara escura nas aulas, Souza, Neves e Muramatsu (2007) incentivam os professores de Física da rede escolar a utilizarem-na não apenas para fazer compreender os princípios da Óptica Geométrica, mas para ensinarem a construir uma máquina fotográfica em sala de aula. Afirmam que *o funcionamento do processo*

fotográfico utiliza apenas dois princípios: o da câmara escura de orifício, relacionado ao processo de formação de imagens, e o da fotoquímica, que nos permite compreender como as imagens podem ser registradas. Com isso, incitam a associação dos princípios físicos da óptica com a fotografia e com as máquinas digitais cada vez mais comuns, fazendo com que a Física se aproxime do cotidiano dos estudantes.

O Prof. A encerrou a aula nesse dia solicitando que os alunos pesquisassem para a aula seguinte: *quais são as condições para que dois triângulos sejam semelhantes?* Sempre que o professor fazia esse tipo de desafios alguns poucos alunos, em geral sempre os mesmos, pareciam tomar para si a tarefa, provavelmente sabedores de que os colegas, em geral, não o fariam. Ainda que a intenção e os apelos do professor fossem para que todos os alunos se envolvessem nas discussões, isso sistematicamente não acontecia.

A vigésima segunda aula, em 01/11/2007, aconteceu num dia chuvoso em que boa parte dos alunos estava ausente. Com menos alunos em aula houve mais silêncio e maior organização. O professor começou perguntando quem tinha calculado a distância que a luz anda num *ano-luz*. Fez os cálculos. O número exorbitante de $9,46 \cdot 10^{12}$ km obtido por cálculos simples envolvendo a luz viajando a 300.000 km/s em MRU ($\Delta d = v \cdot \Delta t$) e a transformação do tempo de um ano em segundos, fez com que apenas um aluno vibrasse, pois ele tinha acertado o cálculo. Embora a maioria não tivesse feito o exercício, como solicitado, muitos alunos demonstraram curiosidades em relação a inúmeros aspectos da cosmologia e acabaram surgindo várias perguntas interessantes e esclarecimentos por parte do professor. Era invariavelmente assim quando um assunto da Física contemporânea era abordado, ainda que de forma abreviada.

Retomando o tópico de Óptica Geométrica, o Prof. A usou a semelhança de triângulos para explicar a relação entre objeto e imagem na câmara escura.

Prof. A: *Temos aqui dois triângulos formados pelos raios que passam através do orifício, que são semelhantes. (...) o tamanho do objeto chamamos de “o”; por conveniência a altura da imagem formada nós chamamos de “i”; a distância do objeto ao furo é “d_o”; a distância da imagem ao furo chamados de “d_i”. Agora por semelhança de triângulos pode-se mostrar, porque os ângulos internos são iguais, que: $i/o = d_o/d_i$; esta é uma relação matemática que eu não gosto de chamar de fórmula porque dá a idéia de expressão mágica (...) Se aproximamos a vela diminuimos d_o o que acontece com a imagem?*

Alunos: *Aumenta!!!*

A estratégia de começar com triângulos semelhantes que se formam na câmara escura pela trajetória dos raios de luz se mostrou excelente e conseguiu resolver vários exercícios da apostila. O professor tinha uma constante preocupação com a compreensão do fenômeno físico descrito pelo enunciado dos problemas e, via de regra, deixava os cálculos matemáticos em segundo plano.

A aula 23, 06/11/07, teve um início agitado com muita movimentação e conversas, mas os apelos do professor para que houvesse ordem em sala foram atendidos. Foi uma aula de resolução de exercícios. Observamos que a maioria dos alunos não os tinha resolvido, conforme havia sido solicitado pelo professor. O Prof. A resolveu vários exercícios, solicitou uma participação mais intensa para discutirem em conjunto e aproveitou para explicar “fontes primárias e fontes secundárias” e suas características. Observamos no desenrolar das discussões uma mistura confusa de respostas coerentes e “chutes” imprevisíveis.

Aluno 1: *Não entendo por que a lua é fonte secundária?*

Prof. A: *Acredita-se que a luz advinda do sol vai até a superfície da lua e parte dela é refletida e chega até a Terra. O sol tem luz própria é fonte primária, enquanto a lua só reflete a luz emitida pelo sol, é fonte secundária (...).*

Fizemos uma pequena intervenção para mostrar que os raios do sol que passam por entre as folhas das árvores também se comportam como numa câmara escura projetando no solo imagens do sol. Houve absoluto silêncio durante a explicação. O silêncio, atípico, nos fez crer, uma vez mais, que é muito importante que o professor apresente as explicações científicas buscando o contraditório com as concepções alternativas dos alunos, e assim evitando que tais idéias intuitivas se perpetuem.

Nesse dia o professor definiu as regras do projeto bimestral: os estudantes deveriam realizar pesquisas e escrever um texto com *aproximadamente duas páginas sobre o tema “luz e cor”* contendo a explicação conceitual da luz, descrição de algum experimento relacionado com o tema e relatar resultados, conclusões, etc.. O trabalho seria realizado em grupos de até quatro componentes e apresentado ao grande grupo a partir da data de 04/12/07.

Na vigésima quarta aula houve conselho de classe e não participamos da reunião.

No início da aula 25, em 08/11/07, o professor noticiou que a prova seria no dia seguinte. Os alunos protestaram, mas o professor contra-argumentou dizendo que o *conteúdo é muito pequeno e uma revisão bem feita de uma ou duas horas dá conta de toda a matéria da prova* e iniciou uma breve revisão.

Prof. A: *Tomando como verdadeiras as proposições da Óptica Geométrica às quais chegamos sobre a propagação da luz, dá para explicar muitas coisas: do 1º princípio dá para explicar porque tem esta sombra (apontou para a sombra da cortina no quadro). A propagação retilínea explica isto, a luz não faz curvas (...). O 2º princípio é o de que os raios são independentes (...).*

Aluna 1: *Sei cada um segue seu caminho quando passa no orifício da caixa.*

Prof. A: *Isso mesmo (...). O 3º princípio é aquele que explica que se você enxergar alguém no espelho este enxerga você: é a reversibilidade dos raios de luz. (...).*

Seguiu resolvendo alguns exercícios da apostila e fez insistente diferenciação entre fórmula e relação matemática buscando convencer os alunos que não deveriam decorar fórmulas, mas aprender seu significado e com isso, aprender a manuseá-las. Desenhou no quadro dois triângulos unidos pelo vértice (um deles contendo o objeto e outro, a imagem) e buscou mostrar que da relação de semelhança dos triângulos advinha a expressão matemática que rege a relação entre objeto e imagem ($i/o = d_o/d_i$). Esse raciocínio sempre nos pareceu elegante, pois a relação entre a Física da Matemática parecia natural: a Física assume o papel de explicar os fenômenos da natureza; a Matemática oferece ferramentas úteis para esse fim. Não ficamos convictos de que todos os alunos daquele grupo compreendessem esse vínculo. O Prof. A, não destacou este aspecto, mas de qualquer forma pareceu de fácil intuição para os alunos.

No final da aula reapareceu uma antiga angústia:

Aluna 2: *Se eu responder na prova que inverte a imagem porque ocorre propagação retilínea você não vai me dar errado porque isto está de acordo com o que a gente definiu como certo!*

A assertiva da Aluna 2 não teve um cunho provocativo, mas, talvez, a intenção de descobrir nas atitudes do professor se realmente tudo aquilo que havia surgido das

discussões em aula tinha realmente relevância e podia ser utilizado como explicação na prova ou, teria sido uma discussão abstrata? O estilo de aula das últimas semanas tinha realmente causado estranheza e os alunos sentiam-se um pouco intrigados. O professor pareceu perceber isso.

Prof. A: *Está correto o que foi concluído, de acordo com a Óptica Geométrica (...).*

E seguiu: *Sobre o trabalho “luz e cor” (...) a apresentação será no dia 04 de dezembro e de forma formal. (...) existem momentos na vida em que vocês têm que se portar como se estivessem no meio acadêmico e não pode ser através de gírias. Devem ter postura. Há outro aspecto que é novidade: a questão do tempo (...) deve ser entre 10 e 15 min (...). Isso exige que vocês façam uma coisa que não estão acostumados a fazer: ensaiar. É preciso ensaiar a apresentação e controlar o tempo (...). A apresentação deve envolver: 1) objetivo; 2) descrição da montagem do experimento escolhido; 3) descrição da experiência, o que foi feito; 4) discussão dos resultados; 5) conclusão e referências (...).*

O Prof. A, com regularidade, dava orientações e fazia apelos para que os alunos tivessem atitudes socialmente responsáveis e assumissem uma postura mais formal nas apresentações orais. Esses sempre eram momentos em que a turma ouvia silenciosa, um pouco perplexa, talvez. A aula nesse dia terminou mais silenciosa do que de costume.

A aula 26, 09/11/08, foi suspensa porque os alunos participaram de atividade religiosa.

A prova foi adiada para a aula 27, em 13/11/07 e transcorreu normalmente.

A aula 28, em 14/11/2007, começou com pequeno atraso porque o período anterior, História, foi estendido. O Prof. A fez rapidamente a chamada, sempre pelo número, e iniciou uma explicação breve sobre a reflexão em espelhos planos.

Prof. A: (...) *Hoje vou dar uma aula um pouco mecânica, pois vou mostrar como se faz, sem entrar nas explicações do porquê já que este assunto entra no simulado do final de semana. Acompanhem pela apostila (...).*

Desenhou um espelho plano e construiu os raios, a reflexão, o prolongamento destes e a formação da imagem de um ponto-objeto. Sempre havia dúvidas, conceitos às vezes mal compreendidos, ou incompreendidos, mas nem sempre se podia atribuir ao professor tais

lacunas. Muitas vezes o professor já tinha apresentado alguns assuntos em aulas anteriores, mas os alunos desconcentrados em meio a um ruído de fundo quase sempre presente não tinham escutado. O grande número de alunos na sala de aula e a proximidade entre as classes devido ao tamanho da sala eram, sem dúvida, fatores importantes na promoção dos ruídos e desconcentração.

Prof. A: *Vamos fazer uma analogia com bolinhas em uma mesa de sinuca. Aonde devemos jogar a bolinha para que ela possa se chocar na lateral da mesa, refletir e bater somente na bolinha que queremos movimentar? Nesta situação posso traçar uma reta perpendicular à parede da mesa no ponto onde a bolinha se choca.. Qual é o ângulo que forma entre a trajetória de ida da bolinha e a trajetória de saída em relação a essa perpendicular? (...) Usando essa analogia, a luz faz o mesmo no espelho (...) É refletida com um ângulo de reflexão que é igual ao ângulo de incidência (...) e mais, são coplanares, ou seja, pertencem ao mesmo plano (...). Dos infinitos raios que emanam do objeto escolho dois. Desenho um, qualquer um. Depois tomo um outro. Por praticidade escolho aquele que incide e reflete sobre ele mesmo (...). Se vocês não estiverem vendo o objeto ou o espelho de onde parecerá que veio o raio de luz?*

Aluno 1: *Parece que vem de dentro!*

Prof. A: *Tudo se passa como se a luz viesse de dentro do espelho (...) Posso estender os raios refletidos para dentro usando uma linha pontilhada, a imagem se forma onde os raios se encontram.*

Aluna 2: *E que sentido faz isso professor? O raio não atravessa o espelho. Por que esse se...se...se?*

Prof. A.: *Quero descrever o que acontece e para isso eu estabeleço algumas idéias e se elas descrevem bem o fenômeno então elas são minha teoria. (...). Desse mesmo jeito posso construir a imagem de um objeto extenso. É uma imagem virtual.*

Pensamos que o Prof. A poderia ter aproveitado a analogia para introduzir a idéia da luz como constituída de fótons e falar, ainda que de forma introdutória e qualitativa, de alguns conceitos da Óptica Física. Mas o professor não explorou esse aspecto. Também não se referiu à luz como onda, em suma, não explicou o que a Física entende por luz, seja no aspecto clássico ou quântico. Também não aproveitou o momento para explicitar aspectos da natureza da ciência, especialmente sobre a natureza conjectural das teorias científicas.

Oliveira *et al.* (2007), em uma pesquisa que envolveu dez professores de Física sobre a introdução de Física Moderna no Ensino Médio, implementaram uma proposta metodológica para o ensino de Raios-X. Obtiveram como um dos resultados da pesquisa que, de forma unânime, os professores de Física participantes disseram que a inserção de

temas da Física Moderna no Ensino Médio pode *servir de base para contextualizar o desenvolvimento da teoria científica no tempo e no espaço, além de fazer com que o aluno entenda sua evolução até os dias atuais, propiciando até mesmo, motivação para o desenvolvimento de habilidades e competências para a área de ciências*. Entretanto, o que observamos foi que esses temas estavam (estão) ainda muito distantes da sala de aula do Ensino Médio, mesmo quando se criam excelentes oportunidades para abordá-los.

Frequentemente explicações do professor eram interrompidas pelo sinal sonoro e com um alerta de que *“na próxima aula retomamos isso”* que, em geral, deixava alguns alunos visivelmente desapontados e outros, em verdade, aliviados. Em várias oportunidades refletimos sobre a eficácia de uma hora-aula de 40 min. Parecia um período curto demais e improdutivo.

A aula 29, em 20/11/07, começou com 10 min de atraso e com as costumeiras brincadeiras, conversas, circulação pela sala de aula, discussões sobre assuntos de outras disciplinas, combinações, etc.. Quando chegou, o Prof. A se disse chateado com a agitação crescente. A proximidade do final de ano e das provas finais pareciam estar associadas ao espírito inquieto dos estudantes. O professor retomou o conteúdo.

Prof. A: (...) *só o fato de os ângulos serem iguais na reflexão não descreve o fenômeno como um todo. O que dá para perceber é que se o raio incide com 45° em relação à normal, ele sai com 45° , mas não em qualquer direção. Aqui entra a segunda lei da reflexão. Por que lei? Porque ela é definida como se realmente isso acontece sempre (...) tudo se passa como se isso fosse realmente assim. A segunda lei da reflexão diz que o raio de incidência, o raio refletido e a normal são coplanares, estão no mesmo plano (...).*

Os alunos, às vezes, davam mostras de que não acreditavam que as coisas acontecem da forma como eram colocadas e a expressão comumente usada pelo professor *“tudo se passa como se...”* parecia reforçar essa desconfiança. Na verdade, o Prof. A não explicitou, pelo menos durante o período de nossa observação-participante, o que se entende na Física por lei, teoria ou modelo. Essa lacuna tornava as coisas muito complicadas para uma adequada compreensão da natureza da ciência pelos alunos.

O professor fez uso de uma folha de papel para fazer ver como o raio incidente, o raio refletido e a normal estão no mesmo plano. A tática pareceu ter funcionado, não houve

questionamento e a aula prosseguiu nessa linha. O Prof. A desenhou e mostrou a formação de imagens de objetos extensos tomando dois raios em cada uma de suas extremidades e estendendo o raio refletido.

Prof. A: (...) *só o fato de os ângulos serem iguais na reflexão não descreve o fenômeno como um todo. O que dá para perceber é que se o raio incide com 45° em relação à normal, ele sai com 45° , mas não em qualquer direção. Aqui entra a segunda lei da reflexão. Por que lei? Porque ela é definida como se realmente isso acontece sempre...tudo se passa como se isso fosse realmente assim. A segunda lei da reflexão diz que o raio de incidência, o raio refletido e a normal são coplanares, estão no mesmo plano.*

Era possível perceber que quando o professor se detinha em explicações mais pormenorizadas atendendo um ou outro aluno, os demais perdiam o interesse e o nível do ruído em sala de aula crescia muito.

A aula 30, em 21/11/2007, ocorreu num dia quente de primavera, sala fechada, sol penetrando pelas janelas, ambiente abafado aumentando a inquietação e a dificuldade de estabelecer padrões normais para uma aula produtiva. Nesse dia dialogamos com alguns alunos procurando saber em que medida eles gostavam e dominavam os conteúdos de Física. As opiniões foram variadas, mas, em geral, os alunos diziam gostar de Física e demonstravam carinho especial para com o professor.

A aula versou sobre natureza e classificação de imagens em espelhos planos.

Prof. A: (...) *virtual, tudo se passa como se a luz viesse de dentro do espelho; além disso, a imagem é reversa, ou seja, não dá para sobrepor objeto e imagem (...). Estamos interessados na natureza, posição e tamanho da imagem (...). Se alguém tiver outro parâmetro pode sugerir e a gente negocia.*

Essa abertura à negociação era uma característica do Prof. A bastante apreciada pelos alunos. Nesse dia ele distribuiu alguns espelhos e incentivou os alunos a observarem principalmente a imagem da própria mão e explorarem a reversão. Esses aspectos geraram controvérsias, discussões, algumas incursões por experimentos imaginários e uma dose considerável de conversas paralelas, que acabou por tornar a aula pouco produtiva e quase sem avanços em termos de conteúdo.

A trigésima primeira aula, em 22/11/2007, iniciou cedo da manhã e num ambiente mais sereno. O Prof. A pediu aos alunos para que se reunissem em grupos de quatro componentes para resolver alguns exercícios da apostila. Grupos em nosso entorno tiveram dificuldades para traçar os raios e obter a imagem, por exemplo, de uma seta inclinada. Ajudamos. O silêncio durante nossa breve exposição ao grupo foi absoluto demonstrando interesse em aprender certos truques facilitadores para construir as imagens e sair ilesos dos exercícios. No final o professor corrigiu alguns exercícios desenhando no quadro os objetos, traçando os raios principais, suas prorrogações e, assim, obtendo suas imagens. Alguns conceitos da Óptica Geométrica e o modelo de construção de imagens no espelho plano ainda causavam dificuldades aos alunos.

Alunos: *Infinitos raios saem do objeto?*

Prof. A: *Isso. Um raio sozinho não permite definir um ponto imagem no espelho (...).*

Aluno 2: *Por que a luz não vai para dentro do espelho?*

Prof. A: *Porque ela é refletida, o que fazemos é traçar o prolongamento dos raios refletidos com uma reta pontilhada justamente para diferenciar do raio incidente (...) se o objeto é extenso formo a imagem dos dois pontos extremos e suponho que todos os outros estão entre eles.*

Aluno 3: *Tu só estás mostrando como se faz!?*

Prof. A: *Estou mostrando uma regra básica da reflexão e depois a gente vai estudar espelhos esféricos e essas regras também valem, mas as imagens não serão simétricas como aqui.*

Algumas falas e intervenções dos alunos davam a impressão, em certos momentos, de que tudo o que havia sido debatido exaustivamente nas várias aulas de discussões pouco tinham valido. O questionamento do Aluno 3 parece indicar isso. Ou ele via toda aquela construção teórico-geométrica como uma “técnica” para resolver os exercícios, ou, quiçá, intuitivamente tinha idéias sobre a natureza das explicações científicas. Mas, mais uma vez, esses aspectos epistemológicos não foram abordados de forma explícita pelo Prof. A.

Uma aluna informou não ter entendido o que é imagem reversa. O professor voltou a usar o exemplo da mão esquerda que forma no espelho plano a imagem da mão direita. Repetiu a explicação. Houve novo questionamento. Ele voltou a repetir. A aluna dava sinais de que não entendia. Pedimos permissão para tentar uma explicação alternativa desenhando uma seta inclinada e sua imagem e propusemos sobrepor imagem e objeto e assim verificar que

embora ambas fossem imagens diretas não coincidiam, pois eram reversas. A tentativa pareceu ser proveitosa.

Aluna 4: *Ah entendi! Então pode ser direta e revertida!?*

A confusão, ao que parecia, estava associada à semelhança das expressões: invertida e revertida. A aula terminou nesse ritmo.

Aula 32, em 23/11/07, foi dedicada à aplicação de prova escrita.

Na aula 33, em 27/11/2007, o ambiente estava calmo e o professor começou fazendo a chamada. Os alunos pediram para que lhes fossem entregues as provas. O professor não atendeu e avançou no conteúdo introduzindo espelhos esféricos.

Prof. A: *É preciso avançar na matéria (...) O que acham que é espelho esférico? É na verdade uma casca esférica cortada. Se a esfera é oca então temos duas possibilidades: se estiver polida nos dois lados temos dois tipos de espelhos, um côncavo e outro convexo.*

O professor utilizou uma pequena esfera de isopor e cortou uma calota para dar uma idéia de como se obtém um espelho esférico. Desenhou com a ajuda de uma régua duas retas representando os eixos principais e dois espelhos: côncavo e convexo. Explicou suas características, destacou as diferenças procurando incitar os alunos a responderem e participarem do raciocínio. Em geral, nessas circunstâncias uma parcela da sala respondia e outra permanecia em seu isolamento costumeiro, ou envolvida em pequenas distrações. Nesse dia uma aluna deu-se conta da situação e reclamou dos colegas.

Aluna 1: *Vocês não estão participando da aula!!*

Ela era uma espécie de líder natural, tinha enorme capacidade intelectual e em geral era ouvida pelos colegas.

Prof. A: *Estamos combinando, padronizando que o ponto do eixo principal que toca o espelho no meio é o vértice. Marcamos mais dois pontos; no meio da distância do centro ao vértice chamamos de “foco” do espelho. Este ponto é extremamente importante porque todos os raios de luz que incidem no espelho côncavo paralelamente ao eixo principal refletem em direção ao foco (...). No espelho*

convexo também marcamos os mesmos pontos, porém do outro lado do espelho e usamos as regras da reflexão, já conhecidas. (...).

Aluno 2: *Não entendi como traçar a normal.*

Prof. A: *Traço uma reta tangente no ponto e vejo que a normal em cada ponto vai mudando. (...) vamos fazer um desenho que acho que vocês entenderão melhor....*

O sinal sonoro marcou o fim da aula e interrompeu, novamente, todo um conjunto de raciocínios, impedindo que alunos e professor chegassem a um fecho conclusivo. Como já referido, aulas de apenas 40 min eram uma das dificuldades, a nosso ver, para um bom andamento das aulas de Física naquele contexto escolar. Retomar o assunto na aula seguinte, em geral, significava recomeçar uma sequência de explicações, mas às vezes dúvidas relevantes se perdiam, e todo um processo de iminente compreensão parecia ir água abaixo.

Na aula 34, em 28/11/2007, os ânimos pareciam exaltados, houve falta de cadeiras, e alguns desentendimentos fortuitos em que o professor procurou não intervir. Ele fez a chamada rapidamente e retomou a explicação dos espelhos esféricos.

Aluno 1: *Eu vi que no ônibus tem espelho côncavo...*

Prof. A: *Isso mesmo, depois vamos falar disso.*

Essas conexões da Física com o cotidiano eram sempre bem vindas para os alunos.

Prof. A: *O ponto “C” é o centro da esfera que deu origem ao espelho, OK? Este é um espelho convexo, a distância do centro ao ponto que toca o espelho é o raio, sendo que o meio dele é o foco “f” (...). O que eu quero discutir são os 4 raios que por seguirem as regras da reflexão são bem comportados (...) Raio 1: vai paralelo ao eixo principal em direção ao espelho e se fizermos $\hat{i}=r$, ele reflete como se estivesse vindo do foco. (...) raio 2 é o que vai em direção ao espelho passando pelo foco e reflete paralelamente ao eixo principal.*

Aluno 2: *Que mentira!*

Ouvimos a afirmação e indagamos.

Pesquisadora: *Você não acredita que isso possa ocorrer?*

Aluno 2: *Como é que ele (o raio) vai saber disso? Como o raio sabe que ele tem que passar pelo foco e sair assim tão paralelo ao eixo?*

Pesquisadora: *Se você usar um laser fininho você pode visualizar isso. Pode ajustar o laser para que ele fique exatamente paralelo ao eixo; ele vai incidir e será refletido pelo espelho, e passará por um ponto que nós podemos marcar e que coincide com o foco ou vice-versa. Foi assim que os físicos observaram que as coisas acontecem...*

O aluno refletiu por alguns segundos. Pareceu concordar. Mas ele deixava transparecer uma profunda convicção de que todas aquelas regras não eram, nem precisavam ser inteligíveis para a natureza. Algo como: a natureza segue seu curso e não tem o compromisso de reconhecer ou seguir as leis da Física. Todo o esforço do ponto de vista epistemológico que o Prof. A desenvolvera, embora não de forma explícita, parecia não ter oferecido nenhuma contribuição para a melhoria da compreensão da natureza das leis e teorias da Física, nesses momentos. Era como se o aluno dissesse: está bem, é o homem quem inventa as teorias, mas a natureza não sabe disso, tampouco as reconhece. Visivelmente ele não tinha a percepção de que as teorias apenas tentam explicar o comportamento da realidade tão bem quanto possível, mas uma explicação humana voltada para a compreensão humana, tão somente.

Questões assim, associadas a certas concepções dos alunos, permeavam as aulas, mas o Prof. A dificilmente se apercebia delas, pois, invariavelmente, consistiam em comentários paralelos e não comunicados ao grande grupo. Eram concepções que vez ou outra os alunos deixavam escapar. Muito provavelmente, não gostariam de expô-las em público ou vê-las discutidas. Eram pessoais, indiscutíveis e ali permaneceriam, quiçá, por longo tempo.

A aula 35, em 29/11/2007, foi marcada ruído intenso na sala de aula e o Prof. A mostrou, pela primeira vez, algum grau de impaciência. Somado a isso havia barulho externo provocado por uma obra de construção de um prédio na escola, bem ao lado da sala. O professor, por várias vezes, precisou interromper a explicação, pedindo e aguardando que os alunos colaborassem fazendo silêncio. O assunto continuou sendo espelhos esféricos. O professor desenhou um espelho côncavo e marcou vértice, centro e foco.

Prof. A: *Estou escolhendo dois raios que partem do ponto extremo do objeto é isso, e a imagem se forma no cruzamento dos raios, dos raios estendidos (...).*

Aluno 1: *Agora é que não entendi mais nada...*

Prof. A: (...) *Desenhando os três raios já conhecidos vemos que eles se cruzam no mesmo ponto que é onde se forma a imagem daquele ponto do objeto. O quarto raio é aquele que incide no vértice, volta e estendendo o raio refletido passa pelo mesmo ponto (...).*

Aluno 2: *Por que tu falaste “tem que dar” isso?*

Prof. A: *Se o espelho é perfeitamente esférico isso ocorre sempre.*

Houve silêncio momentâneo e as conversas que se seguiram davam a impressão de que alguns duvidavam que a luz tivesse tal comportamento regular. Observamos a natureza e tentamos explicar de forma racional e precisa os fenômenos, levando em conta alguns conhecimentos que já temos, de forma que nossa explicação possa ser verificada de alguma forma. Talvez tenha faltado explicar isto. As últimas aulas tinham sido expositivas e num ritmo bem mais acelerado do que as várias aulas de discussões e debates do início da Óptica Geométrica.

Aparentemente o tempo não tinha sido adequadamente planejamento e agora, aflito pelo exíguo tempo, o Prof. A tinha de ensinar os alunos a construir as imagens formadas em espelhos planos e esféricos, em diferentes posições do objeto em relação ao espelho, bem como a lidar com as relações matemáticas sem poder se deter demasiadamente nas explicações. O resultado era visível: muitas questões conceituais iam ficando para trás.

Prof. A: *Agora vou colocar o objeto exatamente sobre o centro para ver o que acontece (...). Imagem real ou virtual?*

Alunos: *Real!!!*

Aluno 5: *Por que é real?*

Prof. A: *Quando a imagem é formada pelos raios refletidos é real.*

Aluno 6: *Mas não tem que desenhar os quatro raios?*

Prof. A: *Desenhei antes os quatro raios para mostrá-los. Você pode escolher dois apenas para construir a imagem (...).*

Alguns alunos pareciam não compreender por que apenas dois raios eram suficientes uma vez que o Prof. A havia insistido em mostrar quatro raios “bem comportados”. Estava em curso, muito provavelmente, uma *aprendizagem mecânica*. Apenas tinham de fazer daquele jeito e tudo funcionaria.

Na aula 36, 30/11/2007, um outro dia quente de primavera, a sala fechada e abafada incitava o desânimo e certo grau de desinteresse. Foi uma revisão de preparação para a prova que aconteceria na aula seguinte.

O professor solicitou que resolvessem exercícios da apostila e propôs esclarecer as dúvidas que fossem aparecendo. Não foi o que aconteceu. Já no primeiro exercício o professor foi solicitado a interpretar o enunciado, desenhar no quadro e resolver o problema: tratava-se de um objeto colocado entre o centro e o foco num espelho côncavo. Foi uma repetição das explicações anteriores. O momento mais interessante da aula foi quando o professor usou o exemplo do farol de um carro: o espelho é esférico e a lâmpada é colocada no foco do espelho de forma que os raios saem paralelos iluminando a grandes distâncias, *que é justamente o objetivo do farol*, disse.

Seguiu-se novo exercício e novas explicações.

Prof. A: (...) *podemos usar um espelho côncavo e uma caneta-laser para mostrar que quando afastamos o raio incidente em relação à normal o raio refletido também se afasta; e, que pelo menos em uma posição o raio reflete sobre ele mesmo. Assim podemos ver como os quatro raios principais se comportam (...).*

Ao nosso lado, outra manifestação de incredulidade, como já ouvido antes:

Aluno 1: *Não é verdade!*

Pesquisadora: *Por que você pensa assim?*

Aluno 2: *Acho que os raios de luz não estão nem aí ... não tomam conhecimento dessas regras. Por que eles teriam que seguir paralelos ao eixo e voltar passando pelo foco ou fazer o contrário? Quem disse isso a eles? Luz é luz e pronto...*

Pesquisadora: *Foi tentando entender como se formam as imagens que os físicos perceberam que essa regularidade de fato ocorre. Se você usar um laser de caneta e marcar com precisão o centro e o foco do espelho poderá fazer um experimento ver que isso de fato ocorre sem que o raio precise saber disso ...*

Nossa tentativa de negociação de idéias foi, no entanto, interrompida pelo sinal sonoro. Esse tipo de argumento que experimentamos, aparentemente, era bem aceito pelos alunos quando devidamente negociado. Outros alunos, embora, em geral, bastante participativos nas aulas, pareciam mais inclinados a pensar que todos aqueles artifícios de construção geométrica de imagens eram estratégias que o professor utilizava e que deveriam aprender

porque funcionavam bem para resolver os exercícios e se sair bem na prova. *Faz desse jeito que funciona*, não era incomum ouvir de algum aluno falando ao colega.

Na verdade a situação não era fácil. Favorecer a livre discussão e incitar os alunos a construir ou perceberem certos princípios gerais de algum tópico da Física parecia ser uma estratégia motivadora. Porém, não suficiente para promover uma aprendizagem significativa e também insuficiente para passar uma imagem adequada da natureza da ciência. Pareceu-nos absolutamente necessário o conflito bem planejado entre os conhecimentos prévios dos alunos, mesmo aqueles construídos coletivamente em sala de aula, com o conhecimento científico, aquele aceito pela comunidade científica. É preciso expor claramente qual é a melhor explicação, aquela aceita até o momento e tentar mostrar que o fenômeno é melhor compreendido quando se compreende a explicação científica, sob pena de cair num relativismo perigoso em que os alunos começam a achar que a sua forma de explicar o mundo é tão legítima quanto a científica.

Por todos esses eventos que se pode observar em sala de aula, intui-se que incitar a construção de uma visão adequada da natureza da ciência não pode abrir mão dos conceitos e teorias cientificamente aceitos, e suas relações matemáticas, mas deve incluir, de forma explícita, a discussão das controvérsias históricas pelas quais se deu a evolução desses conceitos e teorias e uma clara explicitação de que as explicações científicas são construções humanas e podem ser melhoradas e até mesmo substituídas. A questão epistemológica passada de forma implícita, na esperança de que os alunos, por si, construam concepções mais adequadas às visões epistemológicas contemporâneas ou abduquem espontaneamente de suas concepções enraizadas parece, a princípio, ineficaz.

Na aula 37 houve prova escrita e transcorreu normalmente.

A aula 38, em 04/12/07, foi outra vez num dia quente e com a sala sem ventilação por falta de energia elétrica. O professor teve dificuldades para manter o controle da turma no início da aula. Alguns alunos deram-se conta: *Silêncio!!! Vocês não estão vendo o professor?*

Prof. A: *Hoje é dia de iniciarmos as apresentações dos trabalhos “luz e cor”. As apresentações têm de ser formais; devem ter as referências pesquisadas; vocês devem ter postura, cuidar com a linguagem (...). Tem algum grupo que quer ser voluntário?*

O Grupo 1 (quatro alunos) apresentou-se.

Grupo 1-Aluno 1: (...) *Luz é uma energia luminosa (..) a luz do sol é composta de sete cores: violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.*

Grupo 1-Aluno 2: *Fontes monocromáticas: alguns objetos refletem uma ou todas as radiações. O importante é aquela componente que é refletida, ela dá a cor ao objeto. Luz branca significa que refletiu todas as cores (...)*

O Aluno 3 do Grupo 1 leu um texto sobre como ocorre a percepção das cores no olho humano e na sequência o grupo fez uma demonstração utilizando uma taça com água e uma lanterna tentando decompor a luz branca.

Grupo 1-Aluno 1: *A lanterna seria o sol; o copo de água a chuva e as cores que aparecem no anteparo formariam o arco-íris...*

O Aluno 4 do Grupo 1 falou do significado das cores segundo algumas concepções ocidentais, por exemplo, violeta: espiritualidade; laranja: equilíbrio; branco: pureza, etc..

Observamos que todos os componentes do grupo carregavam suas falas escritas em pequenos bilhetes e quando se atrapalhavam liam-nas. Demonstavam insegurança e a impressão geral foi a de uma apresentação “mecânica”, sem domínio do assunto.

Prof. A: *Nós estamos acostumados a falar “esta cortina é azul”, mas o certo seria “eu percebo esta cortina como refletindo o azul”.*

Aluno 5: *Ah! Isso é demais, tu estás querendo dizer que ela não é azul?*

Prof. A: *Meus detectores, os olhos, percebem que a cortina reflete a radiação eletromagnética cujo comprimento de onda é o do azul.*

Na verdade, a queixa do aluno 5 fazia sentido, pois tinha sido a primeira vez que o Prof. A fazia referência à luz como onda eletromagnética. Mas como foi um aparte à apresentação do Grupo 1, ficamos com a impressão de que para a grande maioria dos alunos o aparte passou despercebido. Alguns pareceram interessados, ainda assim não seria possível supor o que eles imaginaram ser uma “onda eletromagnética”.

Silva (2007) entende que a forma como os livros de Física elementar definem a luz visível (uma faixa do espectro visível de comprimento de onda (λ) entre 380 nm e 740 nm, à qual

corresponde uma faixa de frequências (f) de 790 THz a a 405 THz, cuja relação matemática entre essas grandezas é $\lambda f=c$, onde “ c ” é a velocidade da luz no vácuo) e atribuem as cores às várias regiões do espectro é algo arbitrário porque “cor” é um conceito psicológico, intimamente relacionado com os complexos mecanismos de interpretação dos sinais elétricos pelo cérebro. É preciso esclarecer, advertiu, que quando a luz atravessa um meio material sua velocidade diminui na razão c/n , onde n é o índice de refração do meio, de tal forma que o que muda é o comprimento de onda ($\lambda'=\lambda/n$). Assim, o conceito de “cor” deve ser associado à frequência, que independe do meio.

Como referido, poderia o Prof. A já ter abordado a luz como um ente físico constituído de fótons o que facilitaria as coisas, pois, como adverte Silva (2007): *a sensação de cor é determinada pelos cones (células foto-receptoras) (...) a capacidade (dos cones) depende da energia dos fótons. Ora, a energia E de um fóton é dada por $E=hf$ (onde h é a constante de Planck, $h \approx 6.6 \times 10^{-34}$ J.s) e, (...) a frequência não depende do meio no qual o raio de luz se desloca, logo, chegamos à conclusão de que cor deve ser associada à frequência e não ao comprimento de onda.* Alerta que se preferirmos manter a correspondência usual dos livros textos *entre cor e comprimento de onda, devemos “pensar” (e explicitar, diríamos) no comprimento de onda no vácuo.*

Percebeu-se que essas questões conceituais, que não teriam demandado conhecimento matemático aprofundado, poderiam ter contribuído grandemente para uma melhor compreensão dos alunos sobre o assunto que eles estavam apresentando (luz e cor), que visivelmente não dominavam.

Seguiu-se a apresentação do Grupo 2, composto por duas alunas. Foi uma apresentação simples, utilizando um recipiente de alumínio (forma de cozinha) contendo água, um espelho inclinado e imerso na água e uma lanterna. Focando a lanterna fizeram o feixe de luz atravessar o meio (água) incidir no espelho e ser refletido e refratado na parede da sala de aula. Não foi possível ver claramente a separação das cores. Talvez porque a lâmina de água fosse delgada demais, entre 1,5 a 2 cm, aproximadamente. As alunas não conseguiram explicar com clareza o que concluíram ou porque deveria ocorrer a separação das cores ao atravessar um meio transparente (nesse caso a água).

De qualquer forma, nenhum dos grupos conseguiu explicar porque a luz branca se decompõe ao atravessar um meio transparente mais denso, de forma que os trabalhos e as apresentações foram bastante elementares.

A aula 39, em 05/12/07, foi marcada pela ansiedade típica dos momentos que antecedem às apresentações. O professor foi enfático sobre a necessidade de fazerem silêncio e apressarem as apresentações. A questão era o tempo escasso.

O Grupo 3 era formado por 4 alunos:

Grupo 3-Aluno 1: A cor é um fenômeno que provoca uma ação de um feixe de fótons que é recebido pela retina do olho e lido pelo cérebro... A cor preta é porque todos os raios de todas as cores são absorvidos...

Grupo 3-Aluno 2: Se pegarmos uma lanterna e cobrirmos com um filtro em que passa só o amarelo e se incidirmos numa parede azul a gente vê verde porque é a fusão...

O Aluno 3 do Grupo 3 fez um breve histórico sobre o prisma de Newton e como foi usado para a decomposição da luz.

Grupo3-Aluno 4: Cada cor tem uma espécie de frequência. Não sei o que é frequência (...)

O grupo fez uma demonstração utilizando o disco de Newton, que foi preparado em cartolina pintada e preso ao eixo do motor de um carrinho de brinquedo. Quando o motor foi acionado o disco passou a girar rapidamente percebendo-se o branco, junção de todas as cores.

Visivelmente as falas tinham sido decoradas sem a devida compreensão dos conceitos, como o Aluno 4 declarou. Essa situação se repetia nas apresentações e colocava em dúvida a validade do próprio projeto, a nosso ver. O professor apercebeu-se disso e manifestou sua preocupação.

Prof. A: Quando a gente vai apresentar tem que dominar bem o assunto que se está falando. Usem palavras de vocês mesmos, aí vocês entendem e se fazem entender (...). Ninguém explicou porque a gente vê o branco e não as cores separadas quando o disco está girando (...).

O Grupo 4, que se apresentou na sequência, era composto de 4 meninas e estava mais organizado e melhor preparado:

Grupo 4-Aluna 1: (...). *A Óptica Geométrica estuda os fenômenos da luz, sem se preocupar com a origem da luz (...).*

Grupo 4-Aluna 2: *A luz pode ser monocromática quando tem uma cor, ou policromática quando é formada por várias cores, como é o caso da luz branca (...).*

Grupo 4-Aluna 4: (...). *Usamos uma madeira como suporte, 3 leds, 1 bola de ping-pong, 2 pilhas, fios e 3 potenciômetros. (...) Nós tivemos muitos problemas, até ontem ainda não funcionava. Tivemos dificuldades para descobrir como ligar o potenciômetro, tínhamos ligações erradas ... O objetivo é mostrar que a junção de três cores – vermelho, verde e azul – forma a luz branca (...).*

O professor explicou a função do potenciômetro e o esquema elétrico utilizado na montagem do sistema que permitia ligar os *leds* individualmente para mostrar cada cor e depois em conjunto, para visualizar a luz branca. Esse grupo apresentou um trabalho mais elaborado do ponto de vista da instrumentação e da demonstração, mas com as mesmas lacunas com relação à compreensão e explicação dos conceitos físicos envolvidos.

A aula terminou sem um fechamento sobre as apresentações e sobre o conhecimento que elas puderam agregar.

A aula 40, em 06/12/07, foi uma continuação das apresentações dos trabalhos de grupo.

O Grupo 5 foi o que iniciou as apresentações daquela aula:

Grupo 5-Aluno 1: *A luz é formada por 7 radiações que podem ser separadas (...)*

Grupo 5-Aluno 2: *Quando um objeto é iluminado ele reflete a cor que nossos olhos enxergam (...). Se todas as cores são refletidas então o objeto aparece branco.*

Grupo 5-Aluno 3: *A gente observa as cores através das células da retina, que transmitem ao cérebro. Isso demanda algum tempo, e se o disco de Newton gira mais rápido que esse intervalo de tempo o cérebro não consegue separar as cores (...) o resultado é que enxergamos o disco branco.*

O Aluno 4 do Grupo 5 também apresentou um histórico sobre o disco de Newton. O grupo mostrou em um cartaz colorido o resultado de algumas sobreposições de cores e depois repetiu a demonstração superpondo papel celofane de cores primárias, fazendo incidir

sobre eles a luz de uma lanterna. O resultado foi o aparecimento de diferentes cores pela sobreposição dos filtros, que os colegas acharam interessante. Também mostraram o disco de Newton adaptado ao eixo de uma furadeira elétrica que posto a girar em alta velocidade permitiu ver claramente que ele parecia branco.

O professor abriu espaço para as perguntas.

Aluno 5: Se as cores da luz são independentes por que ela aparece branca?

Prof. A: Existe alguma luz que seja branca?

Aluno 6: Claro que sim. Toda luz é branca, mas pode ser separada...

Houve um pequeno debate e tentativas de responder à questão do Aluno 5. Em nenhum momento houve explicações sobre a variação da velocidade da luz em meios transparentes, associando as diferentes cores às distintas frequências, ou referenciando o comprimento de onda do espectro visível, o que, uma vez mais, deixava evidente a lacuna conceitual em que os alunos se encontravam e que não conseguiram suprir através da realização das pesquisas e das apresentações dos trabalhos.

Na sequência, apresentou-se o Grupo 6.

Grupo 6-Aluno 1: Cor é uma radiação que se observa quando o cérebro registra dada amplitude. Nós enxergamos a cor que o objeto não absorve ...

O Aluno 2-Grupo 6 fez referência a uma ciência que estuda as cores: a cromodinâmica. Falou que se pode medir a intensidade, a luminosidade, a interferência da luz.

O grupo 6, a exemplo de outros, fez uma experiência simples para decompor a luz branca e o professor fez uma queixa dizendo que quase todos os grupos tentaram mostrar a separação da luz branca, mas nenhum conseguiu explicar porque isso acontece.

Prof. A: Afinal, por que a luz se separa? Vocês afirmaram que o fenômeno acontece, mostraram, mas não explicaram por quê? Tenho certeza que vocês podem render muito mais. (...)

O visível desconsolo do professor deixava evidente que ele próprio esperava que os alunos pudessem ter compreendido melhor a luz, a cor, a propagação e todos os conceitos associados durante a preparação do projeto “luz e cor”, que culminou com as apresentações dos grupos.

Entendemos, entretanto, que seria esperar demais dos alunos, não familiarizados com conceitos ondulatórios e quânticos chegarem a uma compreensão satisfatória desses fenômenos. Disso o Prof. A pareceu ter-se dado conta somente então, quando já era tarde demais para reverter a situação.

A aula 41, em 07/12/07, foi o último dia do ano letivo da escola e as apresentações que não puderam, por falta de tempo, ocorrer em aula foram feitas na tarde daquele mesmo dia.

Grupo 7-Aluno 1: *Para que a gente possa ver um objeto ele tem que estar iluminado. Newton fez experiências sobre a luz e segundo sua teoria a luz branca era a junção de várias cores. Para comprovar isso decompôs a luz branca em suas cores com um prisma (...). O disco de Newton é a experiência contrária: que junta as cores para formar o branco...*

Grupo 7-Aluno 2: (...) *um corpo azul recebe todas as cores mas só reflete o azul, por isso ele é azul...*

Grupo 7-Aluno 3: (...) *A observação do espectro solar, em 1815, mostrou que havia linhas escuras ou linhas de absorção da luz; (...) diferentes elementos químicos emitem cores de espectro diferente. Isto é o que é utilizado nos fogos de artifício...*

Esse grupo, igualmente, mostrou o disco de Newton preso às hélices de um ventilador.

Grupo 7-Aluno 4: *A cor é uma onda eletromagnética e vai da frequência mais curta à frequência mais longa que é o vermelho (...).*

Devido ao equívoco do Aluno 4-Grupo 7, o professor fez uma pequena intervenção para falar de alguns conceitos fundamentais e dos aspectos ondulatórios da luz. Embora tenha afirmado que falar em “frequência mais curta” e “frequência mais longa” é um erro em Física, não teve tempo, e talvez nem fosse oportuno, definir esses conceitos de forma mais aprofundada, para que fizesse sentido aos alunos. O Aluno 2-Grupo 7 percebeu essas enormes lacunas conceituais e nos procurou no final da aula, após sua apresentação.

Aluno 2-Grupo7: *Fui confuso não fui?*

Acenamos afirmativamente embora soubéssemos que ele próprio dera de si o máximo. Faltava-lhe domínio do assunto. Ele tinha consciência disso.

O Grupo 8 foi o último a se apresentar e, de forma geral, com as mesmas lacunas e deficiências dos demais.

Grupo 8-Aluno 1: *Nosso objetivo é mostrar que no nosso cotidiano a luz é muito importante...*

Grupo 8-Aluno 2: *A luz que a gente enxerga está entre o infravermelho e o ultravioleta... Cada cor tem uma frequência de onda e quando se juntam ficam todas com a mesma frequência de cor...*

Grupo 8-Aluno 3: *Por que existe cor? Porque os fótons excitam nossa retina...*

Grupo 8-Aluno 4: *Cada cor tem diferentes velocidades...*

O professor fez intervenções para corrigir certos erros conceituais. Mas, tendo em vista que os conceitos sobre luz e cor pareciam não se articular logicamente para os alunos, as intervenções pouco ajudaram.

Como, em média, cada grupo tinha quatro componentes, significava que pelo menos dois grupos não tinham apresentado ainda seus trabalhos. O professor marcou uma aula extraordinária no período da tarde daquele mesmo dia para concluírem as apresentações.

Nossa impressão geral foi de que aquela turma encerrou aquele ano letivo sem compreender o que é luz, cor, espectro visível, frequência, comprimento de onda, onda eletromagnética, fótons. Enfim, sem uma consistente alfabetização científica desses aspectos da natureza e possivelmente sem uma compreensão epistemológica adequada, sobre como a ciência construiu essas explicações e as controvérsias que estiveram envolvidas e ainda envolvem esse processo.

6.4 Alguns achados do Estudo de Caso com o Professor A (Estudo III)

Do ponto de vista da pesquisadora o processo de sala de aula compõe-se de um conjunto complexo de aspectos imbricados e igualmente importantes: professor, alunos, ambiente físico, currículo, atividades, ações e atitudes de ensino e aprendizagem. Por este motivo

nossa análise faz referência a vários desses aspectos sem desassociar um ou outro, buscando fazer uma abordagem de contexto.

Os aspectos relacionados ao comportamento evidenciaram relações de coleguismo, amizade, cooperação e respeito. Ainda que as conversas e um ruído de fundo tenham entremeado as aulas de maneira persistente, eram compatíveis com a faixa etária daquele grupo de adolescentes e foram administradas pelo Prof. A de forma pacífica, e em certos momentos serviram até mesmo para fortalecer as relações sociais entre colegas e entre professor e alunos.

Afora as dificuldades que afloraram nas apresentações dos trabalhos de grupo no final daquele semestre, de maneira geral, as aulas do Prof. A, claramente, enfatizaram a compreensão de aspectos conceituais em detrimento dos cálculos e da resolução sistemática de exercícios, o que foi uma atitude louvável na direção da mudança conceitual, da compreensão do significado das teorias físicas e de certa reflexão, muito embora em raros momentos, buscando a formação de cidadãos mais críticos.

Não estamos, com isso, tentando subestimar a importância do desenvolvimento de habilidades matemáticas, absolutamente necessárias para a compreensão da Física. Porém, se queremos ensinar uma Física para o cidadão, ela terá que ser menos formulista e necessariamente mais acessível. O movimento *Physics First* nas escolas secundárias americanas, sob o slogan da AAPT “Física para todos” é um bom exemplo disso. O movimento tenta reverter, naquele país, a sequência recomendada desde 1920 pelo *Committee on Reorganization of Science in Secondary Schools*, que se tornou comum após a Segunda Guerra – Biologia-Química-Física – e que até os dias de hoje 99% das escolas americanas seguem-na. Com isso, aconteceu que a Física (no regime de um crédito exigido para ingresso nas universidades acoplado com a sequência B-Q-F) tornou-se uma disciplina eletiva e apenas uma fração da população de estudantes da escola secundária americana se inscreve nela. O decréscimo das matrículas em Física também esteve associado a informações de que os estudantes acham a Física muito abstrata, muito matematizada, muito parecida com a dos cursos universitários e a aprendizagem muito dependente de livros de texto, com professores inadequadamente preparados (Sheppard e Robbins, 2003; Lederman, 2005). Ressalvadas as devidas diferenças, como a questão da

preparação e exigências para o ingresso à universidade, não nos parece que em nosso país as coisas sejam tão diferentes.

Um aspecto positivo observado foi que o Prof. A procurava levar para a sala de aula objetos e instrumentos simples buscando demonstrar fenômenos físicos, tanto na Termodinâmica quanto na Óptica Geométrica, e sempre se esforçou para associar os conceitos físicos à vida quotidiana dos alunos. Essas atitudes eram, em geral, muito apreciadas pelos alunos, pois na maioria das vezes eles se mostravam interessados e muitas vezes se animavam a ensaiar tentativas de explicações de fenômenos, além de incitar curiosidades e aspectos mais gerais da Física.

O resultado imediato daquele processo mais participativo nas aulas de Física (repetimos, mais voltado à compreensão dos fenômenos e menos devotado aos cálculos) convertia-se em um fator de motivação que podia ser considerado bom. De maneira geral, os alunos diziam gostar de Física ou pelo menos nunca fizeram demonstrações de aversão à disciplina. Não todos, mas boa parte dos alunos, em muitos momentos, pareceu retirar das discussões de sala de aula ensinamentos e reflexões que julgamos, poderiam levar para a vida.

Essa estratégia mais participativa facilitava a autocrítica das concepções do ponto de vista da Filosofia da Ciência, embora o Prof. A não tivesse nunca abordado explicitamente aspectos relacionados à natureza da ciência e ao trabalho dos cientistas.

Com relação ao andamento das aulas, as coisas não eram tão simples. Ocorria com frequência um desvio do foco do conteúdo abordado e do objetivo em si da aula. A aquisição de habilidades na resolução de problemas básicos de Física, como já afirmado, ficava prejudicada e o resultado imediato foi uma derrocada no rendimento médio nas provas finais. A Tabela 6.1 mostra essa situação.

Observa-se da Tabela 6.1 que, mantidos os padrões da escola com relação ao nível de exigência e ao formato das provas (provas escritas e preferencialmente de resolução de exercícios à semelhança dos exames vestibulares), o rendimento médio dos alunos baixou consideravelmente com o que poderíamos chamar de “estratégia diferenciada de ensino, mais participativa” adotada pelo Prof. A. Esse tipo de avaliação (provas), no entanto,

avaliava tão somente o desempenho dos alunos com relação à resolução de problemas padrão de Física. Não avaliou os ganhos conceituais, reflexivos e críticos que, como já mencionado, foram gradativamente incentivados através de diferentes estratégias adotadas pelo Prof. A.

Tabela 6.1: Resultado da 1ª e 2ª provas do conteúdo de Óptica Geométrica, estudo de caso com o Prof. A, 2º ano do Nível Médio, escola particular de Porto Alegre, ano letivo 2007.

1ª Prova de Óptica Geométrica nov/07			2ª Prova de Óptica Geométrica dez/07		
Notas	Nº de Alunos	Percentual	Notas	Nº de Alunos	Percentual
Entre 0 e 5	8	20%	Entre 0 e 5	24	58,5%
Acima de 5 até 8	16	40%	Acima de 5 até 8	10	24,4%
Acima de 8 até 10	16	40%	Acima de 8 até 10	7	17,1%
Total	40	100%	Total	41	100%

De qualquer forma, percebeu-se que o professor desperdiçou, ao longo das aulas em que abordou e discutiu a Óptica Geométrica, grandes oportunidades (em aula, nas discussões e nas apresentações dos trabalhos dos grupos) de falar dos limites de validade da Óptica Geométrica e de abordar conceitos da Óptica Física, ainda que, repetimos, de forma introdutória, introduzir alguns conceitos quânticos como: dualidade, fótons, difração, etc.. Em outras palavras, desperdiçou oportunidades ímpares de falar da Física Moderna, tão carente no Ensino Médio.

Nesse sentido, o Prof. A teve uma atitude passiva quando poderia ter sido pró-ativo, desperdiçando todo um ambiente favorável que ele próprio havia construído. Talvez o professor, como referimos, esperasse que os alunos compreendessem certos conceitos ao prepararem as pesquisas do projeto “luz e cor”. Acreditamos, entretanto, que seria esperar demais dos alunos, despreparados para tal empreendimento, e talvez justamente por este motivo as apresentações tenham sido pobres deixando evidente a falta de compreensão de aspectos conceituais fundamentais. Lacunas que dificilmente terão oportunidades de suprir, a menos que venham a escolher carreiras profissionais ligadas à ciência.

Buscando responder preliminarmente uma das questões-foco da pesquisa, entendemos que embora o Prof. A ao longo do Estudo III tivesse inovado em termos de estratégias

didáticas, inovações essas sempre bem vindas da perspectiva dos alunos, na tentativa de realizar a transposição das suas próprias convicções epistemológicas que, como já referido, eram adequadas às “visões epistemológicas contemporâneas”, suas iniciativas ficaram prejudicadas pela falta de planejamento específico das aulas, com objetivos e metas claras e bem definidas, tanto do ponto de vista do conteúdo quanto dos aspectos epistemológicos. Isso produziu, frequentemente, perda de objetividade e do foco e se traduziu em tentativas implícitas de fazer compreender a natureza da ciência, que se mostraram ineficazes.

Esse achado, embora preliminar, corrobora alguns outros encontrados na literatura (eg. Meichtry, 1993; Lederman, 1999; Lederman *et al*, 2002; Dogan e Abd-El-Khalick, 2008), de que não se observa ainda um resultado desejável no sentido de se promover uma melhoria das visões sobre a natureza da ciência de professores e alunos, nos diversos níveis de ensino de ciências. As visões são, em geral, muito ingênuas e distorcidas tanto sobre o processo da ciência como também sobre o trabalho dos cientistas. E esse cenário é persistente.

Foi possível inferir, assim, que a inclusão de estratégias, elementos e atitudes visando um melhor e mais contextual entendimento da natureza da Física converteu-se em um processo incipiente e desarticulado. Alguns obstáculos pareceram estar relacionados a estratégias ainda muito convencionais da maioria dos professores das outras disciplinas de ciências ensinadas na escola (Química e Biologia) e à falta de preparação do Prof. A para fazer uma abordagem explícita visando a transposição das suas próprias concepções epistemológicas.

Como se pode ver da descrição da sala de aula neste estudo de caso, ainda se ensina uma Física limitada, muito desconectada da realidade social e tecnológica, e com bases reflexivas incipientes. O Prof. A, mesmo oriundo de uma universidade em que há a preocupação com uma formação mais crítica e reflexiva dos professores de Física, demonstrou uma atuação em sala de aula muito tímida relativamente à transposição didática das novas visões sobre a natureza da ciência, ineficaz para transformar as visões dos seus alunos.

Capítulo 7

ESTUDO IV: ESTUDO DE CASO COM UM PROFESSOR DE FÍSICA DE UMA ESCOLA MILITAR

7.1 O professor, a escola e o público alvo

Este estudo de caso foi desenvolvido em uma escola militar de Porto Alegre. A escola, quase centenária, ocupa um prédio histórico na região central da capital gaúcha, com excelente infraestrutura, salas de aula amplas, laboratórios adequadamente equipados, instalações bem conservadas e impecavelmente limpas, o que confere à escola um aspecto imponente. Com larga tradição de eficiência, disciplina, valores morais e ensino de bom nível, a escola militar proporciona aos seus alunos educação básica não focada na preparação militar, a não ser para os alunos que fazem opção pela carreira militar. O ingresso ocorre através de concurso público, tanto para os alunos quanto para os docentes. Possui estrutura administrativa composta prioritariamente por militares e um regimento interno com regras bem definidas com relação a ensino, avaliação, frequência, disciplina, uniformes, horário, etc.. A estrutura de ensino destina-se a fazer um criterioso planejamento programático, a organização e condução da educação e contempla: supervisão escolar, seções e subseções de ensino, e de psicopedagogia. Os alunos são acompanhados no seu desenvolvimento escolar e dispõem de atividades extracurriculares em diferentes temáticas, biblioteca com amplo acervo de livros, revistas e jornais, entre outras facilidades.

A observação participante nas aulas de Física deu-se em uma turma de 2º ano do Ensino Médio, no 1º semestre do ano letivo de 2008, no período de abril a julho daquele ano, com 28 alunos, compreendendo 37 horas-aula, com duração de 50 min cada. A turma tinha três horas-aula de Física semanais, distribuídas da seguinte forma: uma nas quintas-feiras no último período e duas consecutivas nas sextas-feiras, nos dois primeiros períodos.

O professor de Física que neste estudo chamamos de Prof. B tem formação em Bacharelado em Física e em Engenharia, tendo concluído suas graduações há vários anos, não cursara disciplinas específicas de Epistemologia ou similares, mas disse se interessar pelo assunto. Leciona também na Faculdade de Engenharia de uma universidade privada

bastante conceituada de Porto Alegre. Tem grande experiência docente, é autor de livros de Física para o Ensino Médio e prima, assim como a escola, pelo cuidado com o conteúdo programático, bastante abrangente.

7.2 O objetivo

Este estudo de caso, que se constituiu numa etnografia de sala de aula, teve por objetivo chegar a uma compreensão descritiva da realidade de sala de aula de uma escola militar e tentar identificar as concepções sobre a natureza da ciência do Prof. B, as estratégias didáticas que ele priorizava, e suas relações (e se havia) com o ensino e aprendizagem da Física, naquele contexto particular, e também, tendo em mente que o professor de Física observado não teve iniciação em Filosofia da Ciência em sua formação, tínhamos como meta vislumbrar diferenças ou semelhanças perceptíveis, ou não, relativamente à realidade descrita no Estudo III, onde as concepções epistemológicas do professor eram antecipadamente conhecidas e sabidamente alinhadas às VECs.

7.3 O cotidiano da sala de aula de uma escola militar de Ensino Médio

A observação participante na turma de 2º ano do Ensino Médio dessa escola militar começou em 03/04/08, após algumas semanas de entrevistas, protocolos de apresentação da observadora e entrega de documentos para atender às formalidades da escola.

Nesse dia, e por exigência da escola, vestimos um jaleco branco e finalmente nos dirigimos para a sala de aula, que passaria a ser “nosso laboratório” nos meses seguintes. Chegamos cedo, bem antes do início da aula já que atrasos não eram permitidos, e ficamos aguardando pelo professor no imenso corredor que dava para a sala de aula, onde se lia à porta a inscrição “sala 201”.

Na entrada da sala de aula uma surpresa porque, de fato, não entramos. Em companhia do professor, permanecemos em frente à porta da sala até que o “aluno encarregado” naquela semana colocasse a turma “em forma” (de pé, em posição de sentido e em silêncio absoluto) para a apresentação formal da turma ao professor, que a aceitou, também formalmente. Esse cerimonial se repetia todos os dias e a cada troca de período, mesmo

que fosse com o mesmo professor. Só depois disso entramos em aula. Nossa primeira impressão foi a de que estávamos em um evento altamente formal.

Mas essa impressão logo se desfez porque apesar das formalidades, sempre cumpridas com impecável disciplina, o clima em sala de aula era bem mais descontraído. O Prof. B, um veterano de profissão e de escola, tinha um jeito divertido de ser e frequentemente permitia pequenas brincadeiras, embora o comportamento geral dos alunos fosse absolutamente respeitoso. Ele fazia isso, ao que parecia, para tornar a aula menos cerimoniosa. Os alunos não se levantavam, nem circulavam pela sala sem permissão, e as conversas eram mínimas, para não dizer quase inexistentes, durante as exposições do professor.

A sala de aula era ampla, arejada, limpa e arrumada: cadeiras e classes em boas condições, alinhadas em filas todas do mesmo tamanho e a espaços regulares. A organização era impecável. A turma tinha apenas 28 alunos embora o espaço físico da sala comportasse bem mais do que isso. As janelas grandes e claras pareciam tornar o ambiente ainda mais espaçoso.

Nesse primeiro dia de observação participante, após sermos apresentados aos alunos, um estudante pediu permissão para desenhar no quadro o que ele chamou de “minha teoria quântica revolucionária”. Foi uma espécie de “boas vindas”. Ele desenhou uma alegoria seguida de uma expressão algébrica inventada. O professor participou da brincadeira sugerindo que se a expressão considerasse uma força de atração do tipo eletromagnética então *a constante de proporcionalidade seria da ordem de grandeza daquela da Lei de Coulomb, apenas para se parecer mais com a Física*, disse, buscando, aparentemente, tornar as relações sociais mais amistosas.

Depois, o professor fez algumas combinações sobre a terceira Avaliação Parcial (AP) e avisou que ela aconteceria na aula seguinte. As APs, num total de três, geralmente em datas surpresa, e mais uma prova faziam parte da avaliação bimestral. O objetivo das constantes avaliações era fazer com que os estudantes se mantivessem permanentemente em dia com os estudos. Em outras palavras, objetivavam fazer com que criassem o hábito pelo estudo diário. Essa sequência era uma norma da escola e resultava, em média, numa avaliação a cada duas semanas para cada disciplina.

Em seguida, e como forma de revisão, o professor resolveu alguns exercícios do livro de texto. O livro utilizado para a disciplina de Física ao longo dos três anos do Ensino Médio naquela escola militar era: *Física*, Vol. Único, Alberto Gaspar, Editora Ática. A obra compõe-se de inúmeros capítulos, apresenta pequenos parágrafos de introdução histórica seguidos de explicações concisas e vários exemplos resolvidos. Na sequência oferece uma extensa lista de exercícios: algumas questões conceituais e um grande número de exercícios de cálculo, vários envolvendo gráficos.

O assunto em estudo era a Termodinâmica. O professor começou rápido a revisão.

Prof. B: (...) *este exercício quer saber qual a temperatura dos livros que se encontram num quarto em que o termômetro da parede marca 25°C? Bem, supõe-se que já tenha ocorrido o equilíbrio térmico, isto é, ninguém cede nem recebe energia, então os livros estão a 25°C, em equilíbrio térmico com o meio.*

Um aluno perguntou *por que os metais da sala de aula, naquele dia frio de outono, pareciam mais gelados?* O professor explicou que a sensação térmica era devida a que os metais retiram mais facilmente o “calor” das mãos, ou seja, são bons condutores de calor.

Aluno 1: *Porque a gente prefere um espeto de churrasco com cabo de madeira a qualquer outro material?*

Prof. B: *Alguns materiais são mais isolantes térmicos do que outros (...).*

Como essas outras perguntas surgiram, mas o professor solicitou e um aluno leu o problema seguinte, que incluía uma nota sobre a construção das escalas termométricas.

Prof. B: (...) *através de uma convenção internacional foi que se estabeleceu que 0°C seria fixado na temperatura da água fundente e 100°C na da água fervente (...) Celsius propôs, na verdade, o contrário, mas por convenção mudou-se. Isso é importante porque vocês percebem que tudo é uma questão de convenção...*

Essa explicação do professor nos animou porque ao destacar o papel das convenções das comunidades científicas, ele parecia ter concepções alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas, embora soubéssemos que era cedo demais para fazer tal suposição.

A questão seguinte era também teórica: *como soltar dois copos encaixados um no outro sem quebrá-los?* O professor deixou a questão em aberto. Ouviu durante alguns minutos as várias tentativas de explicação dos alunos, em geral coerentes, e no final comentou:

Prof. B: *Então ok, ou se aquece o copo de fora para dilatar ou então se resfria o copo de dentro para contrair... A questão seguinte é: quando a gasolina é mais cara, no inverno ou no verão?*

Houve um princípio de discussão. Parte da turma defendia a idéia de que era no inverno enquanto outros acreditavam ser no verão.

Prof. B: (...) *Para responder temos que fazer algumas conjeturas...*

Aluno 2: *No verão tem dilatação e tem menos massa no mesmo volume, por isso se torna mais cara, já que pagamos pelo número de litros...*

Aluno 3: *No inverno a gente gasta mais para encher o tanque do carro...*

Aluno 4: *Tenho certeza que é no verão.*

Prof. B: *Pensando em termos de massa temos que um quilograma de gasolina pode ocupar diferentes volumes no inverno e no verão. Tragam a explicação na próxima aula.*

Essa solicitação do Prof. B parecia sugerir que os alunos deveriam pesquisar e trazer explicações para o debate em aula. Dessa forma o professor encerrou a discussão.

O exercício seguinte dizia respeito à dilatação linear. Duas barras estavam dispostas verticalmente, uma de alumínio e outra de latão, e perguntava-se o comprimento inicial da barra de latão para que uma terceira barra apoiada sobre essas duas permanecesse na posição horizontal. As resoluções do professor eram rápidas e claras.

Prof. B: *Para isso precisamos exigir que a dilatação linear do alumínio seja igual à do latão. Ou seja: $\Delta l_{Al} = \Delta l_{latão}$
 $(l_o \cdot \alpha \cdot \Delta T)_{Al} = (l_o \cdot \alpha \cdot \Delta T)_{latão}$
 $(1,2m \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T)_{Al} = (l_o \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T)_{latão}$
Simplificando as temperaturas, que são iguais, e as potências de 10, que são iguais, ficamos com: $l_{o(latão)} = (1,2 \times 2,4) / 1,9 = 1,51m$. Porém, o algarismo significativo é o 5, de forma que o comprimento inicial do latão deve ser 1,5m. Isto porque a Física vem da experimentação, da observação e quem vai definir isto é o aparelho de medida (referindo-se à precisão).*

Esta última frase pareceu querer frustrar nossas expectativas sobre as concepções epistemológicas do professor porque ao dizer que *a Física deriva da experimentação* e da observação, ele contrariava a maioria das visões contemporâneas sobre a natureza da ciência e que serviu de referencial teórico-epistemológico desta tese.

Os demais exercícios seguiram-se nesse ritmo. A aula, de um único período, terminou no mesmo tom descontraído com que começou. Características notáveis nesse primeiro dia de observação participante: o silêncio, a concentração, a participação dos alunos quando incitados a responder, a preocupação tanto do professor quanto dos alunos com a detalhada resolução dos exercícios propostos. Nesses aspectos, o cotidiano daquela sala de aula foi para nós uma agradável surpresa.

A segunda e terceira aulas, em 04/04/08, começaram com uma revisão sobre dilatação térmica.

Prof. B: *Toda dilatação é volumétrica. Porém, se considerarmos apenas a dilatação linear usamos o Δl , se considerarmos a dilatação superficial usamos o Δs e quando levamos em conta as três dimensões, usamos o Δv , tal que: $\Delta l = l_0 \alpha \Delta t$; $\Delta s = s_0 \beta \Delta t$ e $\Delta v = v_0 \gamma \Delta v$. Usa-se o coeficiente α na dilatação linear...*

Aluno 1: *Isto também vai cair na AP?*

Prof. B: *Sim, vai.*

Alguns alunos se mostravam apreensivos com a quantidade de fórmulas que deveriam memorizar e pareciam fazê-lo de forma cumulativa. Pelo menos não davam mostras de que a partir de uma expressão, muitas vezes, seria possível deduzir outras. Preferiam memorizar todas as fórmulas, uma a uma.

O professor seguiu com a resolução dos exercícios do livro de texto e incentivava os alunos a responderem enquanto desenvolvia os cálculos no quadro. Dava explicações claras e objetivas sempre que detectava dúvidas. Os alunos, de forma geral, davam mostras de que já tinham resolvido a maioria dos exercícios, tinham intimidade com o conteúdo e acompanhavam o raciocínio do professor antecipando em muitos momentos o resultado dos cálculos.

Um dos exercícios pedia para calcular a dimensão final de uma barra metálica submetida a determinadas condições físicas. O professor esclareceu que naquela situação era preciso usar uma variação da fórmula.

Prof. B: *Neste caso precisamos usar $l=l_0(1+\alpha\Delta t)$ e substituindo pelos dados do problema ficamos com $l=2m[1+1,08.10^{-5}(40-10)]=(2+0,000648)m= 2,00064m$. A questão da precisão é uma questão da Ciência que é baseada na experimentação, na observação, enquanto a Matemática trata simplesmente com números. Neste tipo de exercício vocês costumam errar na Matemática, não na Física. (...) Se o problema dá os dados com 3 algarismos significativos, a resposta tem que ser dada também com 3 algarismos significativos (...). Temos agora um caso de dilatação volumétrica (...). Sabemos que a dilatação aparente é a dilatação do recipiente mais a do líquido, que neste caso são iguais. Isto significa que o recipiente quando aquecido se dilata; que o líquido quando aquecido se dilata, mas que o nível de líquido não sobe porque as dilatações são iguais (...).*

Como se vê, o Prof. B voltou a falar de forma explícita que a ciência deriva da experimentação e observação. Karl Popper (2000), nas primeiras décadas do século passado, foi o primeiro filósofo da ciência a falar da natureza construtiva, conjectural e tentativa da ciência, contrariando a visão empirista-indutivista e positivista de que a ciência deriva de enunciados singulares a partir de uma base empírica. Todavia, essa idéia parecia bem presente no discurso do Prof. B.

Percebeu-se também que o professor fazia o desenvolvimento de um exercício e sem demora passava para outro. Era assim o ritmo da aula. Os 25 minutos finais foram destinados à realização da AP. A dinâmica foi simples: o professor avisou que dariam início a avaliação; os alunos imediatamente rearranjaram a sala de aula, afastaram um pouco mais as classes alongando as filas; receberam as folhas e começaram a trabalhar. Tudo sem que o professor precisasse intervir. Tudo em silêncio e de forma organizada. Parecia uma rotina muito familiar para aquele grupo de estudantes.

A aula 4, em 10/04/08, começou com 5 minutos de atraso. O professor, parado na entrada da sala, aguardava a apresentação formal enquanto os alunos, aos grupinhos, continuavam envolvidos em discussões sobre a AP da última aula. Em poucos minutos um militar encarregado da disciplina apareceu e logo a turma entrou em forma e recebeu o professor.

A aula foi uma continuação da resolução de exercícios do livro de texto como preparação para a prova bimestral.

O exercício de 20 do capítulo de *dilatação térmica* fazia referência a duas hastes de diferentes materiais de comprimentos L_1 ($\alpha_1=2,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) e L_2 ($\alpha_2=1,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) que submetidas a uma diferença de temperatura, mantinham constante a diferença entre seus comprimentos, equivalente a 1,0 m. Pedia-se o comprimento de cada haste.

Prof. B: *Não vou resolver pois ao escrever $\Delta L_1 = \Delta L_2$ a Física termina aqui, o restante é Matemática (...).*

Mas, a pedido dos alunos acabou resolvendo e escreveu no quadro:

$$\begin{aligned} & "L_1 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta t = L_2 \cdot \alpha_2 \cdot \Delta t \\ & L_1 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} = L_2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-5} \\ & L_1/L_2 = (1,1 \cdot 10^{-5}) / (2,3 \cdot 10^{-5}) = 0,478". \end{aligned}$$

Prof. B: *Agora é preciso se dar conta que $L_2 - L_1 = 1\text{m}$ e que acabamos de obter $L_1/L_2 = 0,478$. Com este sistema de equações podemos escrever $L_2 - 0,478L_2 = 1\text{m}$; ou seja, obtemos que $L_2 = 1,916\text{m}$ e $L_1 = 0,916\text{m}$, tal que a diferença entre os comprimentos é 1m.*

Uma aluna ao nosso lado dava mostras de que enfrentava dificuldades para acompanhar o raciocínio do professor e manifestou-nos isso de forma explícita.

Aluna 1: *Você conhece algum professor de Física que dá aulas particulares?*

Pesquisadora: *Por quê?*

Aluna 1: *Odeio Física ... Não consigo entender desde a primeira aula. Eu estudo muito, faço todos os exercícios, mas na hora da prova dá um branco e não consigo lembrar de nada (...).*

Havia, com relação à disciplina de Física, sentimentos e posicionamentos opostos naquele grupo de alunos. Enquanto alguns visivelmente se mostravam motivados e animados nas aulas de Física, isso era perceptível pelo nível de participação, pelo entusiasmo com que respondiam e pela rapidez e precisão de raciocínio, outros pareciam ter aversão à disciplina. Vez ou outra expressavam isso, principalmente em conversas informais.

Seguiram-se novos exercícios. Um deles era conceitual e afirmava que uma chapa de metal tinha um furo cuja área era maior que a secção reta de um pino do mesmo material.

Prof. B: *Ao serem aquecidos juntos (chapa e pino) a área do furo aumenta e o pino também se dilata. Porém, a relação entre eles se mantém, já que são do mesmo material. A dilatação ocorre nos dois de forma que a relação é a mesma, logo a área do furo permanecerá maior (...).*

Esse problema provocou uma pequena discussão entre alunos.

Aluno 2: *Não entendo como pode!? O pino somente se dilata para fora enquanto a superfície do furo cresce para fora e para dentro. Então a relação não se mantém!*

Aluno 3: *A superfície do furo se dilata para fora!*

Aluno 2: *Por quê?*

Como a discussão não foi acompanhada pelo professor, que se ocupava em atender outros alunos, intervimos.

Observadora: *A dilatação é causada pelo aumento da agitação provocada pela temperatura. Logo os átomos da rede tendem a se afastar, a dilatação é para fora. Se fosse o contrário teriam que se aproximar (...).*

O aluno pareceu concordar. Acenou positivamente com a cabeça.

A aula desse dia foi mais agitada do que o normal. Desde o início foi permeada por conversas isoladas, porém mais intensas do que de costume. O professor não perdeu a calma, mas em dado momento perguntou qual era o motivo do riso e afirmou que desejava participar. Não houve respostas. Os alunos compreenderam a intenção do professor e silenciaram. Havia penalidades previstas no regulamento da escola para casos de indisciplina e os alunos conheciam bem as regras.

O professor continuou com mais exercícios. O último teve início quando o horário regular de aula estava por encerrar (12h40min). Entretanto, o professor não interrompeu a resolução. Pareceu querer compensar o atraso inicial e o tempo desperdiçado com as conversas. A aula se estendeu até as 12h50min sob um velado protesto dos alunos que só se retiraram depois de concluído o exercício, a explicação e depois de serem liberados

formalmente pelo professor. Pareceu-nos que cada minuto era rigorosamente levado a sério naquela escola.

Aulas 5 e 6, em 11/04/08, foram destinadas à prova bimestral, chamada na escola de Avaliação de Estudos (AE). Era a mais importante do bimestre e a mais complexa também. Era dia de semblantes fechados e ar de preocupação. Transcorreu normalmente.

Na sétima aula, em 17/04/08, como de praxe, o professor aguardou a apresentação formal da turma e depois entrou em aula. Observamos que semanalmente o “encarregado” da turma mudava. O professor informou, de antemão, que não tinha corrigido as provas. Os alunos deram sinais de decepção.

Na verdade, após alguns diálogos fora da sala de aula com grupos de estudantes descobrimos que era mais do que simples curiosidade para saber o desempenho na prova: os alunos tinham preocupação em obter notas acima da mínima exigida para aprovação. Caso não obtivessem rendimento mínimo teriam que realizar estudos de acompanhamento e isso acumulado com os estudos de rotina, gerava sobrecarga. Por isso a ansiedade.

O Prof. B começou rápido. Informou que o tempo para vencer o conteúdo era exíguo já que na semana seguinte haveria olimpíadas na escola e as aulas seriam suspensas.

Passou para um assunto novo: *Estudo dos Gases*, ou *Comportamento Térmico dos Gases*, conforme o título do livro de texto, que visivelmente o professor tinha a preocupação de seguir com rigor.

Prof. B: *Convencionou-se que o estudo dos gases começou com Torricelli (...).*

Pressupomos que a turma já tinha algum conhecimento sobre os estudos de Torricelli, pois não houve perguntas. Depois da introdução, o professor passou para a Lei de Boyle-Mariote.

Prof. B: *Esses físicos estudaram que $P_oV_o=PV=constante$, na situação em que a temperatura é constante (...).*

O professor desenhou no quadro dois pistões idênticos, mas com os êmbolos em diferentes posições e sobre eles desenhou pesos diferentes para dar a idéia de que as pressões (P_0 e P) eram diferentes e, conseqüentemente, num dos pistões o volume era menor.

Prof. B: *O que alterou e o que permaneceu constante nestas duas situações?*

Aluno 1: *O segundo se comprimiu.*

Prof. B: *O que permaneceu constante? Foi a temperatura.*

Aluno 2: *A pressão P_0 é proporcional a P .*

Prof. B: *A idéia está correta, mas a resposta que eu queria é que o produto $P.V$ é que permanece constante. Como vocês acham que será o gráfico $P \times V$?*

Aluno 3: *Uma reta porque não é quadrática a equação.*

O professor desenhou um conjunto de “isotermas” e indicou diferentes temperaturas (T_1 , T_2 , T_3, \dots).

Prof. B: *Deveria ser uma reta mas na verdade é uma hipérbole. Estas curvas são chamadas isotermas porque cada uma tem uma temperatura constante: $T_3 > T_2 > T_1$.*

Aluno 3: *Só não entendi porque não é uma reta?*

Prof. B: *Porque a equação é do tipo $x.y = \text{constante}$, por exemplo, $x.y = 4$, daí $y = 4/x$, ou seja, x pode ser tão grande quanto quisermos que y não se anula e, se x se aproximar de zero y tenderá ao infinito. Isto não é uma equação de reta.*

O aluno manteve-se em silêncio. Pareceu convencido pela explicação. Não houve outras perguntas ou intervenções. O professor passou para o item seguinte:

Prof. B: *Lei de Charles–Gay-Lussac: aqui temos $V_0/T_0 = V/T = \text{constante}$. Isto ocorre à pressão constante. Alguém de vocês sugere como represento uma pressão constante nos pistões do desenho anterior? E como represento temperaturas diferentes?*

Aluno 4: *Coloca uma vela embaixo de um dos recipientes. Isso mostra que um deles está mais quente!*

Prof. B: *Muito bem. Vocês acham que a idéia da colega é boa? E como represento pressão constante?*

Não houve sugestões. O professor voltou a desenhar os dois pistões contendo gás, agora um deles aquecido por uma vela enquanto abaixo do outro desenhou três velas. Desenhou os êmbolos e sobre eles, um bloco do mesmo tamanho nos dois pistões.

Prof. B: *Como a pressão é constante, mesmo peso, e como aquecemos temos que o que vai variar é o volume. É intuitivo não é? Como vai ser o gráfico $V \times T$?*

Aluno 5: *Vai ser uma reta paralela ao eixo x .*

Prof. B: (...). *É uma reta sim, porém o que está errado é a inclinação.*

O Prof. B desenhou um gráfico e uma reta crescente que não passava pela origem.

Prof. B: *Porque antes a curva era uma hipérbole e agora é uma reta? Tomamos novamente o exemplo numérico, Tínhamos $y/x=4$. Agora $y=4x$, que é uma equação de reta. Esta reta passa pela origem? A resposta é sim, mas no nosso gráfico não passa. Não vou responder o porquê, deixo vocês pensando...*

Passou ao item seguinte.

Prof. B: (...) *Os gases têm todos o mesmo coeficiente de dilatação volumétrica, que é $\gamma=1/273 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. (...). Sabemos que $\Delta V=V_o\gamma\Delta T$, daí $V=V_o(1+1/273.\Delta T)$. Posso fazer isto. Olhem que interessante! Para a temperatura igual a -273°C o que acontece?*

Aluno 6: *Pára tudo!!!*

Prof. B: *Olhem a expressão para o zero absoluto $V=V_o[1+1/273.(-273)]$. Os cientistas da época também ficaram intrigados, há mais de dois séculos atrás. Os pontilhados no gráfico indicam que quando isso ocorre, quando chegamos próximo do zero absoluto o gás não é mais gás. Ele se liquefaz.*

Alguns alunos manifestaram curiosidades, queriam saber mais. Mas era fim de aula.

Assim eram as aulas do Prof. B: praticamente ininterruptas, interessantes, num ritmo acelerado, com poucas ou breves discussões, recheadas de explicações objetivas, concisas de forma que um longo capítulo era visto em apenas um período. O argumento era incontestável: a falta de tempo devido aos feriados de Páscoa e à suspensão das aulas na semana das olimpíadas da escola.

O professor encerrou a aula solicitando que fizessem os exercícios do livro de texto daquele capítulo.

Aulas 8 e 9, em 18/04/08, foram períodos cedidos para prova bimestral de outra disciplina seguindo a programação da escola: uma prova por dia, todos os dias durante uma semana.

Aulas 10, 11 e 12, na semana de 24 e 25/04/08, foram suspensas por motivo das olimpíadas da escola: uma semana de atividades internas em que os alunos participavam de diferentes modalidades de esportes, jogos, oficinas de teatro, de poesia, de música, de grupos de estudo como: Astronomia, Química, Física, Matemática, Literatura, etc.. Estas eram, normalmente, atividades extracurriculares que a escola oferecia nos turnos inversos aos de aula.

Aulas 13 e 14, em 01/05/08 e 02/05/08, também não aconteceram devido ao feriado de Páscoa.

A turma 201 teve, dessa forma, uma interrupção de duas semanas nas aulas de Física. Após o retorno os alunos informaram, em conversas informais, que tinham o hábito de estudar em casa o conteúdo passado em sala de aula e que procuravam resolver os inúmeros exercícios do livro de texto. Em casos de dúvidas podiam procurar ajuda na escola, nos plantões diários durante o período da tarde com outros professores de Física, ou nas quartas-feiras com o próprio professor da disciplina. Essa sistemática era utilizada em todas as disciplinas e tinha o objetivo de incentivar os alunos a frequentarem a escola no turno inverso e a realizarem estudos diários.

Os momentos que antecederam a décima quinta aula, em 08/05/08, foram atípicos, pois os alunos estavam dispersos pela sala e no corredor, aos grupos, conversando. Um cenário que rapidamente se modificou com a chegada do professor e com as formalidades de apresentação da turma para início da aula.

Logo no começo um aluno pediu ao professor que fizesse uma pequena revisão do último capítulo: *o comportamento térmico dos gases*. O professor prontamente atendeu. Visivelmente, o Prof. B tinha grande domínio dos conteúdos e retomou o assunto a partir da equação geral dos gases ideais ($PV=nRT$) fazendo uma breve e concisa revisão.

Prof. B: (...) *Temos que se a temperatura é constante, vem que $P_oV_o=PV$; se a pressão é constante, vem que $V_o/T_o = V/T$, que são as expressões estudadas na última aula (...).*

Aluno 1: *Qual a diferença entre hipérbole e parábola?*

O professor voltou a explicar as diferenças em termos de equações matemáticas e esquematizando seus gráficos. Praticamente repetiu a explicação da aula anterior. Não se deteve em discussões prolongadas e passou para o capítulo seguinte.

Prof. B: *Capítulo 26: Leis da Termodinâmica. As leis da Termodinâmica têm a ver basicamente com o aproveitamento da energia. Antigamente todas as máquinas eram manuais (...). Depois veio a máquina a vapor: aquecendo água produzia-se vapor que canalizado e a altas pressões podia fazer girar pás, engrenagens e movimentar máquinas. (...) a energia vem da combustão. A grande vantagem foi que esse tipo de utilização de energia térmica podia ser transportado, ou seja, as máquinas passaram a ser autolocomotivas como: trens, navios a vapor, (...). Combustão é a queima de compostos. (...) Nas primeiras máquinas térmicas a combustão era sempre externa. Hoje, a combustão é interna, como na câmara de combustão dos automóveis.*

Em geral, o Prof. B fazia uma breve introdução histórica no início de cada novo assunto, mas não democratizava a discussão. Era do tipo noticioso e com frequência ele indicava para os alunos a leitura do livro de texto.

Seguiu desenhando no quadro um esquema de máquina térmica de combustão interna, indicando as principais partes e explicando brevemente sua função.

Prof. B: *Agora vocês vão ler o capítulo 26 e na introdução encontram estas explicações.*

(...)

Primeira Lei da Termodinâmica (escreveu o título no quadro), mas temos antes que introduzir alguns conceitos. (...) paredes diatérmicas: permitem a troca de calor entre as distintas partes do sistema; paredes adiabáticas: vem do grego e significa “impenetrável”, ou seja, não permitem trocas (...). Energia interna, o que vocês acham que é olhando para a expressão $E_i=3/2nRT$?

Aluno 2: *É a energia do lado de dentro...*

Prof. B: *(...) se temos uma caixa ou sistema fechado, o número de moléculas é constante, ou seja, “n” não muda; R é uma constante; logo, a energia interna depende exclusivamente da “temperatura”.*

A exposição ateve-se à expressão matemática da energia interna e não fez nenhuma associação com o estado de agitação das moléculas do sistema, ou seja, deixou implícito seu significado físico. Passou para a *Primeira Lei da Termodinâmica* e escreveu no quadro a expressão $\Delta U=Q-\tau$.

Prof. B: *Varição da energia interna é o calor trocado menos o trabalho realizado. Esta expressão $\Delta U = Q - \tau$ é a mesma quando escrevemos $Q = \Delta E_i + \tau$, ou seja, é a mesma fórmula, apenas escrita de forma diferente. Eu costumo dizer na escola de Engenharia que vocês podem esquecer de tudo na Física menos as três Leis de Newton e as Leis da Termodinâmica. (...) energia seria a capacidade de realizar trabalho e a unidade desta expressão é o Joule (J) (...).*

Aluno 3: *Energia é dada em Joule; calor é trabalho; trabalho é energia, logo tudo é em Joule!*

Prof. B: *É isso mesmo.*

Pensamos que a fala do Aluno 3 poderia ter incitado uma discussão sobre como os principais conceitos de dado ramo da Física se relacionam, evoluem e adquirem novos e diferentes significados com o avanço do conhecimento. Mas esses aspectos não eram contemplados pelas estratégias didáticas do Prof. B.

E o ritmo da aula se manteve. O professor desenhou dois pistões de mesmo tamanho, com os êmbolos posicionados em diferentes alturas. O pistão cujo êmbolo estava mais elevado tinha na sua base três velas e no seu interior desenhou setas (vetores) longas. O outro, uma vela e setas curtas.

Prof. B: *Qual a diferença entre eles?*

Aluno 4: *Tem mais velas, mais calor no segundo pistão.*

Aluno 5: *As flechas são maiores (...)*

Houve algumas conversas, tentativas de interpretação, brincadeiras, risos. O professor interveio.

Prof. B: *A energia interna é representada pela maior velocidade das moléculas: seta mais longa. O calor é representado pelo número de velas e o trabalho pela diferença de altura do êmbolo (...).*

Estava implícito nos desenhos e na sequência de falas do professor que ele associava a variação da energia interna do sistema ao aumento de temperatura e conseqüentemente ao aumento de agitação ou velocidade das moléculas. Mas ele não se detinha em explicações pormenorizadas. Era perceptível que o Prof. B baseava suas explicações preferencialmente nas fórmulas e gráficos, economizava interpretações teórico-conceituais e questões associadas à natureza da ciência não eram exploradas. Em geral, quando as curiosidades

dos alunos tornavam-se aguçadas acabavam abortadas por respostas objetivas seguidas da introdução de novos assuntos.

Era a “linguagem de professor” que predominava nas aulas do Prof. B. É bem verdade que ele permitia intervenções, sugestões, perguntas, respostas. Mas respondia de forma tradicional, privilegiando a transmissão à intermediação do conhecimento. Essa tendência era facilitada pela atitude respeitosa dos alunos. Não era, de forma alguma, o exercício do autoritarismo, menos ainda de qualquer método coercitivo do tipo “*vigiar e punir*” de Michel Foucault (2007), como se poderia imaginar. Diríamos que as aulas seguiam um estilo, um rigor, uma sequência e um equilíbrio que era próprio daquela escola militar.

As aulas 16 e 17, em 09/05/08, ocorreram numa fria manhã de outono, e naquele horário (o início das aulas era às 7h30min) o frio parecia mais intenso e, como de costume, só começaram após as formalidades de apresentação da turma.

Nesse dia o professor solicitou que não houvesse atrasos. Pediu para ver o livro de texto e seguiu com o conteúdo na mesma ordem dos capítulos.

Observamos que a maioria dos alunos mantinha seus livros abertos sobre a classe acompanhando as falas do professor através do livro. E tal era o hábito que se o professor se desviasse do assunto os próprios alunos alertavam: *professor, isso não está no livro!* Nem uma vírgula fora do lugar. Esse parecia ser o estilo. Não era de se estranhar, afinal tudo naquela escola parecia ter uma lógica, uma regra, um esquema.

O professor começou a aula perguntando qual era a fórmula do trabalho mecânico.

Aluno 1: *O trabalho é $\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$.*

Quando o professor solicitava que recordassem conceitos ou expressões já estudadas sempre havia um ou outro aluno que respondia de pronto e acertadamente. O Prof. B fez uma analogia entre o trabalho mecânico e o trabalho na Termodinâmica, alertando que o princípio é o mesmo, isto é, uma força faz o pistão subir e este pode realizar trabalho.

Prof. B: (...) a diferença é que na Termodinâmica a força está distribuída em todos os pontos das paredes internas e é exercida pelas moléculas de gás, de forma que o trabalho pode ser dado pela expressão $\tau = P \cdot \Delta V$. A pressão é exercida pelas moléculas do gás que provocam uma variação do volume. Como será o gráfico $P \times V$?

O professor desenhou no quadro um gráfico $P \times V$.

Prof. B: Quando examinamos um gráfico temos que prestar muita atenção nas grandezas físicas indicadas nos eixos. Temos que identificar as grandezas para saber o que o gráfico está mostrando. No nosso caso a área abaixo da curva representa o trabalho realizado pelo sistema ($P \times \Delta V$) (...).

Aluno 2: Como a gente calcula a área no caso de a curva não ser uma reta?

Prof. B: Bem, a gente sempre vai usar uma área “bonitinha”, que a gente conhece e sabe calcular, ou teríamos que calcular uma integral. (...) neste caso pode-se calcular a área do retângulo ($b \times h$) e depois do triângulo $[(b \times h)/2]$ e por fim somar. Ou então se calcula diretamente a área do trapézio $[(B+b) \times h]/2$ e se obtém o trabalho total.

Em geral, os alunos conseguiam acompanhar às explicações. Era possível perceber que tinham bom domínio do ferramental matemático, interpretavam os gráficos, retinham conceitos e expressões já estudadas no ano anterior e tinham, em sua maioria, bom nível de compreensão. Havia exceções: alunos que apresentavam um grau maior de dificuldades. Estes tinham de compensar estudando mais, como já referido, mas a turma tinha um padrão equilibrado. Era possível perceber também que se houvesse necessidade de o professor, por solicitação de algum aluno, se deter em explicações mais prolongadas, os demais acabavam perdendo o interesse e passavam a discutir algum exercício ou, até mesmo, assuntos de outras disciplinas.

Em seguida o professor passou para as transformações termodinâmicas. Desenhou detalhadamente um gráfico identificando as grandezas físicas e centrou as explicações no comportamento mostrado no gráfico.

Prof. B: (...) os tipos de transformações que temos: 1) Isobárica ocorre quando aumentamos o calor e mantemos a pressão constante. O gráfico $P \times T$ é uma constante (...); 2) Isométrica ou Isocórica ou ainda Isovolumétrica: é como se o êmbolo tivesse sido soldado, o volume é mantido (...).

Ao final do primeiro período o professor retirou-se momentaneamente da sala, foi buscar as avaliações enquanto os alunos aproveitavam para se levantar, caminhar pela sala de aula e discutir em grupos dúvidas e resultados de exercícios resolvidos em casa, com vistas a AP daquele dia.

Conversamos com alguns grupos. A turma tinha 18 meninos e 10 meninas. Quatro meninas disseram que mesmo com a interrupção de duas semanas elas tinham feito a maioria dos exercícios do livro e, algumas vezes tinham procurado os professores de Física junto ao plantão da tarde.

Como foi dito, era uma característica marcante daquela escola: incentivar os alunos a frequentarem a escola no período inverso, esclarecer dúvidas e construir o hábito pelo estudo diário, bem como engajá-los em atividades diversas: banda (da escola), canto, teatro e grupos de estudo como o de Astronomia (em que grupos de alunos participaram nos últimos anos da Olimpíada Internacional de Astronomia, da Jornada Espacial, etc.).

Nossas observações e conversas com os alunos, bem como suas participações em sala de aula nos fizeram crer de que, em geral, os estudantes daquela turma tinham o hábito de estudar diariamente e pareciam permanentemente preparados para as APs. Ainda que estas fossem avaliações parciais, eles as levavam a sério e não admitiam notas ruins.

No segundo período, fizemos o recebimento formal da turma a pedido do militar encarregado da disciplina devido a um pequeno atraso do Prof. B. Quando o professor retornou os alunos já se organizavam, afastando as classes, preparados para a AP. A disciplina dos alunos era notável.

De outro lado, como já comentado, esses momentos que antecederiam as APs sempre eram marcados por uma enorme preocupação em memorizar todas as fórmulas dos capítulos compreendidos pela avaliação. Os alunos repetiam-nas em voz alta, frequentemente, como para reforçar a memorização.

Respondemos à avaliação nesse dia. Eram 10 questões todas retiradas de exames vestibulares, sendo duas teóricas e oito de cálculos. O grau de dificuldade era, a nosso ver,

compatível com o nível passado em aula. Eram questões abrangentes que praticamente cobriam todo o conteúdo sobre o comportamento dos gases.

Uma das questões envolvia a equação geral dos gases ideais ($PV=nRT$) que não tinha sido objeto de exercícios recentes, mas que, segundo o professor, já tinha sido estudada e portanto os alunos deveriam saber.

Dois alunos resolveram a AP em pouco mais de 10 minutos e puderam sair da sala, permanecendo sentados ao lado da porta em absoluto silêncio para não atrapalhar os colegas. A AP transcorreu com tranquilidade.

A aula 18, em 15/05/08, começou com 5 minutos de atraso. Quando o professor chegou os alunos estavam todos em sala, a maioria em suas classes. A formalidade de apresentação da turma foi rápida e professor passou a escrever no quadro: “*Primeira Lei da Termodinâmica $\Delta U=Q-\tau$; Transformações Termodinâmicas*”.

Prof. B: (...) *a terceira transformação é a Isotérmica: ocorre sob a mesma temperatura ou temperatura constante. O gráfico $T \times V$ é uma reta constante porque a temperatura não muda, mas o no gráfico $P \times V$ temos isotermas (...). A adiabática é a transformação que não troca calor com o meio. (...) o trabalho é realizado às custas da energia interna, ou seja, $\Delta U=Q-\tau$, mas como $Q=0$ então $\Delta U = -\tau$.*

O Prof. B não fez referência explícita ao significado do sinal negativo da expressão, mas nos pareceu que ao afirmar “*à custa da energia interna*” ele entendia que os alunos tinham condições de construir um modelo mental adequado. Ficamos com dúvidas sobre a validade dessa premissa.

Concluídas as explicações e depois de um breve intervalo, algumas brincadeiras, risos, conversas com os alunos, o Prof. B retomou e passou para os exercícios do livro de texto.

Os exercícios 1 e 2 daquele capítulo eram conceituais e o professor apenas comentou a resposta. Voltou a destacar que o trabalho na Termodinâmica resulta de uma força que está distribuída em toda a superfície do êmbolo; que a pressão se transmite em todas as direções no interior do sistema e escreveu: $\tau=P \cdot \Delta V=F/A \cdot (A \cdot \Delta h)=F \cdot \Delta h$, *que é o trabalho mecânico.*

Prof. B: *Vou continuar resolvendo os exercícios, mas apenas aqueles que considero mais complexos. Deixo para vocês o restante ... para reclamarem no conselho de classe...*

O Prof. B, ao que parecia, fazia alusão às reclamações dos alunos nos conselhos de classe quando consideravam que algum assunto era cobrado, mas não adequadamente explorado em sala de aula. Mas ele o fez em tom de brincadeira.

A pedido do professor, uma aluna leu o exercício (4) em voz alta e o professor anotou os dados no quadro: 4) $\Delta U = 1200J$; $Q = ?$; $\tau = -2000J$.

Prof. B: *Neste caso o trabalho é realizado sobre o sistema, por isso tem sinal negativo. Vejam no livro qual é a convenção: $\tau > 0$ é trabalho exercido pelo sistema; $\tau < 0$ é trabalho sobre o sistema; $Q > 0$ é calor absorvido pelo sistema; $Q < 0$ é calor cedido pelo sistema. Vocês têm que guardar isto. É uma convenção. Poderia ser diferente? Sim poderia, pois é uma convenção...*

Novamente o Prof. B destacou a questão das convenções na Ciência. Foram dois momentos raros em que o professor tangenciou um aspecto da natureza da ciência, mas o fez de forma noticiosa, não fomentou a discussão e a reflexão epistemológica.

Prof. B: *Então temos $\Delta U = Q - \tau$; $1200J = Q - (-2000J)$; $Q = 1200J - 2000J = -800J$. Isto significa que calor foi cedido pelo sistema.*

Aluno 1: *Qual é este capítulo?*

Aluno 2: *Capítulo 26.*

O Aluno 1 parecia não estar concentrado nesse dia. Era notável, pois sempre era participativo nas aulas.

Depois de desenvolver os cálculos e fazer alguns comentários sobre o resultado obtido, o Prof. B passou para o exercício seguinte cujos dados eram fornecidos por um gráfico. Resolveu. Vieram mais e mais exercícios. Em alguns problemas o Prof. B não se detinha, apenas dava instruções de como resolver.

Prof. B: *O problema (7) diz que 1,40 mols absorvem calor e passa da temperatura de 300K para 500K; a pressão é constante e pede-se qual a variação da energia interna. Vejam que ele quer ΔU , mas a variação da energia interna também é dada pela expressão $3/2nRT$. Isto não é dado neste capítulo do livro, mas a expressão*

surge num exercício. É só usar esta fórmula. $\Delta U = 3/2(1,40).(8,31).(500-300)$; $\Delta U = 3/2(1,40).(8,31).(200) = 3490J$. Por que Jaule? Porque estamos trabalhando no Sistema Internacional. Para calcular o item (b) usa-se a expressão $Q = c.n.\Delta T$.

Percebia-se que o professor pressupunha um elevado nível de autonomia dos alunos. Em vários momentos indicava o caminho. Alguns alunos eram rápidos e com auxílio de calculadora, obtinham a resposta para confrontá-la com a do professor. Em geral acertavam.

Aluno 3: Porque tem “n” na expressão de Q?

Prof. B: Porque o “n” está representando, na verdade, a massa que cada molécula tem.

O Aluno 1 de fato estava dispersivo nesse dia. Sentado ao nosso, em dado momento comentou:

Aluno 1: Hoje preciso estudar em casa.

Pesquisadora: Por que você não acompanhou a aula hoje?

Aluno 1: Estou cansado. Mas tenho que recuperar em casa.

O ritmo das aulas era veloz, a escola primava pelo rigor no cumprimento do conteúdo. Ele tinha que ser cumprido integralmente. Não era assim só com a Física. Todas as disciplinas seguiam um padrão similar. A explicação do Aluno 1 parecia plausível, afinal eram meados de maio e o cansaço se fazia sentir. O nível atípico de ruído em sala de aula também parecia um sintoma dessa circunstância. Mas o Prof. B não se deixava contagiar e continuava resolvendo os exercícios. Às vezes uma figura solitária, desenhando, anotando os dados, desenvolvendo os cálculos no quadro. De repente o professor bateu ruidosamente com o apagador no quadro chamando a atenção dos alunos.

Prof. B: Prestem atenção, pois como a pressão é dada aqui em atm e o volume em litros isto não está no Sistema Internacional, por isso usamos $R = 0,083$ (...).

Fim de aula.

Um observador que não tivesse intimidade com essa cultura poderia se apressar em questionar a relação entre tantas resoluções de exercícios e a aprendizagem da Física. Estaria ocorrendo um treinamento tipicamente skinneriano? A resposta poderia ser “sim”

se nos detivéssemos em verificar que os alunos eram, de fato, treinados a resolver uma gama imensa de diferentes problemas ao longo dos capítulos, tendo que interpretar distintos enunciados e fazer uso de forma isolada ou relacionada das expressões matemáticas (fórmulas) inerentes aos conteúdos em estudo; poderia ser “não” se considerássemos que a resolução de problemas não tem o fim apenas de alcançar destreza, mas como bem adverte Kuhn (2003, p. 235) *resolver problemas é aprender coisas relevantes sobre a natureza*. Kuhn, no entanto, referia-se aos problemas exemplares pelos quais têm que passar os físicos quando se preparam para ingressar na carreira científica. Mas não deixa de ser um pouco assim também para quem estuda Física na escolarização. Possivelmente, uma combinação de aulas teóricas bem planejadas, uma abertura à discussão dos princípios, conceitos e teorias e à reflexão sobre a natureza da ciência, com resolução detalhada de exercícios e demonstrações em laboratório ou através de modelagem computacional, pudesse produzir um ensino de Física de qualidade, que de fato se observava naquela escola, mas mais associado também à formação de cidadãos críticos e reflexivos.

O Prof. B, contudo, não incentivava discussões abrangentes, isso era fato e, ao que parecia, sentia-se premido pelo tempo, mas ainda assim cada exercício era lido, interpretado, resolvido e sempre se convertia num processo em que acabavam surgindo comentários adicionais ou complementares, do professor ou dos alunos. Como afirmam Latour e Woolgar (1997, p. 185) *as idéias e os processos de pensamento individuais resultam de uma forma particular de apresentação e de simplificação de toda uma série de condições sociais materiais e coletivas*. Não deixava de ser uma construção coletiva.

Seria difícil afirmar que a aprendizagem da Física naquela escola era unicamente mecânica, embora em alguns momentos fosse possível ver que os alunos memorizavam as fórmulas e também alguns dos principais problemas dos conteúdos previstos nas avaliações.

De qualquer forma, era um ensino planejado em termos de conteúdos, disciplinado, pautado no respeito, na responsabilidade e no comprometimento. Os jovens aprendiam a respeitar limites, a assumir responsabilidades sem que isso lhes tolhesse a iniciativa e a criatividade. Afinal, o que há de errado com a disciplina, tão apreciada em qualquer empresa, mesmo na atualidade? Disso não duvidamos, pois trabalhamos numa grande

empresa há vários anos. Por outro lado, não desejamos que nos entendam mal, dado que não estamos aqui defendendo as virtudes do um ensino tradicional ou de uma “educação bancária” como diria Paulo Freire. Mesmo porque não se pode ignorar os valiosos achados da pesquisa e a vasta literatura produzida a partir das últimas décadas do século passado sobre ensino e aprendizagem, que alertam para as questões de *conhecimento prévio, predisposição para aprender, material instrucional potencialmente significativo, avaliação, diversidade de práticas didáticas, introdução de modelagem computacional, etc.* Sem dúvida um desafio à reflexão.

No começo das aulas 19 e 20, em 16/05/08, a pedido do coordenador disciplinar da escola, novamente recebemos a turma em lugar do professor, que teve um pequeno atraso. O professor chegou logo em seguida e iniciou imediatamente a aula. Confirmou que haveria uma AP naquele dia, como era esperado pelos alunos.

A turma encontrava-se com tempo reduzido, mais uma vez, com a proximidade de novo feriado, quando a escola faria uma ponte (quinta e sexta-feira sem aula porque o feriado seria numa quinta-feira), justamente nos dias das aulas de Física.

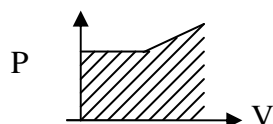
O professor fez uma rápida revisão dos princípios e fórmulas das *transformações térmicas*. Apareceram dúvidas. Os alunos mostravam-se apreensivos devido ao curto espaço de tempo entre uma e outra AP.

Aluno 1: *Quando é que devo calcular a energia interna com a expressão $\Delta U=3/2nRT$?*

O professor esclareceu que a expressão $\Delta U=3/2nRT$ é usada para calcular a energia interna quando a temperatura (T) é fixa. Continuou a revisão por 20 min: a 1ª Lei da Termodinâmica ($\Delta U=Q-\tau$); as transformações térmicas; a lei geral dos gases ideais ($PV=nRT$); o trabalho de máquinas térmicas; as trocas em sistemas térmicos, etc..

Aluno 2: *Não entendi como se calcula o trabalho através do gráfico $P \times V$.*

O Prof. B desenhou um gráfico $P \times V$ marcando a área sob uma curva.



Prof. B: *Para calcular o trabalho simplesmente calculamos a área abaixo da curva (...) e para calcular a temperatura em A e em B, usamos a expressão $PV=nRT$ (...).*

Aluno 3: *Professor, quantas leis tem a Termodinâmica?*

Prof. B: *São três leis. Esta que vamos ver é a Segunda Lei da Termodinâmica. O que vocês entendem por fenômenos reversíveis e irreversíveis? (...).*

Na introdução da *Segunda Lei da Termodinâmica* o professor usou o exemplo da combustão (queima) para exemplificar um fenômeno irreversível; de uma mola elástica, sendo alongada e retornando à sua posição de equilíbrio, para ilustrar um fenômeno reversível.

Prof. B: *O primeiro exemplo envolve uma mudança na natureza dos componentes, e representa um fenômeno irreversível, enquanto o fenômeno físico de distensão da mola é um fenômeno reversível, não muda a natureza dos componentes. (...) A Segunda Lei da Termodinâmica diz que “nenhuma máquina térmica operando num ciclo completo transforma completamente calor em trabalho”, quer dizer que sempre teremos alguma perda (...) os veículos de combustão interna gastam muita energia para a explosão interna e apenas em torno de 25% a 30% da energia é efetivamente utilizada para movimentar o veículo. Hoje estamos em meio a uma crise energética, há por aí a discussão sobre a conveniência de se produzir biocombustíveis. Temos que nos conscientizar sobre a importância de utilizar automóveis pequenos e mais econômicos (...).*

Aluno 3: *Porque não produzimos motores elétricos?*

Prof. B: *Existem vários. Mas o problema é desenvolver baterias mais leves e de maior durabilidade (...). Devemos também cuidar do consumo da energia elétrica, economizar e lembrar que ainda temos muita energia produzida por termelétricas, que queimam carvão. Tem também a questão das usinas nucleares, que muitos físicos são contra por causa da produção dos resíduos nucleares (...)*

Aluno 4: *O que acontece se vazar e tivermos contato com resíduos nucleares?*

Prof. B: *Você pode adquirir uma doença ou várias...*

Aluno 5: *A Segunda Lei da Termodinâmica contradiz a Primeira Lei não é professor?*

Prof. B: *Não. O que a Primeira Lei diz é que a variação da energia interna de um sistema é igual ao calor fornecido ou retirado menos o trabalho realizado (...); a Segunda Lei diz que nem todo o calor fornecido a um sistema pode ser transformado em trabalho, que temos perdas (...)*

Era possível perceber, com clareza, no seu discurso que o Prof. B tinha uma profunda preocupação ecológico-ambientalista. Fizemos uma longa transcrição de falas dessa aula para tentar mostrar isso. Quando o assunto tinha relação com essas questões ele democratizava as discussões, fazia apelos à conscientização dos alunos. Mas ele era hábil.

Ao mesmo tempo em que abria a discussão para o que desejava explorar, ele mantinha o controle de forma a não permitir que o foco se desviasse. Assim, esse primeiro período foi marcadamente teórico-expositivo.

Por fim, passou para *máquinas térmicas de ciclo fechado*. Exemplificou com a geladeira e o ar condicionado. Fez um pequeno intervalo de 5 minutos entre um período e outro e foi buscar as APs.

Alguns alunos nos procuraram buscando esclarecer dúvidas. Visivelmente preocupados, desta vez os alunos pareciam não estar tão tranquilos para a avaliação. Afinal, todo o corpo conceitual e formulações matemáticas associadas às transformações termodinâmicas tinham sido vistas em apenas duas aulas. Ainda apareciam dificuldades para alguns. Para outros não.

Ocupávamos nesse dia uma classe no lado oposto da sala de aula de forma que pudemos dialogar com alunos com quem pouco tínhamos tido contato até então. Um aluno ao nosso lado nos procurou para falar com entusiasmo de sua paixão pela Física.

Aluno 6: Gosto muito de Física (...). Só não faço Física porque não quero ser professor. Mas quero fazer Engenharia porque tem muita Física e muita Matemática (...).

Ao que parecia, conviviam extremos naquela cultura escolar: havia os que diziam gostar muito de Física, tinham destreza e rapidez de raciocínio; e, os que diziam que a Física é muito difícil e levavam o curso adiante à custa de muito esforço e estudo redobrado, segundo afirmavam.

O período seguinte foi dedicado à AP. Resolvemos o teste. Ele se compunha de nove questões bastante abrangentes, cada uma com vários itens e envolvendo quase todos os princípios e fórmulas estudadas e revisadas nas últimas aulas.

A aula 21, em 29/05/08, aconteceu num dia chuvoso de maio e foi marcada por um ruído não habitual. O professor precisou intervir para começar a aula. Todavia, ele não perdia a calma e sua forma de chamar a atenção era sempre por meio de alguma brincadeira. Um

estilo que os alunos conheciam bem, como também seu significado. Como já dissemos, era a “linguagem do professor” que predominava naquelas aulas.

Nesse dia a aula foi uma continuação do assunto *máquinas térmicas*.

Prof. B: (...) *deve haver uma fonte quente com entrada de calor (Q_1), uma fonte fria com saída de calor (Q_2) e uma saída representando o trabalho realizado.*

Aluno 1: *É impossível transformar totalmente energia em trabalho ou não vale a pena?*

Prof. B: *Não. Não é possível, pois toda troca de calor envolve perdas, na combustão sempre há perdas para o meio...*

O aluno ficou pensativo por uns instantes. Depois mudou sua expressão e pareceu concordar.

Prof. B: (...) *se tudo estivesse na mesma temperatura, por exemplo, 100°C , nosso catavento não funcionaria (...). E o rendimento dessas máquinas? Bem, é dado por $\eta = P_{\text{útil}}/P_{\text{motora}} = \tau_{\text{útil}}/\tau_{\text{motora}}$, sendo que P é potência. O que é potência? Alguém lembra?*

Aluno 2: *É algo no tempo...acho que é trabalho no tempo!*

Prof. B: *É isso mesmo, algo no tempo como disse o colega, trabalho no tempo.*

Aluno 3: *Qual é este capítulo?*

Era comum e parecia uma necessidade dos alunos a acompanhar as explicações do professor pelo livro de texto.

Prof. B: *É o capítulo 27, mas não está no livro de vocês exatamente desta forma...*

O professor tinha, como já referido, a preocupação de seguir rigorosamente o livro e tinha o cuidado de avisar quando as expressões que ele utilizava no quadro ou nas explicações verbais não eram exatamente iguais às do livro.

Prof. B: *O ciclo de Carnot é a máquina térmica de rendimento máximo. Um exemplo é o motor quatro tempos. Quatro, porque ele: admite, comprime, explode e expulsa. (...) o rendimento da máquina de Carnot é dado por $r = 1 - T_2/T_1$ ou $r = 1 - Q_2/Q_1$, sendo que T_2 é a fonte fria e T_1 é a fonte quente. Sempre o rendimento será dado em relação ao trabalho realizado. (...) o refrigerador faz o contrário, vai da fonte fria e expõe calor para a fonte quente. (...). Se vocês quiserem secar roupa atrás da geladeira é preciso retirá-la rapidamente quando ela começar a secar para*

não bloquear a saída de calor... O que deveria ocorrer para termos 100% de rendimento?

Aluno 4: *Teríamos que chegar ao zero absoluto...*

O Aluno 4 era um dos mais participativos, demonstrava bom nível de conhecimento, rapidez de raciocínio e interesse. Mas como ele próprio nos confidenciou “*para ir bem em Física não basta prestar atenção em aula é preciso compreender, tem que estudar em casa*”.

Aluno 5: *O que seria a chamada morte térmica do universo?*

Aluno 6: *É quando tudo está na mesma temperatura.*

Aluno 7: *Professor o que é uma máquina elétrica?*

Às vezes a troca de idéias acontecia entre os próprios alunos e o professor apenas acompanhava a evolução do diálogo. Houve um princípio de debate sobre máquinas elétricas: como funcionam, onde são usadas, que vantagens apresentam. Bastava oportunizar e o debate e as curiosidades brotavam. Mas o professor retomou.

Prof. B: (...) *Bem, temos no livro uma série de questões polêmicas: pêndulo simples oscilando é um fenômeno reversível ou irreversível?*

Aluno 7: *É reversível.*

Aluno 8: *Irreversível...*

Prof. B: *Quem respondeu que é reversível acertou e quem respondeu que é irreversível também está certo. Se um pêndulo estiver no vácuo vai tender a parar porque o atrito da corda roçando no pino é uma forma de atrito interno, não é um atrito com o meio, mas tenderá fazer o pêndulo parar...*

Aluno 9: *Não tem algo que diz que no vácuo tudo continua em movimento?*

Prof. B: *Sim, no vácuo tudo continua em movimento a menos que haja alguma forma de atrito atuando...Vamos para o exercício 13.*

Como era observável, sempre que as discussões tomavam proporções acaloradas o Prof. B abortava o diálogo e dava continuidade ao programa de aula. Retomou a resolução dos exercícios do livro de texto. Ele tinha diante de si uma situação delicada, pois o conteúdo era extenso e três aulas de Física por semana eram insuficientes para cumpri-lo se ele permitisse discussões prolongadas, se todas as curiosidades fossem respondidas, se houvesse interrupções frequentes. Era preciso frear de um lado e acelerar de outro.

Entrava aí um aspecto que não dizia respeito ao professor, ou à própria escola, mas sim ao modelo do Ensino Médio hoje vigente, voltado para o vestibular ou outros exames de ingresso ao ensino superior. Sempre que esse dilema se fazia sentir era inevitável refletir sobre a importância de se repensar a associação que a escola tem com a empregabilidade, com as habilidades e competências que desejamos desenvolver nos jovens e sobre o tipo de indivíduo que queremos formar. Se desejarmos formar cidadãos críticos, precisamos repensar a formação docente, revisar conteúdos de ensino e pedagogias atualmente em vigor e discutir a forma de ingresso ao ensino superior. Isso tudo é tão presente na sala de aula quanto emergencial.

O Prof. B leu e escreveu no quadro os dados do exercício (13) daquele capítulo: uma máquina absorve 6000J; cede 4000J e pergunta-se qual o rendimento (η)?

Prof. B: *O item (a) do problema 13 é simples. É só usar a expressão $\eta=1-Q_2/Q_1=1-4000/6000=33\%$; o item (b) pergunta quanto calor é cedido à fonte fria se o rendimento é 10%?*

O professor deu um tempo para os alunos tentarem resolver o item (b), enquanto isso desenhou no quadro o gráfico do exercício 16. Alguns minutos depois retomou o exercício 13 e fez os cálculos.

Prof. B: *Temos $0,1=1-Q_2/6000$ e obtemos que $Q_2 = (1-0,1)\times 6000 = 5400J$.*

Passou para mais exercícios. A aula encaminhava-se já para os minutos finais e certo nível de conversas foi surgindo gradativamente. Mas o Prof. B não se deixou abalar. Desenhou o gráfico do exercício (17) e avisou que terminaria os cálculos antes de encerrar a aula. Pediu para que os alunos não saíssem. Com isso a aula, mais uma vez, se estendeu para além do horário normal. Os alunos permaneceram em suas classes até serem liberados formalmente pelo professor.

As aulas 22 e 23, em 30/05/08, ocorreram no laboratório de Física. Foi uma introdução à Óptica Geométrica. Uma espécie de *organizador prévio* (Ausubel apud Moreira, 1999) em que foram apresentadas pelo professor e por monitores do laboratório inúmeras demonstrações e pequenos experimentos, onde os alunos puderam observar e/ou manusear objetos como: a câmara escura, espelhos, lentes, prismas, etc.. Foram dadas breves

explicações sobre os princípios da Óptica Geométrica, mostradas diferentes imagens formadas por espelhos de vários tipos: planos, esféricos e lentes. Os alunos puderam visualizar imagens diretas, invertidas, virtuais, reais; intuir sobre a independência dos raios; visualizar a propagação retilínea da luz, com auxílio de laser diante do qual foi colocado um obstáculo contendo minúsculos furos e um anteparo. Além dos princípios da Óptica Geométrica foi feita também uma pequena introdução sobre o comportamento dual da luz e outros aspectos da Óptica Física.

Foram aulas cuja principal característica foi a motivação. Abrangentes e bem planejadas tiveram, ao que pareceu, o objetivo de favorecer depois a *diferenciação progressiva (ibid)* dos conceitos. Os alunos tiveram oportunidade de interagir, observar, manusear, verificar, por exemplo, a decomposição da luz branca com uso de prismas, ou a combinação das cores para formar a luz branca, através do disco de Newton. Puderam perguntar e obter explicações sobre os fenômenos ópticos diversos.

A turma reagiu positivamente à proposta. Os alunos, sem exceção, disseram ter gostado muito da aula experimental, mais interativa e participativa. Mesmo aqueles costumeiramente mais inibidos se mostraram empolgados e fizeram comentários positivos.

Aluno 1: *Foi uma aula muito interessante.*

Aluno 2: *Gostei muito.*

Aluno 3: *Foi muito empolgante e eu aprendi bastante.*

Aluno 4: *A gente viu uma variedade de fenômenos, não entendi direito a formação das imagens nas lentes...*

Aluno 5: *Nós teremos mais aulas assim desse tipo?*

Uma importante contribuição daquele tipo de aula, experimental, foi o entusiasmo pelo assunto em estudo que ela conseguiu gerar. Durante várias aulas subsequentes em que explicações foram apresentadas e exercícios foram sendo resolvidos, os alunos seguiram comentando e relembando fenômenos observados, conceitos captados, situações presenciadas, fazendo supor que a integração de aulas teóricas e experimentais é uma proposta interessante para estudar Física.

A vigésima quarta aula, em 05/06/08, começou com um pequeno atraso do professor e nós, outra vez, recebemos formalmente a turma, a pedido do orientador disciplinar. O militar que nos procurou foi objetivo: *comece a aula, mantenha o controle da turma e se houver qualquer problema com a disciplina anote os nomes.*

Não foi necessário. O professor chegou em seguida e assumiu a aula.

Prof. B: (...) *A luz tem comportamento dualístico, são os fótons que colidem no espelho...outros fenômenos são explicados pelo comportamento ondulatório, são ondas que se propagam ...*

Aluno 1: *São ondas eletromagnéticas.*

Como se vê, o professor deu início a uma breve introdução sobre o comportamento dual da luz. Falou também da luz como onda eletromagnética: gesticulando com as mãos tentou dar uma idéia de que os campos elétrico e magnético se propagam oscilando perpendicularmente. Depois, avançou para o item 2: *Luz e Radiação*. Desenhou no quadro um esquema do espectro eletromagnético, localizou sobre a linha algumas frequências, entre 10^6 a 10^{22} Hz, e procurou fazer conexão com aplicações conhecidas.

Prof. B: *Temos ondas de rádio AM, FM, TV, microondas...cada uma tem uma faixa de frequências no espectro (...).*

Sempre que essa conexão com aplicações conhecidas era explorada ocorriam várias perguntas. Os alunos tinham curiosidades sobre ondas de rádio, de TV, interferência, microondas e outras tantas. A algumas o professor respondeu, outras não.

Aluno 2: *Por que tem interferência na transmissão de rádios diferentes?*

Prof. B: *Quando duas emissões de rádio têm frequências muito próximas elas podem se sobrepor (...). Frequências na ordem de 10^6 Hz são de rádio; em 10^{10} Hz temos as microondas; 10^{14} Hz é a frequência do visível; 10^{16} Hz é o ultravioleta; 10^{18} Hz é o Raio X; 10^{22} Hz são os raios γ (...) não enxergamos microondas, nem Raios X, só enxergamos a faixa do visível (...).*

A cada explicação, novas curiosidades e mais perguntas: as diferentes frequências que homens e animais enxergam, doenças causadas por equipamentos de radar, defeitos no olho humano, etc..

Aluno 3: *Como as ondas agem nos alimentos no forno microondas?*

Prof. B: *As microondas têm um comprimento de onda próximo às ligações de ponte de hidrogênio da água e faz com que a molécula de água se agite fortemente e começa a aquecer os alimentos de dentro para fora (...).*

Aluno 4: *Por que frequências maiores que a faixa do visível a gente não enxerga?*

Prof. B: *Porque tem que haver uma relação entre a frequência e as células do olho humano, os bastonetes, que são encarregados de enviar a informação para o cérebro...*

Aluno 5: *A radiação do microondas é cancerígena?*

Aluno 6: *Como o radar afeta as pessoas ao se aproximarem?*

Seriam necessárias várias aulas, ao que parecia, porque havia muitas perguntas. Mas o professor freou a discussão com um alerta.

Prof. B: *Nós temos que avançar porque o nosso objetivo é estudar a Óptica Geométrica (...); Item (3) Fontes de Luz: fonte luminosa (sol, vela); fonte iluminada: lua (reflete a luz)...; item (4) Princípios da Óptica Geométrica: 1º a propagação da luz é retilínea, vocês viram isto com o laser no laboratório; 2º é o princípio da reversibilidade ou seja, se o raio vai numa direção e sentido ele pode voltar em sentido contrário; 3º é o princípio da independência dos raios luminosos, vocês viram isso na câmara escura (...).*

Os alunos, possivelmente ainda movidos por curiosidades despertadas pela aula no laboratório, faziam muitas perguntas. O professor procurava responder sucintamente. Não fomentava as discussões. Era conciso e avançava para o item seguinte.

Prof. B: *Sombra e penumbra: se tivermos uma lanterna e focarmos num anteparo veremos uma mancha iluminada, pois a lanterna é tomada como uma fonte pontual. Mas se tomarmos um farol de carro pode ser considerado uma fonte extensa (...) se colocarmos um obstáculo veremos no anteparo uma região mais iluminada e outra não iluminada, que é a sombra...*

Aluno 7: *Professor, durante o dia a iluminação (referindo-se ao farol) é menor podemos dizer que é penumbra?*

Prof. B: *Não. A penumbra tem a ver com o fato de a fonte ser extensa.*

O professor desenhou no quadro uma fonte extensa, um obstáculo e um anteparo. Traçou os raios de luz que passavam obliquamente pelo obstáculo, saindo de pontos opostos da fonte luminosa, e mostrou que esses geravam uma região de penumbra.

Prof. B: *Se eu tiver uma fonte não pontual (...) atrás do obstáculo é a umbra (a sombra) e no entorno alguns raios de luz chegam vindos de diferentes regiões de fonte extensa e formam uma região menos iluminada, a penumbra...*

Fim de aula e o Prof. B solicitou para que fizessem os exercícios do capítulo 18 do livro de texto.

Em 06/06/08, aulas 25 e 26 começaram pontualmente 7h30min da manhã após as formalidades habituais. Sala ampla, alunos sentados em filas de classes bem espaçadas, dava a impressão que o frio de inverno era mais intenso naquela manhã gelada. O professor continuou com o capítulo 18 do livro.

Prof. B: *Imagem e movimento: 1) translação linear; (...) 2) translação angular (...).*

Aluno 1: *Professor nós vamos ao laboratório hoje?*

Houve silêncio. O Prof. B deixou implícita sua negativa enquanto desenhava no quadro as mesmas figuras da pág. 228 do livro. A primeira, mostrava que o deslocamento do espelho de uma distância “a” a partir de um objeto fixo provoca um deslocamento de “2a” da imagem. A segunda, ilustrava o mesmo efeito para um deslocamento angular. A pergunta do aluno 1, por sua vez, dava a idéia de que a aula no laboratório deixara saudades. Tinha sido mais dialogada e interativa, menos formal e menos formulista.

Prof. B: (...). *Façam no caderno de vocês uma escala para enxergar esse fenômeno. (...) Enquanto o espelho se desloca de duas unidades “2a” imagem se desloca de quatro 4 unidades “4a” para um objeto que permanece fixo...*

Passou a circular pela sala incentivando os alunos a desenharem uma escala e as duas situações (antes e depois de deslocarem o espelho). Parecia querer fazer entender que tal visualização era importante.

Os alunos pareciam não compartilhar da mesma opinião. Enquanto alguns se dedicavam desenhando e contando cuidadosamente as unidades da escala, outros, aparentemente, já tinham visualizado mentalmente e consideravam a tarefa desnecessária. Mas o professor insistiu. Passou de classe em classe e desenhou ele próprio, para os que ainda não tinham

feito ou não tinham concluído, discutiu, mostrou pontualmente, e assim fez com todos os alunos.

Prof. B: *Agora façam o teste da translação angular em casa (...). Usem o princípio de que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, em relação à normal (...).*

Passou em seguida para as questões teóricas do livro.

Prof. B: *Se eu enxergo alguém no espelho, este alguém também vai me enxergar?*

Aluno 3: *Sim porque o ângulo refletido é igual ao ângulo de incidência.*

Prof. B: *Isso, e por que mais?*

Aluno 4: *Porque o raio anda em linha reta...*

A cada resposta correta ocorria uma vibração do professor e dos alunos.

Prof. B: *A questão 2 diz que quando ouvimos uma orquestra escutamos o som dos diferentes instrumentos. Qual é o princípio similar à Óptica Geométrica que explica isso?*

Aluno 5: *A independência da propagação dos raios.*

Prof. B: *Você matou a questão. Exercício 5: teoricamente, no espelho plano, o tamanho da imagem é igual ao do objeto. Quando nos afastamos do espelho a imagem parece diminuir. O que explica isso?*

Nenhum aluno arriscou uma explicação.

Prof. B: *É o campo visual. É o mesmo que acontece quando nos afastamos de uma porta, ela parece diminuir. Quando nos aproximamos de um espelho vemos a imagem aumentar e se nos aproximamos muito a ponto de encostarmos no espelho a imagem torna-se infinita para nós (...).*

Enquanto explicava o Prof. B tinha o hábito de gesticular e se movimentar pela sala de aula. Neste caso, se aproximou e se afastou da porta da sala para dar a idéia de que dependendo do campo visual ela parecia diminuir ou aumentar.

O Prof. B, não havia dúvidas, tinha grande experiência de sala de aula, excelente domínio dos conteúdos da Física e ao mesmo tempo, sua formação em Engenharia rendia-lhe enorme capacidade de responder com precisão e de forma concisa às perguntas dos alunos,

sem se estender em explicações conceituais prolongadas e sem desencadear polêmicas. Essas características do professor tornavam as aulas bastante objetivas e ele conseguia avançar no conteúdo dentro do previsto, embora, muitas vezes, questões conceituais importantes poderiam, a nosso ver, ser mais bem exploradas e resultar em maior compreensão conceitual para os alunos.

O que se podia constatar é que eram poucos os debates. Breves as respostas às curiosidades dos alunos. Curtas as contextualizações históricas dos conteúdos. Praticamente, não havia abordagens epistemológicas, ou contrariamente, a forma objetiva de conduzir as aulas parecia deixar implícito que a Física é uma ciência exata, que seus princípios mais fundamentais se expressam por equações matemáticas, exatas por natureza, porque esse conhecimento preciso resulta da observação e experimentação. Dessa forma, deixava transparecer uma visão *empirista-indutivista* da natureza da ciência, embora raramente o professor tivesse feito afirmações explícitas nesse sentido.

A aula prosseguiu com mais exercícios até o final do primeiro período, quando o professor saiu da sala por alguns minutos. Como de praxe, houve nova apresentação da turma para o segundo período.

Um aluno nos procurou para discutir o problema (8) daquele capítulo, em que se pedia a que distância um estudante se encontrava de um prédio de 12m de altura, que ele conseguia cobrir totalmente aproximando dos olhos, a 0,40m de distância do olho, o polegar de 0,02m. O aluno tinha construído a solução por semelhança de triângulos obteve a distância escrevendo $0,02/12=0,40/x$. Dissemos que os cálculos estavam corretos. Sua dúvida era como transformar em graus o ângulo α entre a linha de visão e o topo do prédio, para o qual ele usara, acertadamente, $\text{tg}\alpha$. Respondemos que ele deveria consultar uma tabela ou responder que se tratava do ângulo $\text{arctg } 0,05$. Ele não discordou. Também não concordou. Mas era visível que ele tinha uma notável precisão de raciocínio e fazia uso de conhecimentos anteriormente adquiridos (neste caso, o domínio da trigonometria).

Atitudes assim, não eram incomuns, e faziam crer que aquele grupo era, em grande parte, constituído de alunos com excelente capacidade cognitiva, dedicados e estudiosos. Poderíamos dizer sem receio, que a maioria ali era de alunos “acima da média”.

Tivemos oportunidade de conversar nesse dia com duas alunas bastante reservadas, que dificilmente se manifestavam em aula. Elas informaram ter gostado mais da Termodinâmica, pois na Óptica Geométrica era *muito complicado construir as imagens*, segundo palavras de uma delas.

Ao retornar, o professor incentivou que algum voluntário resolvesse a questão (8). O aluno que nos procurou estava afiado. Apresentou os cálculos.

Prof. B: (...) *De onde o colega tirou isso? De uma proporção entre o tamanho e distância do dedo e do prédio. Isto é Matemática, não tem nada de Física (...). No item b, usamos a tangente do ângulo que é cateto oposto dividido por cateto adjacente (...) obtemos exatamente 0,05 e o ângulo é aquele cuja tg é 0,05, em radianos (...). No caso de uma questão de vestibular, certamente seria apresentada uma tabelinha para fazer a conversão (...).*

De falas assim, ficava cristalina a preocupação do Prof. B com relação à preparação dos alunos para o vestibular, que também era uma preocupação da escola. Tornavam visíveis também outros aspectos.

Ricardo e Freire (2007) num estudo exploratório a respeito das concepções de alunos de Ensino Médio sobre a Física afirmaram que *ao que parece, a relação entre Física e Matemática não é clara entre aqueles que ensinam essas disciplinas* e como consequência os alunos apresentam essas mesmas dificuldades. Esses autores atribuíram algumas das causas à *forma como livros didáticos costumam a apresentar a Física, excessivamente presa à aplicação de fórmulas*. Asseveraram que a formação dos docentes é outro fator importante, e que *é comum encontrar professores que ao resolverem exercícios com seus alunos utilizam frases do tipo: **daqui para frente não é mais Física, é só Matemática...*** (grifamos). Sugerem que *discussões epistemológicas e históricas acerca das teorias físicas* poderiam ajudar a suprir essas dificuldades.

Compartilhamos dessas idéias. Como se pôde ver da descrição do cotidiano das aulas do Prof. B. expressões como as que grifamos, levantadas por Ricardo e Freire, se faziam presentes com frequência nas suas aulas.

O professor passou rápido para o próximo exercício.

Prof. B: (...) *uma vela de 2cm de altura a 4cm de distância de uma câmara escura de comprimento de 5cm. Pergunta-se qual o tamanho da imagem que se forma? É só usarmos a relação que o livro apresenta e que vimos no laboratório, “ $i/o=p'/p$ ”, ou seja, $i/2=5/4$ o que resulta $i=2,5$ cm. O exercício também quer saber qual o comprimento do raio de luz. Para isso é só fazer uma relação usando triângulos. (...) um triângulo retângulo formado pela distância do objeto ao furo com altura igual à metade da altura da vela e outro triângulo retângulo do comprimento da caixa, distância do furo até a parede que serve de anteparo, e metade da altura da imagem. Usa-se Pitágoras e depois se soma as duas hipotenusas (...).*

Não houve perguntas. As explicações eram claras. O professor passou para nova questão, que envolvia eclipse solar.

Prof. B: (...). *Quem faz papel de anteparo?*

Alunos: *A terra!*

Prof. B: *Quem faz papel de obstáculo?*

Alunos: *A lua!*

Por fim o professor solicitou a formação de duplas para um pequeno trabalho surpresa sobre espelhos esféricos.

Escreveu no quadro 5 questões:

- 1) *Como se constrói um espelho esférico?*
- 2) *Conjuguem uma imagem de um ponto objeto num espelho esférico.*
- 3) *O que é um sistema estigmático?*
- 4) *Mostre como se forma o foco num espelho esférico.*
- 5) *Construir a imagem do objeto (dado um espelho convexo, o foco e o centro).*

Os alunos formaram rápidos as duplas, sem ruídos e em silêncio começaram a trabalhar. Usavam o livro para responder e disseram ter problemas com a questão 1. O professor confirmou que aquela questão não estava abordada no livro e deu então uma breve explicação.

Prof. B: *O que é necessário para construir um espelho esférico não pode ser um plano, certo? Temos que ter uma esfera bem polida. Cortamos uma calota e desprezamos o resto da esfera. Se a parte polida é a de dentro temos um espelho côncavo. Se for a de fora, temos um espelho convexo (...) têm que ser construídos a partir de uma esfera (...).*

No início da vigésima sétima aula, em 12/06/08, havia certo clima de ansiedade para a entrega dos trabalhos, que foi transferida para o início daquela aula. Os alunos eram perfeccionistas, solicitaram para concluir em casa, queriam organizar, pesquisar, escrever melhor.

O professor começou a aula desenhando um espelho plano, um objeto e sua imagem.

Prof. B: (...). *A imagem do espelho plano é virtual, se coloca atrás do espelho à mesma distância que o objeto está do espelho. (...). O objeto é real e a imagem é virtual, isto é, não pode ser tocada. Estou na introdução de espelhos esféricos mas, fiz uma referência a espelhos planos para mostrar as diferenças. Os espelhos esféricos podem produzir imagens reais ou virtuais.(...).*

Uma aluna emprestou ao Prof. B um pequeno espelho que ele utilizou para refletir na parede da sala os raios de sol que entravam pela porta. Serviu para descontrair, e só nesse momento foi que ele recolheu os trabalhos e retornou às explicações: espelhos esféricos, tipos de espelhos, raio de curvatura, foco, e avisou que passaria para o item 3 daquele capítulo, que tratava de *Imagem/Objeto*.

Desenhou um espelho côncavo, marcou o lado não espelhado, desenhou o eixo principal, um objeto pontual e sua imagem usando um raio incidente, a normal, o raio refletido e destacou que os ângulos de incidência e de reflexão eram iguais.

Prof. B: (...) *No espelho curvo cada pedacinho infinitesimal pode ser entendido como um pequeno espelho plano e tem uma normal e nesse ponto um raio incidente obliquamente reflete com ângulo de reflexão igual, em relação à normal. Mas a normal muda de direção em cada ponto. Isso faz a diferença. (...).*

Em seguida repetiu a construção para um espelho convexo.

Prof. B: *A imagem se forma na intersecção dos raios refletidos ou na intersecção dos prolongamentos. Vocês já se deram conta de que nesta configuração do espelho côncavo a imagem é real porque está na frente do espelho e no convexo a imagem é virtual? Por quê?*

Aluno 1: *Fica atrás do espelho.*

Prof. B: *No espelho convexo sempre a imagem é virtual e menor.*

Aluno 2: *O p e o p' deste espelho são simétricos?*

Prof. B: *Não é simétrico. Por que vocês acham isso?*

Aluno 3: *Por causa da curvatura.*

Aluno 4: *Por que essa reta (referindo-se ao eixo)? Onde fica o centro?*

Prof. B: *Essa reta passa pelo centro e pelo foco e divide o espelho esférico em duas semi-calotas. Ela é fundamental para a construção das imagens. O centro corresponde ao centro da esfera que deu origem ao espelho (...).*

Aluno 5: *O que determina o tamanho da imagem?*

Prof. B: *Vai depender da posição do objeto em relação ao foco, isso nos côncavos...*

Aluno 6: *Tem algum ponto que vai formar imagem em posição inversa e do mesmo tamanho?*

Os alunos faziam muitas perguntas, mas o professor, como de costume, respondia até certo ponto, depois, e para não permitir que houvesse perda de foco, retomava as explicações.

Prof. B: *Existem duas condições, chamadas “condições de Gauss” para se ter imagens mais nítidas: a) o ângulo de abertura tem que ser menor que 10° ; b) os raios incidentes devem ser tão paraxiais quanto possível (...).*

Sinal sonoro. Fim de aula. Mas o professor só encerrou a aula depois de concluída sua explicação. Sua objetividade, em geral, permitia esses pequenos acréscimos e com isso evitava que todo um raciocínio se perdesse. Nesse dia o professor concluiu com uma combinação: se estudassem em casa e fizessem todos os exercícios daquele item seriam dispensados da AP, na aula seguinte. Os alunos vibraram.

As aulas 28 e 29, em 13/06/08, começaram pontualmente às 7h30min, como habitualmente ocorria. Observamos que os alunos, na verdade, chegavam à escola 10 minutos antes do horário de aula para participarem da “forma”: canto do Hino Nacional e hasteamento da Bandeira Nacional. Impecavelmente uniformizados, usando boinas, os alunos eram advertidos quando não participavam da “forma”.

A aula foi uma continuação do assunto espelhos esféricos. O professor começou desenhando dois espelhos côncavos e traçou duas configurações de raios incidentes.

Alguns alunos avisaram que um colega estava de aniversário. Cantaram “parabéns” junto com o professor. Esses episódios sociais e breves brincadeiras habituais do professor tornavam, em geral, o clima em sala de aula mais amistoso. Mas o Prof. B inciou a aula em sem demora.

Prof. B: *Vocês viram quais as diferenças entre os dois espelhos? Em ambos os raios incidem paralelos entre si, mas qual é a diferença?*

Aluno 1: *No segundo espelho os raios são perpendiculares...*

Prof. B: *Bem, neste segundo espelho os raios são paralelos entre si, mas incidem inclinados em relação ao eixo principal e convergem para um ponto, porém este ponto não está sobre o eixo principal e é chamado de “foco secundário” (...).*

O professor passou para o espelho convexo.

Prof. B: *Qual a diferença para este terceiro espelho?*

Aluno 2: *Este é convexo!*

Prof. B: *Isto, e que tipo de foco tem?*

Aluno 3: *Foco principal porque está sobre o eixo principal.*

Aluno 4: *Como é que se forma o foco no espelho convexo?*

Prof. B: *Através do prolongamento dos raios, vejam...*

Desenhou um espelho convexo, raios paralelos ao eixo principal e mostrou que os prolongamentos dos raios refletidos se encontram no foco.

Havia nesse dia um pequeno grupo de alunos que conversavam com voz baixa. O professor localizou o foco. Tomou de um aluno um trabalho sobre ‘mercantilismo’. O aluno não se abalou, esperou alguma brincadeira, que não tardou. O professor passou a ler em voz alta do conteúdo do trabalho, fez um breve discurso contrário à política mercantilista e por fim:

Prof. B: *Isto é Física? Não. Então vamos continuar aqui onde o mundo é mais bonito.*

Aluno 5: *Concordo professor!*

A aula continuou, depois disso, sem ruídos como era habitual.

Prof. B: *São três os raios mais usados para se construir imagens ... raio que incide paralelo ao eixo é refletido passando, ele próprio ou seu prolongamento, pelo foco ... raio que incide no vértice tem ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão... raio que passa pelo foco volta paralelo ao eixo principal (...). Interessante não é, são três raios, são três leis de Newton, são três leis do Magnetismo...será que foi a Igreja quem inventou isso?*

Como a pergunta foi endereçada à pesquisadora, respondemos.

Pesquisadora: *Todo o conhecimento é uma invenção do homem.*

Esta tinha sido a primeira vez que o professor fizera um comentário mais ou menos explícito sobre a origem e possível “invenção” de leis na Física. Mas o efeito nas concepções dos alunos foi duvidoso, pois o tom da fala do professor fazia supor que talvez fosse, tudo aquilo, apenas um trocadilho de palavras, uma brincadeira. Uma reflexão séria sobre a natureza da ciência demandaria um debate conduzido com rigor, pareceu-nos.

A aula prosseguiu com explicações, perguntas e novas explicações e assim os diversos itens sobre construção de imagens pontuais (espelho côncavo e convexo) foram abordados.

O Prof. B passou depois para os exercícios. Esses eram momentos em que os alunos não reclamavam. Pareciam estar de acordo que resolver o máximo de exercícios era condição necessária para adquirir habilidade, tranquilidade e preparação para as avaliações.

Um dos exercícios perguntava os tipos de imagens formadas por um espelho convexo dependendo de onde o objeto era colocado, em relação ao centro (C), ao foco (f) e ao vértice (V). O professor sistematizou construindo um quadro.

Objeto	Imagem
Antes do Centro (C)	Real, invertida e menor
Entre o C e o foco	Real, invertida e maior
Sobre o Centro de curvatura	Real, invertida, mesmo tamanho que o objeto
Entre o foco e o vértice (V)	Real, direita e maior

Quadro 7.1: Tipos de imagens formadas por espelho convexo, de acordo com a posição do objeto.

Prof. B: *Tem que saber que $f=r/2$; daí usamos os três raios bem conhecidos... precisamos de pelo menos 2 para construir a imagem.*

Voltou a usar os três raios principais para mostrar a construção da imagem de um objeto extenso, traçando-os a partir do extremo superior do objeto.

Fim de primeiro período.

Nos pequenos intervalos que separavam os dois períodos consecutivos os alunos permaneciam em sala de aula, como já dito, mas tinham a liberdade para se movimentar

pela sala, conversar, discutir exercícios, trocar idéias ou esclarecer dúvidas com os colegas. Nesses momentos as conversas costumavam ser animadas.

Quando retornou à sala, o professor pediu aos alunos para permanecerem em forma, de pé. Ninguém sentou. O Prof. B pediu então para que citassem em voz alta os três raios principais para a construção de imagens em espelhos esféricos. Os alunos, mais ou menos em coro, citaram os raios. O professor somente deu permissão para sentarem depois de se ter dado por satisfeito.

Prof. B: *Vocês viram que eu estou me detendo demoradamente nessas construções. Por quê? Porque certamente isto será cobrado nas avaliações.*

O professor explicou que é usual o uso de linhas cheias para representar os raios incidentes e/ou refletidos (no lado real do espelho) e linhas pontilhadas para representar os prolongamentos dos raios (no lado virtual).

Pensamos que essa teria sido uma boa oportunidade de falar da Óptica Geométrica e seus conceitos (raio de luz, por exemplo) em termos de “modelo” construído pelo homem para explicar a realidade, como também, falar das “convenções” que a comunidade científica comumente adota para representar esses conceitos e modelos. Mas o professor nada disse a esse respeito.

Muitas vezes nos perguntamos se, de fato, abordagens epistemológicas desse tipo poderiam ter contribuído de forma contundente para melhorar o desempenho daquele grupo de alunos, que, como já referido em várias oportunidades ao longo desta descrição, já era bom. Tomando-se por base aquela cultura, naquele contexto, sempre achamos que representariam uma contribuição importante para a reflexão crítica se fossem conduzidas em conjunto com alguma atividade específica, como aquela do laboratório, por exemplo, ou através da discussão de algum texto paradidático, em que a curiosidade fosse estimulada e pudesse dar origem a um amplo debate acerca da natureza e justificação do conhecimento científico. De outra forma, os alunos, acostumados a acompanhar o conteúdo pelo livro de texto, acostumados com respostas objetivas, ao que parecia, sentiam-se em terreno seguro concebendo o trabalho dos cientistas como uma atividade de tal forma organizada que seu

produto (as teorias e leis de Física) era algo inquestionável. O professor com sua objetividade sistemática reforçava esse tipo de concepção.

O restante da aula foi dedicado à discussão e à resolução de exercícios que envolviam a construção de diferentes imagens, supondo-se o objeto colocado em diferentes posições diante de espelhos esféricos (côncavo e convexo).

O professor insistia para que desenhassem os esquemas de formação de imagens nos cadernos sob o argumento de que:

Prof. B: *Vocês têm que ganhar intimidade...*

Aluno 6: *É fácil porque basta saber os raios principais e construir pensando apenas neles.*

Prof. B: *Sempre usei os três raios principais. Mas tem também um quarto: um raio que passa pelo centro de curvatura reflete-se sobre ele próprio pelo princípio da reversibilidade. Podemos usar esse raio por segurança...*

O Prof. B não poupava explicações, desenhava detalhadamente os exercícios no quadro, identificava os raios principais com cores diferentes, esclarecia o tipo de imagem obtida (real, virtual, direta, invertida, maior, menor). Fazia pequenas interrupções e algumas brincadeiras. Depois circulava pela sala e retomava as explicações. Às vezes atendia um ou outro aluno em sua classe, esclarecia dúvidas e só concluía depois de ouvir algo como *agora entendi!*

Novamente, antes do final daquela aula pediu para que repetissem em voz alta os agora quatro raios principais usados na construção de imagens em espelhos esféricos. Era a memorização, mais uma vez, que se fazia presente.

Na aula 30, em 19/06/08, o professor avisou que faria uma recapitulação do conteúdo para a AP da aula seguinte, capítulo 27 do livro, sobre Termodinâmica.

Começou desenhando uma sequência de gráficos que correspondiam aos exercícios 16, 17, 18 e 19 daquele capítulo do livro de texto. Todos do tipo P x V de máquinas térmicas de ciclo fechado em que se pedia para calcular o trabalho realizado no ciclo, ou em diferentes etapas do ciclo, ou a relação entre as temperaturas T_1 , T_2 e T_3 das diferentes etapas, ou entre volumes V_i e V_f , etc..

Prof. B: *Estou pensando não apenas na AP mas também nos futuros exames que vocês venham a prestar. Não vou resolver todos os problemas do capítulo, mas aqueles que considero mais importantes. (...) Eu já falei que um ciclo no sentido horário temos transformação de calor em trabalho e no sentido anti-horário temos transformação de trabalho em calor. Vocês conseguem exemplificar?*

Aluno 1: *No sentido horário é a máquina a vapor.*

Prof. B: *Isso. E no sentido anti-horário?*

Aluno 2: *A geladeira!*

Via de regra, as respostas dos alunos eram coerentes, não se ouviam “chutes” grosseiros. Perguntas e respostas eram levadas a sério. Percebia-se que os alunos vinham estudando e acabavam discutindo alguns aspectos com os colegas. O professor pediu silêncio.

Prof. B: *(...) tem que dar tempo para ver tudo... O trabalho no ciclo fechado é a área interna do ciclo (...).*

Aluno 3: *É a área do triângulo.*

Prof. B: *Isso mesmo. Vejamos a área ABC (dados retirados do gráfico), é $\tau_{ABC} = [(2V_o - V_o) \cdot (2P_o - o)] = 2P_oV_o$. Agora o caminho ADC, é toda a área abaixo da curva ADC, isto é, o retângulo menor, $\tau_{ADC} = [(2V_o - V_o) \cdot (P_o - o)] = P_oV_o$. Dessa forma, a relação pedida é $\tau_{ABC} = 2 \tau_{ADC}$.*

Assim evoluiu a aula, com resoluções e desenhos detalhados visando interpretar os enunciados dos exercícios. Com explicações, perguntas e novas explicações.

Era possível observar que o Prof. B pouco associava situações do cotidiano para explicar algum processo físico. Ele era, visivelmente, adepto aos cálculos, algébricos ou numéricos. Esse terreno, ao que parecia, soava-lhe mais seguro. Quando as dúvidas envolviam raciocínios teórico-conceituais, o professor recorria a gráficos, desenhos e esquemas.

Para resolver o problema 19, construiu um quadro para especificar as diferentes transformações e o comportamento das grandezas físicas envolvidas:

Processo	τ	Q	ΔU
M para N	+	+	+
N para S	-	-	0
S para M	0	-	-

Quadro 7.2: Tipos de transformações (a partir de um gráfico de ciclo fechado MNSM) e o comportamento das grandezas envolvidas.

Prof. B: *Do ponto M para N é uma transformação isobárica e vejam que o volume aumenta, então tem realização de trabalho. Trabalho positivo (...).*

Aluno 4: *Se estamos diminuindo o volume o sistema esquentando (...)*

Prof. B: *Sim, realiza-se trabalho sobre o sistema, por isso ele é negativo (...).*

Toda a aula foi dedicada à discussão dos quatro problemas propostos, que eram, de fato, representativos. Houve inúmeras oportunidades para os alunos esclarecerem dúvidas. A aula pareceu ter sido bastante proveitosa para os alunos.

As aulas 31 e 32, em 20/06/08, ocorreram num dia muito chuvoso e frio de inverno, com apenas 21 alunos em sala de aula. O silêncio era absoluto. Vez ou outra chegava um novo colega, atrasado, pedia permissão para entrar e o professor autorizava. Os alunos acompanharam pelo livro uma breve revisão das leis da reflexão que o professor fez antes de falar na refração. Mas, pareciam preocupados com a AP, pois, como eles próprios diziam *Física é a disciplina que mais preocupa*. Quando isso era pronunciado, nos vinha à mente, nossa reflexão anterior. Acabávamos concordando que a Física é mesmo considerada “a disciplina” difícil do Ensino Médio.

Prof. B: *(...) voltamos hoje para a Óptica Geométrica (...). Sabemos que a velocidade da luz no vácuo é máxima, 300.000 km/s, e esta é aproximadamente a velocidade também no ar, mas a luz sofre um desvio ao passar de um meio transparente para outro, por exemplo, para água, glicerina, vidro, etc. A velocidade torna-se menor nestes meios (...).*

Aluno 1: *Quanto tempo a luz leva para chegar à terra a partir do sol?*

Prof. B: *Sabemos que $v=d/t$; temos a velocidade da luz e sabemos que a distância ao sol é 150 milhões de quilômetros, é só calcular. Faça isso e nos informe o resultado.*

O professor tinha o costume de incentivar os alunos a fazerem os cálculos para obterem certas respostas que eles mesmos desejavam saber. Este era um caso típico. Ele forneceu os elementos para o cálculo, mas continuou desenhando um esquema para representar dois meios (ar e água), desenhou a superfície de separação, a normal; um raio incidente e o raio refratado. Assinalou o ângulo de incidência e mostrou que ele era maior que o ângulo de refração.

Prof. B: *O meio 2 é mais denso e o que se observa é que o raio se aproxima da normal. O livro chama de θ_1 o ângulo de incidência e de θ_2 , o de refração. (...), temos que:*

1ª) raio incidente, raio refratado e normal estão no mesmo plano; 2ª) Lei de Snell, $n_{21} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ (...).

Aluna 2: *Professor eu vi um filme em que a luz saía de uma piscina e ficava na superfície.*

Prof. B: *Existe um ângulo limite acima do qual a luz é totalmente refletida é a “reflexão total”, vamos ver isto mais adiante.*

A turma reduzida nesse dia permanecia silenciosa, quase sem perguntas, nem mesmo as costumeiras brincadeiras do professor funcionaram para tornar a aula mais atrativa ou descontraída.

O professor tornou a desenhar um esquema de refração.

Aluno 3: *Professor qual é a unidade de n_{21} ?*

Prof. B: *Nem vou responder. Por quê?*

Aluno 4: *Ah! Porque é seno sobre seno...não tem...*

Prof. B: (...) *esta relação torna a razão adimensional, sem unidade, apenas informa quanto a velocidade de um meio é menor que a do outro.(...).* O índice de refração é uma relação entre velocidades: $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$, sendo 1 e 2 meios transparentes quaisquer. O índice de refração total é $n = c/v_{\text{meio}}$, onde c é a velocidade da luz no vácuo, e v_{meio} é a velocidade em um meio qualquer (...).

A aula evoluiu e foi tipicamente expositiva. O professor mostrou o que acontece quando o ângulo de incidência aumenta em relação à normal, aproximando-se cada vez mais de 90°.

Prof. B: *Quando θ_1 se aproxima de 90° a refração tem um ângulo limite, ou máximo, no meio mais denso. Isto responde à pergunta da colega. O raio de luz é reversível. Quando fazemos incidir um raio em direção à superfície de separação a partir do interior da piscina exatamente no ângulo limite, ele passa do meio mais denso para o menos denso, se refrata afastando-se da normal próximo de 90°. Se tomarmos um ângulo um pouco maior que o ângulo limite, teremos reflexão total (...).*

No pequeno intervalo entre os períodos conversamos com duas alunas. Elas tinham opiniões diferentes sobre diferentes conteúdos de Física.

Aluna 5: *Não gostei de Óptica, é muito chato. Prefiro cálculos, é só decorar as fórmulas e dá para tirar 10.*

Aluna 6: *Eu gostei da Óptica. É mais visual, eu não gosto muito de Matemática...*

Como em várias outras oportunidades, alguns alunos nos procuraram no intervalo para esclarecer dúvidas antes da AP. Um aluno fez uma queixa:

Aluno 7: O professor dá a matéria e depois deixa para fazer a AP muito tempo depois, isso não vale...a gente já esquece tudo!

A queixa tinha a ver com fato de já estarem estudando Óptica quando o professor resolveu fazer uma AP sobre a parte final do conteúdo de Termodinâmica. Mas não era casual, havia uma estratégia que tinha a ver com o final do semestre e a proximidade da prova bimestral (AE). Parecia revelar também que a prática de alguns alunos centrada no esforço de decorar fórmulas e exercícios não lhes rendia segurança, possivelmente porque não ocorria uma aprendizagem significativa.

Quando retornou, o Prof. B seguiu com a refração da luz. Os alunos, todavia, estavam com o pensamento na AP.

Aluno 8: O que é potência?

Prof. B: Potência é $P = \tau/t$, ou seja, trabalho sobre tempo.

Aluno 9: É força vezes distância por vezes $\cos\theta$, não é isso?

Prof. B: É isso, mas não estamos trabalhando com Mecânica, então usamos $P = p \cdot \Delta V$.

Não houve mais condições e nem tempo de voltar à Óptica. Depois das perguntas finais o professor distribuiu as APs. O silêncio se fez de imediato.

O começo da aula 33, em 26/06/08, foi marcado por um sentimento de preocupação com o rendimento da última AP. Alguns alunos disseram não ter conseguido resolver a questão 1.

Aluno 1: Não consegui fazer, não tem no caderno.

O professor informou que retomaria na aula seguinte as questões da AP e continuou com a Óptica Geométrica. Voltou a falar da reflexão total, respondeu algumas perguntas e passou para o capítulo seguinte do livro.

Prof. B: Nos dias quentes, com sol forte, temos a impressão que há poças d'água no asfalto. (...) Chamamos isso de "ilusão de óptica", uma miragem. (...) quando está muito quente as camadas de ar perto do solo ficam menos densas, como se

houvesse meios diferentes, ocorre refração em pequenas ordens, isto é, não de forma abrupta. O raio de luz sofre pequenas e consecutivas refrações devido a pequenas diferenças de densidade do meio. O que a pessoa vê é a reflexão da luz do sol e tem a impressão de que está vendo uma poça de água.

Aluno 3: *A miragem no deserto é assim também?*

Prof. B: *É um esquema parecido. Se há um camelo, uma árvore, etc., o que o sujeito vê, devido ao calor excessivo, é um desvio dos raios de luz do sol e a árvore parece de cabeça para baixo, como se houvesse um lago refletindo a imagem.*

Os alunos mostravam-se encantados com as explicações que envolviam fenômenos muito comuns nos filmes e também no dia a dia. O resultado desses momentos era sempre um incentivo à curiosidade, perguntas, e certo nível de discussões paralelas. O professor interveio, passou para o item seguinte: *lâminas transparentes de faces paralelas.*

Prof. B: *O raio chega, sofre o primeiro desvio, atravessa a lâmina e sai paralelo ao raio incidente, depois de atravessar a segunda superfície e sofrer novo desvio. O raio sofre um desvio que é dado pela fórmula $D = [l \cdot \sin(\theta_i - \theta_r)] / \cos \theta_r$. A chance de cair no vestibular esta fórmula é quase nula, portanto, esta fórmula não é importante. O que importa são os conceitos.*

Aluno 4: *Qual é a chance de cair na AP?*

Prof. B: *Não tem chances. Se não cai no vestibular não cai na AP.*

O diálogo é autoexplicativo no que tange à importância relativa dos conteúdos e novamente ressalta a preocupação como vestibular. O professor era determinado e passou rápido para os prismas de reflexão: *prisma de AMICI* (em formato de triângulo retângulo-isósceles).

Prof. B: *Este prisma é sempre de reflexão total; é muito utilizado em instrumentos ópticos porque a reflexão é melhor do que a de um espelho plano, que pode oxidar. O ângulo de refração é maior que o ângulo limite e por isso sempre oferece reflexão total (...).*

Prisma de Porro, em que ocorrem duas reflexões totais internas.

Prof. B: *(...) nesse prisma o raio retorna pelo mesmo lado em que incidiu (...)*

Aluno 5: *A Física é uma loucura, a gente perde a noção do mundo...*

A fala do aluno 5 não foi uma crítica. Foi antes uma manifestação quase emocionada da beleza que ele parecia vislumbrar na Física. A aula encerrou nesse clima.

As aulas 34 e 35 ocorreram em 27/06/08. Devido às ausências observadas na aula anterior, motivadas pelas intensas chuvas que atingiram a cidade, o professor permitiu que os alunos que não tinham feito a AP fizessem-na nesse dia. A aula foi atípica. Ele fez nova revisão da Termodinâmica e depois da Óptica, ao mesmo tempo em que parte da turma respondia à avaliação (AP).

Uma aluna afirmou que a AP estava difícil e pediu para que pudessem resolvê-la em duplas. O professor consentiu e limitou o tempo em 25 minutos, sob o protesto dos colegas que tinham feito a avaliação individualmente. O professor brincou e disse que reclamações deveriam ser feitas na Diretoria. Os alunos riram descansados, sabiam que havia naquela estratégia alguma intenção. E havia. O professor informou que não levaria em conta o número de acertos (ou de erros) obtidos na AP e que atribuiria um ponto para todos, por terem respondido a avaliação. Motivo: o desempenho não tinha sido considerado bom.

Foi possível perceber na expressão dos alunos um misto de alívio e preocupação. As APs tinham a função de acompanhar o desenvolvimento do ensino e aprendizagem dos alunos e um rendimento abaixo do esperado tinha um significado maior do que uma simples nota ruim, indicava que eles não estavam devidamente preparados para a prova, ainda que garantir um ponto fosse, como eles mesmos afirmaram, *sempre bom*.

O professor repassou a Termodinâmica: leis, tipos de transformações, energia, trabalho, calor, máquinas térmicas, etc. Os alunos participaram ativamente da revisão, procurando sanar as dúvidas que tiveram na AP.

Resolveu a questão 1 da AP. Desenhou o gráfico no qual um ciclo fechado em forma de triângulo retângulo era mostrado.

Prof. B: *O trabalho do ciclo é dado pela área do triângulo. Ora, o que é um ciclo? É uma ida e volta. Qual é a variação de energia interna? É zero ($\Delta U=0$). Uma volta completa, um ciclo, não envolve variação de energia interna. Logo, $\Delta U=Q-\tau=0$. Isto respondia a primeira pergunta da questão 1 da AP. Ainda temos que $Q=n.c_p.\Delta T$, onde c_p é calor específico a pressão constante; e $Q=n.c_v.\Delta T$, e c_v é calor específico a volume constante. Se tivermos uma isoterma na curva que liga dois pontos do gráfico P XV...*

Aluno 1: *Por que isoterma? Como o Senhor sabe disso?*

Prof. B: *Porque no gráfico apresentado pode-se ver que tanto pressão quanto volume variam, mas variam de forma proporcional, tal que o produto é constante e isso é uma transformação isotérmica. Pedia-se “qual a relação entre as temperaturas”? Ora, se estou numa isoterma qual a relação entre T_1 e T_2 ?*

Aluno 2: *São iguais.*

O Prof. B pediu o livro de texto emprestado a um aluno e seguiu a revisão na mesma ordem dos capítulos.

Prof. B: *(...) o rendimento de uma máquina térmica também é dado por $\eta=1-Q_2/Q_1$. O que é importante saber é que Q_2 é a fonte fria e Q_1 é fonte quente. O calor fornecido é energia e implica em temperatura, ou medida da agitação térmica das moléculas. Posso também calcular $\eta=1-T_2/T_1$ (...).*

Percebe-se que aqui, na revisão, o Prof. B referiu-se à energia interna como a *medida da agitação térmica das moléculas*. Tinha-se a impressão de que alguns conceitos físicos eram óbvios para o professor e que, possivelmente, ele supunha ser assim também para os alunos. Mas as coisas não eram tão simples assim. Interagir com o livro de texto e resolver exercícios pareciam não ser suficientes para que a Física fizesse sentido para todos os alunos daquele grupo.

Depois de vários exercícios resolvidos o sinal sonoro indicou final do primeiro período. O professor recolheu as APs e voltou a frisar que não corrigiria as questões. Permanecemos na sala. Esses momentos eram sempre boas oportunidades para conversar e ouvir os alunos. Vários nos procuraram para discutir as questões da AP. Sabiam exatamente onde tinham errado. Estavam decepcionados. A questão 1 envolvia alguns conhecimentos que não estavam explícitos no livro: por exemplo, deveriam saber que um ciclo completo não envolvia variação da energia interna do sistema. Alguns pareciam não acreditar que lhes tinha escapado isso.

Não tivemos acesso às respostas dos alunos na AP, mas ao que parecia, a derrocada não era total, estava centrada na questão 1, o que fazia supor que a decisão do professor de não corrigir as APs era muito mais uma estratégia para forçar os alunos a estudarem e se prepararem melhor para a prova bimestral. Ele próprio (o Prof. B.) afirmou que o conteúdo era extenso e a prova, que envolvia todo o conteúdo do bimestre, exigia muito estudo.

O início do segundo período marcou também o início do fim das aulas do primeiro semestre, já que na aula seguinte haveria prova (AE). Fizemos uma combinação com o Prof. B e os alunos para que chegassem 10 minutos antes da prova na aula seguinte e respondessem um pequeno questionário sobre concepções epistemológicas. Houve acordo e consenso.

A revisão continuou: rendimento, máquinas térmicas de ciclo fechado, 3ª lei da Termodinâmica, entropia, etc.

Prof. B: *No motor do automóvel ocorre troca de calor que é transformado em trabalho (...), no refrigerador temos que exercer trabalho sobre o sistema e ocorre transformação de trabalho em calor.*

Como de costume, as respostas do professor não deixavam margem para discussões prolongadas e o Prof. B seguiu com a revisão e passou para a Óptica Geométrica.

Prof. B: *(...) o que é luz? É onda (...) a luz é semelhante a uma onda de rádio, às microondas, etc.. Qual é a diferença? É a frequência.*

Aluno 3: *E o raio gama, qual a diferença?*

Prof. B: *Raio gama é de altíssima energia. Pode atravessar até o chumbo. Mas isso é matéria do 3º ano. Vamos seguir. Quais são os princípios da Óptica Geométrica?*

Alunos: *1) a propagação é retilínea; 2) os raios são independentes e 3) reversibilidade dos raios (...).*

A turma estava especialmente silenciosa em mais uma manhã fria e chuvosa de inverno. Mesmo assim, os alunos respondiam com precisão quando incitados pelo professor. O Prof. B. fazia uso de pequenos trocadilhos para tentar “pegar” os alunos. Buscava mantê-los participantes na revisão que tinha que ser rápida e abrangente. Desenhou dois espelhos côncavos de faces opostas, dando a impressão de que um deles era convexo. Indicou eixo, foco, centro no primeiro e perguntou como deveria proceder com o segundo espelho. Os alunos estavam atentos.

Aluno 4: *É côncavo também!*

Aluno 5: *No convexo o raio de curvatura está atrás do espelho...*

Aluno 12: *O segundo também é côncavo só está virado em relação ao primeiro.*

Prof. B: (...) *Só queria testar se estavam atentos. (...). No espelho côncavo a imagem pode ser menor, igual ou maior, mas no convexo sempre será menor, direita e virtual.*

Essa foi basicamente uma aula de revisão teórica e não incluiu resolução de exercícios. Os alunos perguntavam, examinavam o livro, se deparavam com diferentes aspectos e dúvidas e perguntavam novamente. Às vezes era uma troca de idéias, outras eram dúvidas isoladas. Os alunos estavam concentrados e pareciam querer tirar o máximo de proveito das explicações do professor como preparação para a prova. A aula transcorreu nesse ritmo.

As aulas 36 e 37, em 01/07/08, foram destinadas à prova bimestral. Conforme combinado, os alunos compareceram 10 minutos antes do horário habitual e foram cedidos mais 10 min pelo professor, para responderem a um pequeno questionário sobre concepções epistemológicas que preparamos, cujo resultado será tratado no Capítulo 9 desta tese. Foi um dia de despedidas. Ao que parecia, tínhamos conseguido conquistar a amizade de muitos daquele grupo de alunos.

A prova seguiu o padrão das APs, porém mais abrangente e aprofundada, contendo exercícios trabalhosos e que exigiam bom nível de conhecimento. Nada diferente do que os alunos estavam acostumados.

Não houve reprovações naquele semestre e também não houve avaliações abaixo da média. Parecia um indício de que as coisas evoluíam como o esperado pela escola, pelo Prof. B e pelos próprios alunos.

7.4 Alguns achados do Estudo de Caso com o Professor B (Estudo IV)

Esta descrição, bastante detalhada é marcada por longas transcrições de falas do Prof. B, buscando mostrar como a vida naquele cotidiano e a movimentação dos atores sociais girava em torno do discurso do professor. Através de aulas objetivas, bem dimensionadas, cunhadas pelo rigor e precisão na resolução de exercícios, privilegiando o formulismo ao aspecto conceitual, as explicações do Prof. B não deixavam de ser interessantes e eficazes. O bom rendimento dos alunos atestava isso.

Entremeadas por brincadeiras e um jeito divertido de ser, as aulas do Prof. B eram, na verdade, preleções buscando esclarecer a realidade fisicamente. Os conteúdos eram apresentados de forma quase cronometrada objetivando cumprir um extenso programa, eram revisitados, exercitados e novamente revisados. Era uma estratégia baseada em aulas expositivas, acompanhadas pelos alunos através do livro de texto, e na resolução de exercícios, conduzida pelo professor com a participação dos alunos e sempre acrescida de novos comentários e esclarecimentos do professor. Por essa razão nós classificamos essa dinâmica, tipicamente, de aula do tipo tradicional. A elevada capacidade técnica, o domínio dos conteúdos e a grande experiência de sala de aula do Prof. B driblavam a monotonia e faziam a diferença.

Incorporar em suas estratégias o exercício do pensamento e da reflexão crítica, que sempre se constituem em desafio, não era o forte do Prof. B. Cremos que ao se incluir como um dos objetivos do ensino escolar o esclarecimento da natureza da ciência e de como a comunidade de físicos explica os diferentes aspectos da realidade física não significa, necessariamente, negar aos estudantes espaço para a cultura crítica, mas contrariamente pode incentivá-la. É nesse sentido que a exploração de algumas visões contemporâneas sobre a natureza da ciência pode ser uma via capaz de oferecer essas oportunidades. Todavia, não era isso que se observava naquela escola.

O foco do Prof. B não era ensinar a Física discutindo a natureza do conhecimento científico ou as controvérsias envolvidas nesse processo, mas sim, focava a transmissão aos alunos do conhecimento já produzido. Freire e Shor (2006, p.18) afirmam que, em geral, *reduzimos o ato de conhecer do conhecimento existente a uma mera transferência do conhecimento existente*. Essa dicotomia, não há como negar, foi bastante visível neste estudo de caso.

O Prof. B deixava transparecer, no seu discurso, uma crença profunda na “autoridade” da Física enquanto ciência objetiva e produtora de um conhecimento inquestionável, porque *derivado da observação e experimentação*. Por várias vezes ele fez esse tipo de afirmação de forma explícita. A esse tipo de postura Chalmers (1999, p.23/35) chama de *empirista-indutivista*, porque acredita que a ciência começa com a observação, faz afirmações consideradas verdadeiras sobre o mundo, utiliza a lógica indutiva para justificar afirmações universais e, uma vez obtidas as teorias universais, delas derivam-se consequências que

servem como previsões. Trata-se de uma visão da natureza da ciência superada pelo debate epistemológico das últimas décadas.

Mas se o Prof. B não tinha concepções epistemológicas alinhadas às visões contemporâneas sobre a natureza da ciência, como então ele conduzia suas aulas com relação a essas questões? Em que medida essa lacuna afetava as aulas do Prof. B?

As aulas do Prof. B não contemplavam discussões, explicações, debates ou questionamentos do ponto de vista epistemológico. Mas esta é uma resposta simples demais para a complexidade da situação de ensino, o que nos remete a uma discussão um pouco mais aprofunda em que pelo menos três diferentes aspectos podem ser discutidos: os objetivos das aulas; as questões epistemológicas; e a qualificação e o interesse dos alunos.

Com relação ao objetivo principal das aulas do Prof. B, e também da escola, pareceu claramente centrado na preparação dos alunos para os exames vestibulares e para tal, no cumprimento do conteúdo programado e na aquisição de habilidades para resolver exercícios. A descrição do cotidiano da sala de aula mostrou que os alunos não se limitavam a ouvir e copiar notas de aula e exercícios resolvidos ao estilo de uma educação acumulativa, “bancária”, em que se faz diariamente pequenos depósitos de conhecimento na mente dos estudantes. Os alunos ouviam as explicações, acompanhavam pelo livro de texto, mas também eram incitados a responder e a perguntar. Ao mesmo tempo em que recebiam explicações, tinham que participar ativamente respondendo aos pequenos e frequentes desafios, ou trocadilhos, do Prof. B. Podiam também interromper a qualquer tempo as explicações, buscando esclarecer suas dúvidas. Todavia, eram trocas localizadas buscando promover o domínio do conhecimento estabelecido (aquele que estava sendo ensinado). Os alunos, de maneira geral, conseguiam acompanhar o raciocínio do professor bem como o desenvolvimento dos exercícios, e as frequentes avaliações (APs e AEs) forçavam-nos ao estudo. Assim, se o objetivo principal pode ser definido como um ensino de Física voltado para o vestibular, não nos ficaram dúvidas de que ele era plenamente alcançado. O bom rendimento dos alunos nas avaliações indicava isso. Do ponto de vista de enfoques teóricos ao ensino, a abordagem do Prof. B enquadrar-se-ia plenamente no enfoque comportamentalista skinneriano.

Relativamente às VECs, pode-se afirmar que, de fato, não eram abordadas nas aulas do Prof. B. Os princípios, leis e teorias da Física não eram objeto de questionamento, pois eram tomadas como verdades; e o processo de produção do conhecimento científico, a lógica, a validade, as controvérsias, também não eram abordadas. Além disso, sempre que ocorriam, as discussões eram breves, normalmente ceifadas pelo fator tempo. Raramente se estabeleciam diálogos ou debates em que idéias ou significados pudessem ser negociados e resultassem em reflexões críticas. Dessa forma, a questão da mudança epistemológica era minimizada, ou até mesmo estava ausente nas estratégias didáticas do Prof. B.

Não é possível afirmar, todavia, que a ausência dessas discussões sobre a natureza da ciência de forma explícita comprometesse a eficácia das aulas e afetasse o interesse dos alunos. De fato, o rendimento era bom dado o padrão de avaliações e de conteúdo programático adotado pela escola, ou seja, era cobrado aquilo que era ensinado. Uma filosofia bem comportamentalista, mas que não nos autoriza a dizer que se o Prof. B tivesse concepções epistemológicas alinhadas às visões contemporâneas suas aulas teriam tido significativas melhoras. Como já dissemos, o Prof. B fazia uso de outros artifícios para tornar suas aulas atrativas e eficazes, ou seja, sabia usar estímulos e reforços positivos, que somados à qualificação dos estudantes, resultavam num ensino de Física de bom nível, na óptica behaviorista.

É bem verdade que se percebia uma tendência para a memorização de fórmulas e de problemas-padrão. Mas, várias teorias de aprendizagem contemporâneas (Ausubel, 1978; Novak, 1981 *apud* Moreira, 1999) consideram que a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa não são dicotômicas. O que se pôde inferir da observação participante daquela realidade escolar é que tudo começava com a aprendizagem mecânica, mas o estudo individual, as consultas extraclasse e a grande quantidade de resoluções de exercícios, acompanhadas de novas explicações e esclarecimentos, sempre em grande grupo e de forma clara, talvez acabassem resultando em aprendizagem significativa para vários alunos daquele grupo.

Havia paradoxos, como já referido, pois enquanto parte da turma dizia ter paixão pela Física, alguns tinham aversão à disciplina. Estes precisavam intensificar os estudos, ou como eles próprios diziam, *estudavam em dobro*. Todavia, supor que a introdução de

discussões epistemológicas, com base nas VECs, pudesse mudar esse cenário, funcionar como fator de motivação ou incitar a paixão pela Física, seria mera especulação.

O que se pode afirmar é que ensinar Física como um conjunto de respostas certas, leis inquestionáveis, truques intelectuais, formulas a decorar, explicações corretas é obscurecer sua face mais bonita: a Física como uma construção humana. Um fantástico e consistente edifício intelectual que vem sendo construído pelo homem e cujos resultados tecnológicos não deixam dúvidas sobre sua capacidade explicativa e exuberante aplicabilidade. Uma construção inacabada, simplesmente porque não existem perguntas finais. Reconhecer a natureza da Física, das leis e teorias, sob a óptica das visões epistemológicas contemporâneas é, no mínimo, mais humano e mais condizente com a Física como ela é.

Com relação à qualificação e interesse dos alunos há que se levar em conta que, como foi dito, eles tinham excelente cultura geral, demonstravam motivação por leitura, informação, cultura, meio ambiente, progressos da ciência nos seus diversos campos e, via de regra, conversavam sobre essas questões nos pequenos intervalos e fora da sala de aula. Por isso, pareciam ter elevado amadurecimento e bom nível de cultural. Desta maneira, também não é possível afirmar que a lacuna deixada pela falta de discussões mais participativas, quer conceituais ou epistemológicas, pautadas nas VECs, resultasse numa educação menos interessante e eficaz.

Também aqui, o que se pode dizer é que fosse a natureza da Física apresentada sob o enfoque da Filosofia da Ciência contemporânea, talvez pudesse oferecer terreno fértil para a reflexão crítica dos estudantes, justamente por sua qualificação e bom nível cultural e motivacional.

Não dá para perder de vista que essas características eram daquela realidade particular, daquele cenário, daquela escola. Por tudo o que foi descrito neste estudo de caso etnográfico, pode-se depreender que essa escola militar se constitui numa realidade diferenciada e os achados aqui discutidos não podem ser extrapolados para outros tipos de escolas. O que se busca em um estudo deste tipo é chegar a uma compreensão descritiva contextualizada do caso em pauta.

Também é notável, e merece ser destacado, que a convivência social e as relações alunos-professor naquela escola eram marcadas por respeito, disciplina, organização, formalidades e um bom nível de comprometimento do Prof. B e dos alunos. Em nenhum momento, durante os meses da observação participante, presenciamos qualquer incidente, por menor que fosse, e que tivesse levado o professor a tomar medidas disciplinares ou causado alguma situação de *stress*. Tudo ali parecia seguir um padrão previsível.

Além do nível de conhecimentos, os estudantes pareciam ter excelente nível sócio-econômico. Tinham acesso a fontes de informação, estavam sempre bem informados dos acontecimentos globais, tinham bons conhecimentos de informática, filosofia, artes e muitos dominavam bem duas ou mais línguas. Não havia dúvidas de que o rigoroso sistema de seleção para ingresso à escola militar tinha forte relação com esse panorama. É preciso ter boas condições sócio-econômicas para suportar todo o investimento preparatório para a prova de seleção. As poucas vagas anuais são disputadas por centenas de candidatos que passam por uma meticulosa preparação, que envolve uma longa e árdua rotina de estudos, escolas particulares e cursos preparatórios especializados. O resultado desse processo é previsível: entram os melhores e de mais equilibrada condição sócio-econômica, ideais para uma organização behaviorista do ensino.

Descrito desta forma pode parecer que aquela turma foi um nicho especialmente escolhido para a realização da observação participante. Um pouco de contextualização, de conversas na escola, com alunos egressos e com professores, rapidamente desfaz essa impressão errônea. Ficamos convencidos de que não apenas aquela turma, mas o nível em geral dos alunos da escola militar segue o mesmo padrão. Poder-se-ia dizer que, em geral, eram alunos cujo rendimento não necessariamente estava atrelado ao professor. Andavam por si próprios, uma vez que os objetivos eram clara e previamente definidos pelo sistema.

Uma realidade escolar inserida num sistema que privilegia a boa organização administrativa, pedagógica, de planejamento, acompanhamento do ensino e a disciplina, e que tem garantido o sucesso da escola militar tornando-a, sem dúvida, uma escola diferenciada.

Por tudo isso, nosso problema de pesquisa se responde por si. As visões epistemológicas contemporâneas ou VECs, que o Prof. B não dominava e conseqüentemente delas não

fazia uso, pareciam não ser significativamente contundentes, ou pelo menos, impeditivas para que ocorresse um bom nível no ensino da Física, desde que avaliado de uma perspectiva de domínio, em boa parte mecânico, do conteúdo.

Capítulo 8

ESTUDO V: ESTUDO DE CASO COM UMA PROFESSORA DE FÍSICA DE UMA ESCOLA PÚBLICA

8.1 A professora, a escola e do público alvo

Este estudo de caso foi realizado em uma escola pública de Ensino Médio de Porto Alegre. A escola, uma das maiores da rede pública do Estado do Rio Grande do Sul, atende aproximadamente 3,5 mil alunos nos turnos da manhã, tarde e noite e fica localizada numa região central da capital gaúcha. Cercada por um vasto e arborizado pátio, ocupa um prédio monumental com salas amplas e bem distribuídas ao longo de corredores que se cruzam, se afastam e voltam e se encontram nas tramas de uma notável arquitetura. O prédio, todavia, bem como suas instalações, é mal conservado e beira ao abandono.

A observação participante se deu nas aulas de Física de uma turma de 3º ano do Ensino Médio do turno da manhã, no 2º semestre do ano letivo de 2008, período de agosto a dezembro, compreendendo 49 horas-aula. A turma, originalmente com 37 alunos, tinha três aulas de Física semanais com duração de 50 minutos cada hora-aula, sendo: duas aulas consecutivas nas terças-feiras e uma aula nas quintas-feiras. Após dois meses de observação participante houve mudança de horário e a turma passou a ter uma aula nas terças-feiras e duas consecutivas nas quintas-feiras.

A professora de Física, que neste estudo chamamos de Prof. C, tem Licenciatura em Física pela UFRGS. Durante a graduação, concluída havia 10 anos, a Prof. C não cursou disciplinas de Epistemologia, ou similar, mas cursou uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física no Mestrado Profissional em Ensino de Física da UFRGS. É professora concursada e estava naquela escola havia 9 anos, tendo lecionado durante os primeiros anos também em uma escola particular de Porto Alegre. Demonstra preocupação com sua formação continuada e retorna constantemente à universidade para participar de atividades na área: encontros, minicursos, palestras, etc.. Num desses minicursos, exatamente sobre Epistemologia no Ensino de Física, em que tínhamos sido docente coadjuvante, no ano anterior ao estudo de caso, reencontramos a Prof. C, ex-colega de graduação, oportunidade em que ela mostrou ter conhecimento de um leque de visões epistemológicas

contemporâneas e pareceu perceber nelas oportunidades de melhoria de suas práticas docentes. Foi nessa perspectiva que recaiu nossa escolha para a realização do estudo de caso. Ainda que não tivéssemos preciso conhecimento das concepções epistemológicas da Prof. C, pareceu-nos uma escolha adequada pelo interesse que ela demonstrava e por ter cursado disciplina similar àquela do Estudo II, que compõe esta tese.

8.2 O objetivo

Nosso objetivo neste estudo de caso etnográfico foi realizar uma descrição compreensiva do cotidiano de uma escola pública, buscando cobrir, com isso, os diferentes tipos de escolas de Ensino Médio de Porto Alegre. Além disso, buscamos identificar as concepções epistemológicas da Prof. C, que sugeriam ser alinhadas às VECs, e as possíveis relações dessas visões sobre natureza da ciência e as estratégias didáticas por ela utilizadas no processo de ensino e aprendizagem de Física.

8.3 O cotidiano da sala de aula de uma escola pública de Ensino Médio

A observação participante teve início em 26/08/08, após algumas semanas de entrevistas com a direção e orientação pedagógica da escola com o fim de obter autorização para a pesquisa. No início das duas primeiras aulas vieram também algumas surpresas. Uma sequência inusitada de eventos: 1º) chegamos em frente à sala no segundo andar do prédio principal, em companhia da professora, e encontramos a porta fechada e a Prof. C ficou sem saber se entrava e interrompia uma prova que os alunos realizavam, participando das Olimpíadas de Matemática. Na dúvida, como o horário era de Física, bateu à porta e entrou; 2º) uma orientadora pedagógica chegou avisando que haveria reunião geral dos professores naquela manhã, às 11:00 hs (em pleno horário de aula, salienta-se); 3º) os alunos, que seriam dispensados 10 minutos antes do horário marcado, vibraram com a notícia; 4º) a Prof. C se disse surpresa, pois não tinha sido avisada da reunião (um sintoma de falta de organização).

Dessa forma, naquela terça-feira em que a aula deveria ter começado às 10:05 hs, mas que teve início efetivamente às 10:20 hs em função das Olimpíadas de Matemática, e em que deveriam ter dois períodos consecutivos de Física, um deles seria suspenso e os alunos

sentiam-se, ao que parecia, premiados com isso. Some-se a isso a confusão inicial, dado que vários alunos continuaram resolvendo a prova em outra sala, acompanhando a professora de Matemática, enquanto alguns poucos permaneceram na aula de Física, de forma que a Prof. C precisou consultar a orientação pedagógica para uma decisão final sobre dar, ou não, aula naquele dia. Houve aula.

A Prof. C, finalmente, começou a aula colocando no quadro algumas informações:

“Bom dia! Revisar para a prova (de 9 de setembro) os seguintes itens: campo elétrico; potencial elétrico; introdução à eletrodinâmica; corrente elétrica. Prova (valendo): 4 pontos, com 10 questões, sem consulta”.

Solicitou que os alunos copiassem. Era surpreendente que a Prof. C começasse sua aula escrevendo um cumprimento (*Bom dia!*). Como veremos ao longo desta descrição interpretativa, isso se repetia todos os inícios de aula. Era mais do que um cumprimento. Tinha o sentido de alcançar uma comunicação com os estudantes. Voltaremos a essas questões.

A turma era de 3º ano do Ensino Médio e o conteúdo em estudo era Eletricidade (Eletrostática e Eletrodinâmica). A faixa etária dos alunos era heterogênea, oscilava entre 17 e 20 anos. Um indicativo de repetências, ao que parecia.

A sala de aula era ampla, poderia acomodar com tranquilidade entre 35 a 40 alunos, mas se encontrava em péssimas condições de conservação: classes e cadeiras envelhecidas, riscadas, sujas, sem pintura e lixo espalhado pelo chão empoeirado. A Prof. C procurou modificar esse panorama: abriu as janelas para arejar, enfileirou as classes e deu à sala um aspecto mais ordenado. Fez a chamada pelo nome. Apenas sete alunos estavam presentes e a decisão da Prof. C foi compreensível.

Prof. C: *Vamos fazer exercícios. Não vou dar matéria nova para não prejudicar os colegas.*

Os alunos foram incentivados a resolver alguns exercícios de uma lista previamente entregue pela professora. Não se mostravam animados. Naquela fria manhã de agosto, a sala semivazia logo ficou gelada. Perguntamos a uma aluna ao nosso lado e ela confirmou que a turma tinha originalmente em torno de 37 alunos, mas que *muitos costumam faltar e*

alguns pediram transferência para outras escolas ou para outros turnos. Agora sobraram menos de 30, disse ela.

Isso se encaixava bem com o resultado de uma conversa que tínhamos tido naquela manhã com um professor de Física de 1º ano do Ensino Médio daquela escola. Ele se dizia preocupado com *um sério esvaziamento da escola*. Perguntamos por quê? *Os alunos, em geral, vêm da periferia, têm problemas de várias ordens, às vezes não conseguem pagar o transporte e acabam abandonando a escola*, afirmou. Era fácil de perceber pelas características pessoais, pelo vestuário e pela linguagem falada que aquela escola atendia pessoas de classes trabalhadoras menos favorecidas economicamente, excluídas, ou dominadas, se preferirmos.

Os alunos tentaram resolver um ou outro exercício. Pareciam alheios, desinteressados ou tinham dificuldades de compreensão, não sabíamos definir com precisão. Percebendo que não havia avanços, a professora sugeriu que resolvessem em grupo, mas os grupos não se formaram. Apenas duas alunas trabalharam em dupla. A professora circulava pela sala tentando ajudar os alunos de forma individualizada, em suas classes.

Aluno 2: *Professora, não tenho a folha com as fórmulas...*

Prof. C.: *Você tem as fórmulas no caderno.*

Aluno 3: *Não sei fazer!*

Prof. C: *O que você não sabe?*

Aluno 3: *Nada. Não sei fazer nada!*

Sob esse tipo de argumentos a Prof. C deu uma pequena explicação e acabou escrevendo as principais fórmulas no quadro: $E=F/q$; $E=k.Q/d^2$; $F=m.a=m.g$.

Prof. C: *Se tenho uma carga elétrica num campo elétrico e ela está em equilíbrio então $F_r=0$, ou seja, $m.a=0$, logo, $a=0$; mas não podemos afirmar se ela está parada ou em MRU...*

A aula, de apenas 30 minutos, terminou sem que a professora resolvesse qualquer exercício no quadro. Não foi possível saber quantos exercícios os alunos tinham conseguido resolver, nem se as resoluções estavam adequadas. Ficamos com a impressão de que os

alunos também tinham essa mesma sensação. Mostravam-se inseguros com relação ao que tinham feito. Poder-se-ia dizer que a aula foi, de todo, improdutiva.

A aula 3, em 29/08/08, começou com 5 minutos de atraso. A turma estava barulhenta e a sala de aula absolutamente desorganizada e suja. Os alunos demoraram alguns minutos para ocuparem seus lugares enquanto a professora organizava as classes e arejava a sala. Ela teve dificuldades para minimizar a conversa intensa. Solicitou que um aluno de outra turma que tocava um violão se retirasse da aula. Ele atendeu e saiu.

Começou fazendo a chamada pelo nome. Vinte e quatro alunos estavam em aula. Dois colegas chegaram atrasados, fazendo barulho e voltando a tumultuar o ambiente. Foi necessária nova rodada de negociações para diminuir o nível de conversas. Por fim, a Prof. C pareceu ter desistido de um embate direto e, em silêncio, passou a escrever no quadro:

“Bom dia! Objetivo de hoje: resolução de alguns problemas/exercícios da lista como preparação para a prova”.

Prof. C: *Quais foram as questões em que vocês tiveram mais dificuldades?*

Aluno 1: *Todas!*

Prof. C: *Todas não! Vamos resolver as mais difíceis, por exemplo, a 5 e 6.*

Uma aluna pediu para sair. Alegou que não tinha dificuldades com o conteúdo. A Prof. C concordou e concedeu essa mesma liberdade para todos os que assim o desejassem. Ao todo, seis retiraram-se. Um dos alunos que permaneceram em aula fez um comentário, que pela entonação expressava um misto de alívio e desaprovação.

Aluno 2: *Eles têm mesmo que sair, não se interessam por nada!*

Os alunos tinham, ao que parecia, diferentes discursos dependendo da situação. Quando cobrados usavam uma linguagem defensiva, fechavam-se em torno de um “não sabemos fazer”. Quando lhes era dada liberdade de escolha abriam a retaguarda, eram menos defensivos, enquanto alguns usufruíam da liberdade podendo escolher ficar, ou não, em aula outros faziam críticas (e autocríticas) oportunas. Faziam também algumas manobras concessivas. Por exemplo, nesse momento um aluno se prontificou para ler e resolver no

quadro o exercício 5 da lista: uma carga de $-3 \cdot 10^{-6}$ C era submetida a uma força de 9 N. Perguntava-se qual o campo elétrico a que estava sujeita? O aluno resolveu de forma concisa.

Aluno 3: $E = F/q = 9 \text{ N} / (3 \cdot 10^{-6} \text{ C}) = 3 \cdot 10^6 \text{ N/C}$.

Tão simples quanto isso. O problema como se pode ver era uma aplicação direta da fórmula. O Aluno 3 limitou-se a escrever os cálculos, sem explicar, e indicou a resposta utilizando corretamente potência de 10. Mas houve discordâncias.

Aluno 4: *É de menos ou de mais o sinal do expoente?*

A professora não respondeu. Houve discussões e por fim, um pedido.

Aluno 5: *Professora, por que você não resolve?*

Prof. C: *É positivo. Isso vem da Matemática. Não é Física. Se no denominador o expoente é negativo ele passa para o numerador com sinal trocado (...).*

A professora circulava pela sala, auxiliando e procurando atender a chamados individuais. Essa parecia ser sua sistemática. Porém, assim agindo ela enfrentava algumas dificuldades, pois nem todos eram atendidos. A demanda era grande. Alguns alunos queriam confirmar as respostas, outros esclarecer dúvidas e outros ainda queriam as respostas dos exercícios.

O Aluno 3 voltou ao quadro para resolver o exercício 6. Houve nova discussão sobre o sinal do expoente. Os alunos pareciam ter problemas com a potenciação, ou melhor, tinham habilidades matemáticas mínimas. A professora novamente precisou intervir.

Prof. C: *Vamos analisar... Temos potência de 10 com expoente negativo no numerador e com expoente positivo no denominador; a resposta que o colega obteve foi uma carga de $0,4 \cdot 10^{-6}$ C...pausa... tem potência de 10 com expoente negativo porque $E = 5 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ e a força é $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$...então fazendo $q = F/E = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. É isso...*

A professora refez os cálculos pausadamente. Parou. Refletiu em voz alta parecendo querer confirmar para si própria o que escrevia. Em dado momento pareceu hesitar. Foi o suficiente para que alguns alunos expressassem sua própria interpretação. Foi possível

ouvir comentários do tipo “*a professora às vezes se enrola toda...*”. Era como se ela tivesse dado sinais de insegurança, que não passaram despercebidos aos alunos.

A aula, de um só período, encerrou às 12:20 h com apenas dois exercícios resolvidos no quadro e em meio a muito ruído. A Prof. C concedia muito tempo para os alunos resolverem exercícios que poderiam ser rapidamente comentados e resolvidos e como era de se prever eles perdiam o foco, o interesse, e a aula ia passando, simplesmente passando. Novamente não foi possível avaliar quantos exercícios mais os alunos conseguiram resolver nessa aula. Pareceu não ter havido avanços significativos. A característica da professora de atender os alunos individualmente, nas suas classes, se por um lado estreitava os laços de amizade e camaradagem, aspecto que os alunos apreciavam na Prof. C, por outro, tornava as aulas improdutivas, não democratizava as dúvidas, não incitava as discussões de grande grupo e, ao mesmo tempo, favorecia enormemente a perda de controle. Faltava condução.

No início das aulas 4 e 5, em 02/09/08, uma professora da comissão de formatura pediu 10 minutos para que os alunos elegeassem o paraninfo da turma. Houve divergências na indicação dos nomes e foi preciso organizar uma votação. A Prof. C, que havia se retirado da sala para manter a neutralidade, foi eleita. Ao retornar à sala de aula foi recebida com aplausos. A sua maneira, aquela turma parecia ter um carinho especial pela Prof. C.

Como de costume, ela começou organizando a sala e escrevendo no quadro os avisos do dia. Havia muita conversa e como todos queriam se fazer ouvir era preciso falar quase aos gritos. Alguns circulavam pela sala, faziam pequenas brincadeiras, mas sempre havia aqueles que reprovavam a confusão intensa.

A Prof. C passou a escrever, em silêncio, um resumo do conteúdo que seria abordado na prova (marcada para 9 de setembro). Ela fazia uso constante dessa tática para implicitamente solicitar silêncio. Via de regra não funcionava.

Aluno 1: *Professora é para copiar?*

Prof. C: *Sim, devem copiar.*

Aluno 2: *Não é só para a gente relembrar?*

Prof. C: *Sim, mas é importante terem um esquema no caderno para servir de resumo para estudar...*

Passaram-se mais de 20 minutos até que, finalmente, os alunos começaram a copiar.

*“*Campo elétrico criado por uma carga elétrica:*

\longrightarrow $q+$. (linhas de campo apontam para fora)

\longleftarrow $q-$. Linhas de campo apontam para dentro)

Definição: $E=kQ/d^2$; $k=$ constante eletrostática, $9.10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$;

Força elétrica: se a carga for positiva F e E têm o mesmo sentido (...).”

Havia dois motivos, ao que parecia, porque a professora tinha a preocupação de escrever “tudo” no quadro: primeiro porque os alunos eram desorganizados e ela procurava se resguardar escrevendo em detalhe; segundo, porque a escola não adotava livro de texto, nem disponibilizava condições para que fossem preparados textos ou apostilas, de forma que o caderno era a única fonte de consulta para os alunos poderem estudar.

A professora concedeu alguns minutos mais para que copiassem. Sempre achamos que ela dava tempo demais para essas pequenas tarefas. Isso porque os dois ou três minutos que ela prometia se convertiam, via de regra, em oito ou dez minutos. Depois, pedindo silêncio, fez a chamada pelo nome. Havia 25 alunos na sala de aula. Observamos que era grande, de fato, o número de ausências. Em geral, mais de 30% do número original de alunos inscritos não assistia às aulas.

Prof. C: *Só para lembrarmos, se temos uma carga elétrica temos em torno dela um campo elétrico. Se a carga é positiva as linhas e campo são divergentes, apontam para fora; se a carga é negativa as linhas são para dentro. Podemos representar as linhas de força (fez um desenho) entre duas cargas (...). Podemos calcular o valor do campo num ponto qualquer do campo usando a expressão $E=kq/d^2$ bastando saber a distância do ponto à carga. Se a carga for positiva, a força e o campo têm o mesmo sentido. Mas, se a carga for negativa a força tem sentido oposto ao campo.*

Aluno 3: *Não entendi professora!*

A professora repetiu a explicação simulando os sentidos com as mãos.

Prof. C: *Se o campo de uma carga positiva aponta no sentido da janela, para que lado aponta a força elétrica?*

Aluno 3: *Para a janela também.*

Prof. C: *É isso. (...) vocês têm que saber para a prova.*

Era possível intuir que, de certo modo, aquele “não entendi” era mais que uma não compreensão literal, mas quase um pedido por uma explicação mais interativa, mais abrangente, mais participativa. As explicações da Prof. C eram segmentadas, não duravam mais do que alguns minutos. Em seguida ela interrompia e voltava a escrever no quadro.

“Trabalho de uma carga sob um campo de duas placas paralelas carregadas.

(...)

Exemplo: Um campo se deve à diferença de potencial entre duas placas V_A e V_B , que vale 2000 V, sendo que os pontos A e B estão a 12 cm entre si e a 3 cm e 5 cm, respectivamente, das placas. Calcule o campo entre as placas.”

Prof. C: *Para isso tomamos a diferença de potencial entre as placas $V_A - V_B = 2000$ V e usamos a fórmula $V_A - V_B = E \cdot d$; Daí $2000 \text{ V}/d = E$. Como $d = (3 + 12 + 5) \text{ cm} = 20 \text{ cm}$ (...) podemos usar a unidade em cm? Não. Temos que transformar para metros e então, $20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$, e ficamos com $E = 2000 \text{ V}/(0,2 \text{ m}) = 10.000 \text{ V/m}$. Não esqueçam de colocar as unidades...*

Aluno 4: *Não posso deixar indicado? Tenho que fazer as contas?*

Prof. C: *Tens que fazer os cálculos, só tem uma fórmula ...*

A professora escreveu o enunciado de dois outros exercícios semelhantes, resolveu, explicou e deu um tempo para copiarem. Sempre que isso acontecia o nível de conversas aumentava muito. Passou depois para um novo conceito.

Prof. C: *Vamos começar a ver corrente elétrica. O que vocês entendem por corrente elétrica?*

Aluno 5: *Que os elétrons correm todos na mesma direção.*

Aluno 6: *É o fluxo contínuo de elétrons.*

Prof. C: *Aqui na sala de aula há algum exemplo de corrente elétrica?*

Aluno 7: *Sim, porque a lâmpada está acesa.*

Prof. C: *Por que a lâmpada está acesa? (...). Vamos reduzir o problema a uma lâmpada de lanterna. De que precisamos para acender a lâmpada?*

Alunos: *Lâmpada; uma pilha; fios...*

A professora escreveu no quadro:

*“Bateria é a fonte de energia;
fios condutores, conduzem a energia;
lâmpada: transforma energia elétrica em energia luminosa e térmica;
interruptor serve para interromper a condução a energia elétrica”*

Prof. C: *Se eu deixar o interruptor aberto há circulação de energia? (...), O colega falou em fluxo de elétrons que circulam dentro dos fios. Que elétrons são estes?*

Aluno 8: *São diferentes...*

Prof. C: *Por quê?*

Não houve respostas.

Prof. C: *Chamamos de corrente elétrica ao movimento ordenado de portadores de carga elétrica devido ao campo elétrico estabelecido... temos um fio, que é de metal. Neste fio temos átomos. Os átomos têm prótons, elétrons e nêutrons. Quais destes se movimentam?*

Alunos: *O elétrons!*

Prof. C: *(...) Os elétrons livres é que são os portadores de carga. (...). Por hoje é só.*

Fizemos uma longa transcrição de conversas que marcaram a introdução do conceito de corrente elétrica porque foi um momento de bom nível de envolvimento e motivação dos alunos. Era possível ver isso no tom de voz, na intensa participação e na alegria com que se expressavam. Mesmo sob um ruído de fundo que se manteve até o final, a abordagem foi bem conduzida e a aula pareceu proveitosa.

Freire e Shor (2006) ensinam que a *motivação intrínseca* está na relação dos alunos com a matéria e nas relações sociais em classe. Esse era um aspecto positivo da Prof. C, ela sempre estava disposta a ouvir. Mas não era suficiente ouvir, era preciso criar um terreno linguístico que incitasse e ao mesmo tempo conduzisse a discussão sobre o objeto de estudo. A dificuldade residia nesse ponto. As discussões, em geral, perdiam o foco no objeto de estudo porque, como já foi dito, ela desperdiçava momentos promissores em nome de conversas e atendimentos individuais. Essa estratégia não permitia que todos os alunos fossem atendidos, que todas as dúvidas fossem sanadas, que todas as curiosidades fossem exploradas. Por maior que fosse a boa vontade da professora ela não podia estar em vários lugares ao mesmo tempo. O que se observava é que a Prof. C raramente promovia discussões de grande grupo. Dessa forma, a troca de idéias e o aprofundamento dos temas

acabavam não acontecendo. Além disso, o tempo ia passando, o nível de conversas ia aumentando e, em suma, se perdia o momento.

Aula 6, em 04/09/08, foi uma antecipação do período de Física, porque faltou, nesse dia, o professor do 3º período. A Prof. C, que estava em aula com outra turma, enviou um resumo e alguns exercícios, que foram passados no quadro por uma colega de turma. O objetivo era que fizessem os exercícios, mas na prática os alunos foram saindo aos poucos. Não teriam mais aula naquele dia, menos ainda cobranças de qualquer ordem e foram se dispersando sem fazer as atividades.

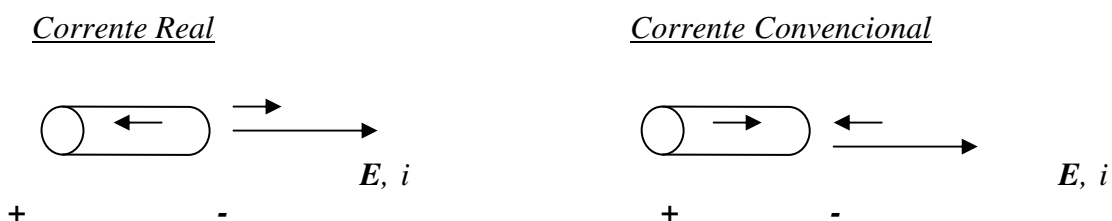
Aulas 7 e 8, em 09/09/08. A professora foi interpelada logo na chegada. Os alunos queriam saber se haveria prova. Ela informou que *não, porque temos assuntos para concluir*. Houve um princípio de discussão. Duas alunas insistiram, queriam prova. A maioria não.

Aluna 1: *Eu estudei, quero prova hoje. Mas já que não vai ter, eu quero sair (...)*.

A professora consentiu. Os colegas vibraram com sua saída. Era compreensível. Ela era uma espécie de líder natural e sua permanência em aula representaria uma constante ameaça de a Prof. C acabar cedendo e se decidindo pela prova. Depois de escrever os costumeiros avisos, a professora reescreveu o resumo passado, pela aluna e colega, na aula anterior.

“Corrente elétrica: é o movimento de cargas elétricas sob a ação de um campo elétrico. (...).

Obs. 1: A corrente convencional é equivalente à corrente real.



Obs. 2: Em nossas aulas iremos nos referir à corrente convencional...”.

Pensamos que ao introduzir o conceito de corrente elétrica, especialmente a corrente convencional, a Prof. C perdeu uma excelente oportunidade gerar uma discussão mais crítica e falar da natureza construtiva, inventiva da ciência.

Taber *et. al.* (2006) afirmam que o t3pico de Eletricidade oferece um consider3vel desafio ao professor porque *os conceitos usados para fazer sentido em circuitos el3tricos s3o abstratos e os estudantes s3o exigidos a dar significado a modelos conceituais de rela33es entre quantidades n3o-observ3veis (corrente, tens3o, resist3ncia) em termos de outros n3o-observ3veis tais como energia e el3trons*. Asseveram esses autores que os professores que introduzem as id3ias de Eletricidade a estudantes secund3rios necessitam encontrar formas de seduzir os aprendizes para uma compreens3o em n3vel teor3tico tanto quanto em n3vel fenomenol3gico.

No enfrentamento desse desafio 3 que n3s acreditamos que uma discuss3o epistemol3gica bem conduzida poderia ter auxiliado.

Cabe abordar o que entendemos por “discuss3o epistemol3gica bem conduzida”. Pelo que nos foi poss3vel perceber incursionando nas diversas escolas, os alunos de Ensino M3dio, em geral, t3m uma no33o que pode ser considerada ing3nua sobre o trabalho dos cientistas e acreditam numa ci3ncia coroada por uma aura de “algo extraordin3rio”, que “tudo pode”. Por isso 3 t3o importante destacar a natureza construtiva da ci3ncia, o papel das idealiza33es ou modelos, por exemplo, para explicar a realidade (modelos que n3o podem ser confundidos com a realidade); alertar para o complexo processo de constru33o dos fatos cient3ficos, as controv3rsias envolvidas e a depend3ncia de certos fen3menos com rela33o ao instrumental, principalmente na F3sica Contempor3nea.

Em um microestudo etnogr3fico realizado num laborat3rio de neuroendocrinologia, Latour e Woolgar (1997) afirmam que a vida cotidiana do pesquisador no laborat3rio sofre abundante interfer3ncia de fatores sociais; muitas vezes, as discuss3es informais s3o mat3ria-prima para as id3ias e processos de pensamento individuais (op. cit., p. 185). N3s obtivemos alguns resultados semelhantes numa observa33o etnogr3fica em um moderno laborat3rio de F3sica, o Laborat3rio de Supercondutividade e Magnetismo (Massoni, 2009). Se, contudo, as opera33es de discuss3o de resultados e negocia33o de significados s3o importantes para o cientista experimental, no laborat3rio, elas n3o s3o menos importantes para o cientista teor3tico. No seu gabinete, o teor3tico constroi, modifica, amplia, faz, enfim, in3meras opera33es racionais em busca de consist3ncia teor3tica e matem3tica das conjeturas cient3ficas, que, invariavelmente, passam pela cr3tica dos pares. N3o 3 em

vão que a ciência se caracteriza por ser uma construção (uma malha linguística) rigorosa e pública.

Alertar para essa complexa rede de negociações de enunciados, de hipóteses alternativas, de escolhas e decisões que interligam teoria e experimentação, cujo resultado é, muitas vezes, a construção de novas teorias aceitas provisoriamente, é importante para poder passar aos alunos uma idéia mais realista das ciências e ao mesmo tempo criar oportunidades para a reflexão. Nesse sentido, conduzir adequadamente um debate epistemológico significa criar o conflito, quebrar mitos, tentar mostrar o lado “humano” da ciência, procurar incitar a discussão porque ela parece um bom caminho para a reflexão crítica tanto sobre o processo quanto com respeito à importância que a ciência assume no progresso e na vida das pessoas.

A Prof. C não explorou esses aspectos epistemológicos. Todavia, ela compensou fazendo nesse dia uma pequena demonstração, que os alunos apreciaram muito. Estavam presentes 21 estudantes naquela aula.

Prof. C: Esta é a última parte da matéria antes da prova e para ilustrar eu trouxe uma surpresa: um pequeno circuito elétrico: duas pilhas, lâmpadas, fios, interruptor e contatos metálicos. Vamos montar...

A Prof. C montou o circuito, conectou os fios, colocou as pilhas, a lâmpada e o interruptor.

Prof. C: Por que a lâmpada não acende? O que vocês acham?

Aluno 3: O interruptor está desligado.

Aluno 4: A lâmpada está queimada.

Aluno 5: Tem que inverter os fios nas pilhas.

Aluno 6: As pilhas estão fracas.

Aluna 7: Por vontade divina, a gente tem que levar em conta também questões religiosas...

Passou a escrever no quadro a relação de hipóteses levantadas pelos alunos. Talvez para que eles próprios avaliassem a consistência das mesmas. Talvez uma forma implícita de abordar a natureza tentativa da ciência. Quem sabe?

Prof. C: (...) *a coisa mais simples é ligar o interruptor. (...) a luminosidade está fraca. Lembrem que discutimos que é necessário um circuito e uma fonte. Tem algo aqui dentro. São cargas que agora estão em movimento ordenado... é a corrente elétrica. No nosso corpo também há cargas, no cérebro ocorrem descargas elétricas (...)*

Aluno 8: *As cargas ficam paradas em algum lugar no fio? Elas param quando o interruptor é desligado?*

Prof. C: *No momento em que o interruptor é desligado vai desordenar tudo.*

Foi uma resposta pouco esclarecedora. Faltou, ao que pareceu, explorar melhor os aspectos conceituais do modelo de condução nos metais: os arranjos de caroços iônicos – ou redes cristalinas - imersos num “gás” de elétrons de valência; a livre movimentação dos elétrons através da rede no volume do metal. A Prof. C não fez referência a esse modelo.

Aluno 9: *Professora o que acontece se encostamos positivo com positivo das pilhas e ligamos a lâmpada?*

Prof. C: *Vamos tentar?*

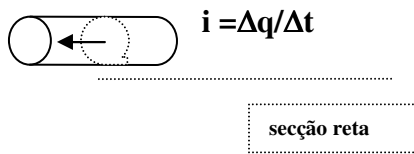
Fez a demonstração e a lâmpada não acendeu.

Prof. C: *Ocorre que não acontece movimento ordenado de cargas.*

Foi possível ver nas expressões dos alunos que a demonstração do circuito simples gerou motivação, incitou perguntas, curiosidades, dúvidas. Os alunos mostraram-se mais interessados, levantaram questões, tentaram explicar fazendo crer que havia esperanças de se chegar a uma aprendizagem significativa. Vale destacar que a professora gostava do ensino experimental, tinha sido encarregada do laboratório de Física da escola por alguns anos, e fazia as demonstrações com segurança maior do que as aulas expositivas que ela dava. Ao contrário, havia momentos em suas exposições orais e mesmo na explicação de exercícios em que, como já foi dito, ela parecia demonstrar insegurança. Seria essa uma das causas do desinteresse e desmotivação dos alunos? Se essa puder ser computada como uma das causas, ela certamente não é a única.

Como já foi informado, a escola não adotava livro ou apostila, o que forçava a professora a escrever no quadro definições e resumos para que os alunos tivessem material para consulta.

“Intensidade de corrente é a razão entre a quantidade de carga que atravessa a secção reta do condutor em um dado intervalo de tempo.



No Sistema Internacional a unidade de corrente é o Coulomb por segundo. Chamamos esta unidade de “Ampère”, [1 C/1 s] = [1 A]. (...)”

Aluno 13: *Ah! Professora escreve direitinho ... o que é “C” e “s”?*

Prof. C: *“C” é a carga elétrica em Coulomb e “s” é o tempo, em segundos. Podemos imaginar que se cortarmos o fio e que pela secção reta está passando elétrons (...).*

Este fragmento de diálogo faz supor que alguns sequer reconheciam as unidades de algumas grandezas físicas fundamentais estudadas até então.

Na sequência, a professora passou alguns exercícios de aplicação direta da expressão da corrente elétrica. Deu um tempo para resolverem. Restabeleceram-se as conversas: carros, esportes, trabalhos e tarefas de outras disciplinas, combinações, programas de TV, etc.. Os assuntos eram variados. O assunto menos discutido era o conteúdo em pauta. Era assim toda vez que a Prof. C cedia um tempo, geralmente longo demais, para que tentassem resolver. A professora circulava pela sala de aula. Pedia. Incentivava a resolver. Às vezes, seduzida pelos alunos acabava participando de algumas conversas.

Por fim, pediu que um aluno resolvesse no quadro. Houve as costumeiras discordâncias. Muitos alunos tinham dificuldades básicas com a Matemática: não sabiam, por exemplo, usar regra de três, fazer operações, usar e reconhecer as propriedades da potenciação. Quando incitados a raciocinar davam respostas evasivas demais para serem citadas.

Aluno 10: *Não estou a fim de raciocinar. Eu vou ser músico e não preciso disso...*

Prof. C: *Você está enganado. Você já visitou a Faculdade de Música para ver quanta Física temos lá?(...).*

Fim de aula.

Nesse dia tivemos oportunidade de dialogar com duas estagiárias de Psicologia que faziam uma investigação na escola buscando identificar as causas da elevada evasão. Elas trabalhavam com algumas hipóteses: a evasão estava, aparentemente, associada à falta de perspectivas dos alunos, a maioria oriunda da periferia; jovens que carregavam a marca da exclusão social, que tinham problemas econômicos, familiares, sociais, não tinham como objetivo o vestibular, mas tão somente concluir o Ensino Médio para ingressar no mercado de trabalho. Isso parecia estar em sintonia com algumas vozes de diferentes atores sociais, que se ouvia na escola, em especial de professores: conjecturavam que embora a escola estivesse localizada numa região central de Porto Alegre, a maioria dos alunos vinha das periferias porque *a classe média da redondeza dá um jeito de colocar seus filhos em escolas particulares; sobra para a escola pública o povo pobre da periferia*. Sempre achamos que cabia uma pergunta: alunos pobres não podem aprender?

A aula 9, em 11/09/08, foi uma aula de exercícios. Começou tumultuada, num dia chuvoso de inverno. Em geral, a professora iniciava escrevendo no quadro e gastava longos minutos para estabelecer um patamar mínimo de ordem na sala para que fosse possível dar aula.

Prof. C: *Por favor façam silêncio e sentem em seus lugares.*

Aluna 1: *Um dia vou embora desta sala e vocês vão sentir saudades...*

Prof. C: *Vejo apenas um aluno copiando.*

Aluna 2: *Professora, não seja injusta, eu levantei cedo só para assistir tua aula. Por mais que eu não entenda Física eu te considero!*

Aluno 3: *É professora, este é o último período e a sala está cheia só por tua causa!*

Aluno 4: *É que você pede para a gente fazer silêncio com sorriso no rosto, as outras gritam...*

Várias vezes refletimos sobre essas questões. Talvez o jeito de ser da professora, de circular pela sala, atender individualmente, de dar atenção se traduzisse numa forma de carinho que preenchia certa carência dos alunos. A fala do aluno 4 é autoexplicativa nesse sentido. Outras vezes, parecia mais uma estratégia experta dos alunos para ganhar tempo (ou, deixar o tempo fluir livremente). De qualquer forma, podia-se perceber nas falas e expressões dos alunos um sentimento afetuoso para com a professora e isso parecia sincero. Ira Shor (Freire e Shor, 2006, p. 33) ao falar de suas experiências como professor

afirma que *quando os estudantes falavam, para mim ou para os outros, sobre a sua realidade, eles se tornavam muito mais animados. (...) O crescimento de sua instrução não podia ser subtraído do contato crítico dos temas de seu mundo.* Nesse sentido, a Prof. C era aberta ao diálogo e à realidade dos alunos e disso decorria o carinho que eles manifestavam por ela.

Foram passados dois exercícios. A aula teve a duração efetiva de 25 minutos, por dois motivos: primeiro porque começou com atraso, segundo porque deveria se estender até as 12h20min as, mas encerrou às 12h00min h, por pura pressão dos alunos que pouco a pouco foram levantando, passando na mesa da professora para garantir presença e foram saindo, sob o pretexto de que tinham que ir para o trabalho. Cumpre esclarecer que vários estudantes daquela turma realizavam estágios remunerados em empresas.

A Prof. C pediu que fizessem os exercícios em casa. Fez um breve relato do número de aulas que a turma já tinha perdido, e avisou que a aula seguinte estava suspensa por motivo de paralisação dos professores, em luta salarial. Pelo mesmo motivo, adiou a prova para a aula subsequente. Uma voz solitária da professora, porque os alunos não pareciam preocupados.

Aulas 10 e 11, em 16/09/08, foram suspensas por motivo de paralisação dos professores. Mais uma vez a turma ficou sem aula. Com tempo reduzido para cobrir o conteúdo, o programa de aulas da Prof. C ia ficando seriamente comprometido.

Aula 12, em 18/09/08 foi nova antecipação de período por falta de professor. A professora passou uma folha contendo seis (6) exercícios que deveriam resolver parcialmente naquela aula e depois entregar. Na aula seguinte a lista seria devolvida para sua conclusão e entrega definitiva. A tarefa substituiria a prova (inicialmente marcada para o dia 09 de setembro) e seria realizada em duplas.

Inicialmente organizaram-se as duplas, mas mesmo assim havia dificuldades que pareciam intransponíveis. De nada adiantava consultar o caderno. Os alunos não liam, caminhavam sobre as palavras e quando encontravam fórmulas não sabiam onde utilizá-las porque não faziam conexão entre o texto que liam e o enunciado dos exercícios. Mas numa turma de mais de vinte alunos sempre há alguns que andam por si. Eram estes que trabalhavam. Na

prática o que ocorreu foi um trabalho (um aglomerado) de grande grupo. Quem sabia ensinava ou passava a solução aos demais.

Foi difícil avaliar quem realmente contribuiu e quem simplesmente se limitou a copiar. Algumas duplas pareciam mais comprometidas e entregaram conforme o combinado. A professora, que atendia simultaneamente duas turmas por falta de professor, fez o que pode para estar em aula, procurou auxiliar dando dicas, mas não as respostas.

Ficou-nos a impressão de que a tarefa serviu tão somente para cumprir as formalidades de avaliação escrita. Alguns alunos ficaram além do horário, desejavam saber sua situação, discutiram com a professora estratégias para alcançar os pontos necessários para a aprovação. Pediram mais uma oportunidade para entregar um trabalho anterior que não tinham feito. A professora acabou cedendo. Ela, em geral, cedia.

As aulas 13 e 14, em 23/09/08, tiveram um início menos agitado. A professora avisou que continuariam a tarefa iniciada na aula anterior, que substituiria a prova. Distribuiu a mesma folha de questões, parcialmente resolvida.

O nível de conversas foi aumentando à medida que os alunos foram se reunindo para a resolução dos exercícios. A professora insistia para que trabalhassem. Quatro alunos chegaram atrasados, fazendo algazarra. A Prof. C limitou em um período o tempo para a conclusão da tarefa. O nível de conversas não diminuía. A professora não teve domínio da turma e o ambiente se tornou aos poucos absolutamente inadequado para um mínimo de concentração. Conversas, chamados pela professora, reclamações, pedidos de socorro. A Prof. C experimentou grande *stress* nesse dia para tentar controlar a situação.

Já comentamos que a estratégia da Prof. C de atender os alunos nas suas classes, de não esclarecer as dúvidas mais comuns em grande grupo parecia não funcionar convenientemente. A professora não dava conta dos chamados. Sobravam reclamações daqueles que não eram atendidos.

Aluna 1: *Professora tu não me ouves (...).*

Prof. C: *Vocês não conseguem pensar neste barulho. Vocês discutem tudo o que é assunto, tudo ao mesmo tempo. Nessas condições o cérebro não funciona (...).*

Novamente, a tarefa que começou em duplas acabou em grande grupo. Quem sabia dava pequenas explicações e tentava auxiliar aos colegas. Era possível ver o esforço de alguns, procurando trabalhar, sistematizar, avaliar as respostas, assim como, o descaso e o desinteresse de outros. O que parecia estar por trás daquele cenário caótico era a falta de rigor. O rigor da comunicação capaz de explicar, dialogar, discutir, ouvir, cobrar e assim provocar os alunos a participarem, a assumirem sua parcela de responsabilidade no aprendizado. O rigor da competência técnica de que o professor não pode abrir mão no seu trabalho docente e que garante a força moral para coordenar as atividades em sala de aula. O rigor, como bem adverte Freire (2009), não se confunde com autoritarismo, mas confere um clima de respeito que nasce de relações justas, generosas, sérias e dialogadas em sala de aula.

Um grupo ao nosso lado discutia.

Aluno 2: Se tem um milhão de elétrons e a carga de cada elétron é $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, então tem que multiplicar por um milhão para saber a carga total.

Aluno 3: Você tem certeza?

Aluno 2: É claro!

Aluno 4: O que é um milhão? É 10 na (potência) 6 ou 9?

Aluno 2: A professora não quer só a resposta. Ela quer o cálculo. Tem que usar a fórmula $\Delta q = n \cdot e$ (...).

Aluno 5: Professora o que é “n”?

Prof. C: É o nº de elétrons. Vocês têm isso no caderno bem explicado.

Aluno 5: É que para mim Física é grego ...

Quando não se compreende, não se conhece e não se gosta. A cena se repetia. Folheavam o caderno buscando inspiração nas fórmulas e nos exemplos resolvidos em aula. Mas era tarde demais. Era dia de prova (ou pelo menos, dia de tarefa que substituiria a prova). Afora alguns poucos, a falta de familiaridade com o conteúdo dava sinais de que sequer tinham folheado o caderno antes da prova. Como já dissemos, mesmo quando encontravam as fórmulas não conseguiam interpretar os enunciados, não sabiam o significado das variáveis e não conseguiam resolver com autonomia. A situação era desconcertante. Afirmar que os alunos não tinham domínio mínimo dos conceitos da Eletricidade não seria, provavelmente, nenhum exagero.

Um dos exercícios solicitava que calculassem a carga total que atravessava a secção reta de um fio condutor por um período de uma hora (C/h), dada a corrente no SI.

As perguntas que se ouviam eram quase elementares.

Aluno 6: *O que é o “h”?*

Aluno 7: *Tem que transformar (...), então tem que multiplicar por 60 (segundos)?*

Prof. C: *Não sei, qual é a unidade que vocês querem? Minuto ou segundo?*

Atrapalhados e inseguros, os alunos pareciam ter uma dependência umbilical com relação à professora. Ela era solicitada a cada instante, nos diferentes pontos da sala de aula e ao mesmo tempo.

O resultado final foi o de sempre: aqueles que tinham melhores habilidades matemáticas e algum domínio dos conceitos acabaram resolvendo e os demais copiando. A professora aparentemente não se incomodava com isso e recolheu igualmente os trabalhos de todos os alunos. A tarefa acabou ocupando os dois períodos de aula.

Na saída procuramos dialogar com alguns alunos que nos acompanhavam.

Pesquisadora: *Na realidade, vocês estudaram para esta prova?*

Aluno 8: *Eu não estudei. Qual prova? Esta? Não estudei...*

Aluno 9: *Eu estou fazendo um curso de eletrônica. Mas lá tudo é diferente, eu não entendo deste jeito...*

Aluno 10: *Eu tenho que trabalhar, se eu ficar estudando vou ser demitido (...).*

Aluno 11: *Eu não entendo isso. Nada disso. É muito difícil. A professora não explica direito.*

Aluno 12: *Pra que serve isso tudo?...*

Saímos daquela aula nos perguntando até que ponto tudo o que tínhamos visto e ouvido parecia dar sinais de que aquela escola pública assumia, em alguns momentos, um caráter desconcertante. Ainda não tínhamos respostas para essas questões.

A aula 15, em 25/09/08, foi dedicada à correção da lista de exercícios que tinha sido entregue pelos alunos e que se constituiu na prova de recuperação do segundo trimestre. Alguns exercícios foram resolvidos, nesse dia, passo a passo para que os alunos

visualizassem “*como se faz*”, no dizer da Prof. C. A professora, ao que parecia, estava preocupada com o mau desempenho dos alunos na aula anterior e propôs-se a fazer uma aula intensiva de resolução dos exercícios e de esclarecimento de dúvidas. Transcorreu com normalidade e com a apatia que era usual para grande parte daquele grupo, como se dissessem *agora já era!* Aqueles que aproveitaram para fazer perguntas eram, em geral, os mesmos de sempre, ou seja, aqueles que tinham trabalhado nas aulas anteriores.

Na décima sexta e décima sétima aula, em 30/09/08, houve conselho de classe e os alunos foram dispensados por decisão da escola.

Aula 18, em 02/10/08, nova antecipação de período, por falta de professor. Na verdade não houve aula. A Prof. C fez a entrega das provas e trabalhos já corrigidos. Houve discussões acerca das correções da última prova e alguns acertos nas notas finais do trimestre.

A professora informou que tinha corrigido centenas trabalhos e provas. Admitiu ter cometido alguns enganos e prontificou-se a rever os casos. Foi uma corrida à mesa da professora. Na ânsia de se fazer ouvir alguns alunos se agitavam muito.

Nesse dia presenciamos um acontecimento inesperado. Um aluno inconformado com a correção da sua prova, dizia-se injustiçado e teve uma reação hostil: aos gritos atirou a prova sobre a mesa da professora que, por sua vez, alterou o tom de voz e foi resoluta ao afirmar que não aceitava aquele tipo de comportamento. O aluno saiu descontrolado da sala de aula. Momentos antes do final da aula, quando a maioria já tinha saído e a Prof. C se preparava para fechar a sala, ele retornou ofensivo, fazendo ameaças. A professora tomada de susto tentou dialogar, propôs rever todas as questões se ele se comprometesse a não mais agir daquela forma. Mas o aluno se mostrava inconciliável. Agressivo, repetia as ameaças e levou a professora a um colapso nervoso. Criou-se uma situação complicada que mostrou a difícil posição do professor que, premido por baixos salários e condições logísticas precárias, precisa encontrar permanentemente coerência e equilíbrio para lidar com alunos algumas vezes revoltados, indisciplinados e outras, sem perspectivas, desanimados. Os alunos, por sua vez, vivendo em ambientes hostis, à margem da sociedade, muitas vezes não conseguiam senão reproduzir suas próprias angústias de forma agressiva. Os meandros das relações sociais daquela cultura escolar, em dados momentos, pareciam revelar faces imprevisíveis.

Não é nossa intenção tomar partido em qualquer dos lados daquele episódio, mas tentar mostrar que existem movimentos, interesses e preocupações que permeiam a sala de aula e que fogem ao contexto da própria sala de aula. Trazem à tona fatores sociais, familiares, psicológicos, econômicos, escolares e outros mais que se queira analisar e que afetam relações, comportamentos, atitudes, formas de raciocínio, de pensamento e a aprendizagem em si. A sala de aula parece reproduzir em escala a sociedade do seu tempo e espaço.

As duas aulas seguintes, 19 e 20, em 07/10/08 tiveram os desdobramentos do episódio da aula anterior. A Prof. C mostrava-se abalada e fez um relato do ocorrido para a turma, num dia em que o aluno em questão estava ausente. A professora disse que se sentia só, sem apoio das autoridades escolares, que entendiam que um pedido de desculpas por parte do aluno deveria encerrar o caso. A professora queria mais, não punições propriamente, mas mudanças de atitudes, do aluno e da escola. Essa era uma característica marcante na Prof. C, ela estava sempre imbuída do espírito de mudança. Talvez não conseguisse sistematizar sua própria disposição para as transformações que ela desejava.

A turma ouviu em silêncio, pela primeira vez desde que estávamos ali. Os alunos informaram que o colega tinha problemas e que seu comportamento era recorrente. Houve uma pequena discussão sobre o assunto.

Aluno 1: Ele tem problemas em casa...

Aluno 2: Ele até chorou para a professora de Química para aumentar sua nota...

Aluno 3: Ele não está bem.

Aluno 4: Seu problema são as companhias lá na vila...

Aluno 5: Nós não apoiamos essas atitudes e estamos com você professora...

Aluna 6: Eu quero mais é que ele saia desta turma!

Aluno 7: Também não é assim. Desse jeito ele vai ficar cada vez mais revoltado...

A turma procurou apoiar a professora. Não havia dúvidas de que eles reprovavam a atitude do colega, mas se percebia entre os alunos um sentimento de solidariedade para com ele. As falas dos alunos 3, 4 e 7 mostram bem isso. Não era simplesmente uma cumplicidade inconsequente, era sim a manifestação da linguagem dos semelhantes, daqueles que compreendem os problemas do seu próprio meio. Havia com relação ao episódio dois

discursos distintos: o da professora e o dos alunos. Eles reprovavam aquela atitude, porém numa dimensão defensiva porque tinham preocupação com o ser humano da realidade comum e que se mostrava emocionalmente não equilibrado. Eles pareciam entender bem a dimensão das ameaças pelas quais ele passava.

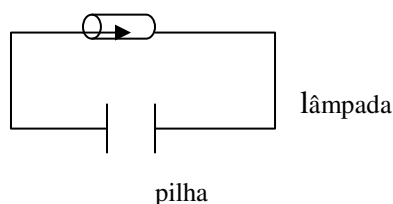
Cumprido comentar que o caso se encerrou com um pedido formal de desculpas e com a transferência do aluno e de sua namorada, que também era colega de turma, para o turno da noite.

Passados muitos minutos, a Prof. C passou à resolução de exercícios, em continuidade da aula anterior.

Observamos que a turma ficava bem mais silenciosa quando a professora resolvia de forma objetiva, desenhando e desenvolvendo os cálculos, sem dar o habitual “longo” tempo para que os alunos tentassem resolver sozinhos. Pareciam acompanhar os raciocínios da professora e arriscavam alguns palpites.

A aula foi marcada por interrupções: uma professora para dar um aviso, alguns alunos de outras turmas querendo negociar a entrega de trabalhos atrasados com a Prof. C, outros querendo falar com colegas da turma. Parecia não haver regras mínimas de organização e disciplina.

Na sequência, a professora desenhou um circuito elétrico.



Prof. C: *Atenção, vamos começar um assunto novo: resistência elétrica. (...) Lembrem que para acender a lâmpada é preciso termos uma pilha, fios, lâmpada. (...). Isso tudo é um modelo, não é que as coisas aconteçam assim, mas é apenas para vocês entenderem. Vamos imaginar que colocamos uma lente de aumento no fio. O que está acontecendo? A pilha serve para que?* (grifamos).

Aluno 1: *Para mover os elétrons.*

Prof. C: *Isso mesmo, a pilha faz fluir de forma ordenada os elétrons. Quando eles passam pela lâmpada o que acontece? Eles param?*

Aluno 1: *Não, continuam andando...*

Prof. C: *Isso. Continuam fluindo entre V_A e V_B . (...). E o que é a tal resistência? Vamos escrever (...).*

Nesse dia a Prof. C utilizou de forma explícita a noção de modelo científico e seu papel na simplificação da realidade, como se vê na sua fala. Mas o grupo não parecia motivado para esses questionamentos e reflexões e a iniciativa da professora passou em brancas nuvens.

Ter que escrever os conteúdos no quadro acabava por se transformar num problema porque interrompia toda uma sequência de explicações que prometia ser interessante e dispersava a atenção conquistada a duras penas.

“Quando uma corrente elétrica passa por um condutor sólido, no caso o fio condutor, um número muito grande de elétrons livres se desloca nesse condutor. Esses elétrons livres colidem entre si e também contra os átomos que formam o condutor. Devido a essas colisões, os elétrons livres encontram certa dificuldade para se deslocar, isto é, existe uma resistência à passagem da corrente elétrica.”

Desenhou fios de diferentes comprimentos e diferentes espessuras (fios A e B finos e de diferentes comprimentos, sendo o B mais longo; C e D, mesmo comprimento e diferentes espessuras, sendo o C mais grosso).

Prof. C: *Em qual destes fios vocês acham que há mais resistência?*

Aluno 1: *No B ... (o mais longo).*

Aluno 2: *No C ... (o de maior espessura).*

A Prof. C claramente desejava que intuissem que a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à espessura do fio. Não conseguiu.

Aluno 3: *Como assim professora? Não entendi esse negócio de diretamente proporcional...*

Prof. C: *Então vamos escrever. A resistência aumenta com o comprimento do fio (...) o fio mais comprido oferece mais dificuldade para os elétrons, mais colisões (...).*

Aluno 4: *Professora, estamos liberados desta aula?*

Prof. C: *Não. Vamos analisar a outra situação (...) o fio C tem maior secção transversal, e o D menor. Onde a resistência é maior?*

Aluno 4: *É no C ...*

Aluno 5: *No D é maior...*

Prof. C: *Tem que pensar aonde há maior dificuldade para passar...*

As explicações se repetiram. O jeito de explicar também. A compreensão parecia cada vez mais comprometida. Em dado momento a professora parou de súbito, parecia não encontrar as palavras certas para se fazer entender. Pedimos para intervir. A professora concordou. Fizemos um pequeno seminário. Retomamos a questão a partir da estrutura cristalina, do arranjo atômico, falamos das imperfeições da rede procurando associar a *resistência elétrica* às colisões dos elétrons com essas imperfeições e impurezas presentes na rede; do modelo de livre movimentação dos elétrons de valência dos metais (modelo do “gás de elétrons”) e da importância das idealizações para a compreensão na Física. Foram 20 minutos de intervenção para uma platéia absolutamente silenciosa e atenta. Foi o elemento surpresa? Talvez, porque desde que estávamos ali tinha sido nossa primeira intervenção. De qualquer forma, um breve intervalo de pura atenção. Absorver a atenção daquele grupo de alunos sempre dispersivos e alheios fazia supor que algumas mudanças de tática poderiam, quem sabe, reverter o quadro. Talvez houvesse esperanças. Fim de aula.

Aula 21, em 09/10/08, foi mais um dia de período antecipado. A professora não pode estar presente, pois estava em aula com outra turma. Os alunos receberam exercícios, como de costume. O mesmo tipo de exercícios, aqueles que eles alegavam não conseguir resolver. E como de costume, a turma se dispersou.

Aulas 22 e 23, em 14/10/08, aconteceram num dia chuvoso de primavera e a turma estava muito agitada. A professora começou escrevendo os avisos do dia, em silêncio, tentando atrair a atenção dos alunos. Não funcionou. Partiu então para outra tática.

Prof. C: *Hoje vamos corrigir os exercícios, os que mandei na última aula. Aqueles que tiverem concluído podem entregar, valendo um ponto.*

Aluno 1: *Eu não sabia que era para entregar...*

Prof. C: *Então vocês têm até o final da aula para concluir e entregar (...).*

Era uma estratégia para mobilizar os alunos e fazê-los trabalhar. Em seguida deu algumas informações sobre a composição da nota final, incluindo a recuperação, e fez a chamada pelo nome, quase aos gritos porque os alunos não escutavam em meio à conversa intensa. O tempo ia passando. Os alunos, que não tinham resolvido os exercícios na aula anterior, perceberam uma oportunidade de garantir um ponto extra e começaram a clamar por socorro.

Em meio à confusão, havia, como de costume, os que procuravam trabalhar, em geral sempre os mesmos. Era uma luta solitária para ativar o raciocínio, mas eles não reclamavam. Aparentemente estavam acostumados àquele ambiente. Os chamados, para pedir ajuda, pipocavam, eram muitos.

Aluno 2: *Professora, por favor, vem até aqui, não fuge da gente...*

Aluno 3: *Professora, eu chamei primeiro...*

A Prof. C procurava atender, e isso era reconhecido pelos alunos, mas via de regra, ela perdia o controle da situação, suas aulas tornavam-se pouco eficazes, e o avanço no conteúdo era lento. Era ensinado o mínimo. Um conceito de cada vez seguido de longas listas de exercícios, a maioria de aplicação direta das fórmulas, sendo que alguns exercícios diferiam entre si apenas no valor numérico das grandezas físicas envolvidas. Muitos assuntos como: geradores, Leis de Kirchhoff e principalmente o Eletromagnetismo iam ficando de lado.

As coisas iam tomando um rumo complicado. A dificuldade que os alunos tinham de se concentrar só era superada pela dificuldade de associar as fórmulas aos conceitos e enunciados dos problemas. A tarefa de resolução de exercícios carecia, ao que parecia, de discussão, de perguntas claras e explicações objetivas, de troca de idéias, de debate para que as dúvidas fossem supridas e para que tudo aquilo começasse a fazer sentido para os alunos.

Segundo Freire e Shor (2006, p.16) *estudantes desmotivados dentro da escola podem ter muita motivação fora dela. (...) encontram amplo espaço fora da escola e do lar para construir sua cultura subjetiva do sexo, da amizade, dos esportes, das drogas, da música e assim por diante.* Era tipicamente o que se observava, ou seja, todo tipo de assunto

animava-os menos a matéria de aula. A Prof. C tinha disposição, boa vontade e conseguia fazer uso do idioma dos estudantes, ela os entendia, mas faltava-lhe descobrir o perfil de motivação daquela turma. Quem sabe se a Eletricidade fosse explicada a partir dos instrumentos eletrônicos que eles mais apreciavam (celulares, aparelhos de som, etc.). Quem sabe discutir a imensa contribuição da Física no desenvolvimento daquela tecnologia e, como seria a vida sem os tão apreciados instrumentos. Talvez fosse uma alternativa. Quem sabe debater aspectos epistemológicos envolvidos na construção das teorias e suas controvérsias históricas. Em suma, refletir coletivamente, avançar no conteúdo, recuar toda vez que fosse necessário. Isso, no entanto, não foi percebido durante nossa estada ali.

Nesse dia a professora retomou a discussão sobre resistência elétrica e procurou avançar.

Prof. C: (...) *resistência tem a ver com a passagem da corrente elétrica através da rede cristalina. A rede não é tão perfeita, como vimos (...) O que a gente está fazendo aqui é um modelo, é um jeito de a gente desenhar. A resistência vai depender da diferença de potencial (...) a gente pode definir uma fórmula matemática para a resistência: $R=V/i$. (...). Podemos escrever $V= Ri$, que é a expressão conhecida como Lei de Ohm (...).*

Aluno 3: *O que é o V?*

Aluno 4: *É a diferença de potencial.*

Aluno 5: *O que significa R? É a resistência?*

Prof. C: *Isso mesmo (...). Estes conceitos são difíceis e se vocês continuarem conversando as notas da turma vai baixar.*

Aluno 6: *Esta é a melhor turma da escola (...).*

Pensamos que nesse momento faltou certa contextualização. O Aluno 4 (era um aluno que fazia curso técnico de eletrônica) estava correto ao afirmar que “V” representava a diferença de potencial entre as extremidades do condutor. Mas a Prof. C não esclareceu que o que deveria ser ΔV , por simplificação e seguindo a notação mais frequente utilizada pela comunidade científica, é representado apenas por V.

Quanto à afirmação do aluno 6, ela tinha sido trazida à discussão inúmeras vezes. Os estudantes eram sagazes na defesa de seus próprios interesses, pareciam convictos de que era importante reafirmar que aquela era a melhor turma de terceiro ano da escola. Havia seis turmas no turno da manhã. A professora concordava com essa assertiva. Afirmou-nos,

em uma conversa fora da sala de aula, que eles costumavam *trabalhar com seriedade*. Ficamos nos perguntando como seria então o rendimento das demais turmas?

Prof. C: (...) *se tenho um fio condutor, sua estrutura deve ser tal que eu possa ter o maior número de elétrons livres. Os elétrons distantes do núcleo são mais fáceis de ser liberados. A diferença entre um material isolante é que o condutor tem mais elétrons livres (...). A resistência depende do material de que é feito o resistor, do comprimento do condutor (...). Quanto maior a área da secção reta de condutores de mesmo comprimento menor é a resistência (...)* podemos escrever $R \propto l$ e $R \propto 1/A$.

A explicação era interrompida a todo momento: ora por conversas e ruídos em aula, ora porque a professora tinha de escrever no quadro, ora por perguntas. Não faltavam reclamações.

Aluno 7: *Só faltava isso, copiar duas vezes a mesma aula!*

Prof. C: *Estou tentando o melhor... preciso introduzir a Lei de Ohm.*

Aluno 8: *A gente ainda não entendeu o que é direta e inversamente proporcional.*

Prof. C: *O símbolo \propto significa proporcionalidade, significa que se o comprimento diminui então diminui também a resistência. Isto é diretamente proporcional. Ao contrário, $1/A$ significa que se a área da secção reta aumenta a resistência diminui. Se tomarmos o 2 e fizermos $2 \times 20 = 40$ vemos que aumenta, mas $1/2 \times 20 = 10$, diminui. Esta é a diferença entre ser direta ou inversamente proporcional (...).*

Aluno 8: *Entendi!*

Prof. C: (...) *temos que considerar que Ohm verificou experimentalmente que a resistência depende do material que o constitui e das suas dimensões (...). Assim, $R = \rho_o l/A$ (...) A unidade no Sistema Internacional é dada por $V/A = \text{Ohm } (\Omega)$.*

Aluno 9: *O que é essa ferradura?*

Prof. C: *Ω é uma letra grega que representa unidade de resistência ...em homenagem ao físico Georg Simon Ohm.*

Como se vê, os avanços eram lentos. A falta de material instrucional para consulta dificultava muito. Levava os alunos a fazerem todo tipo de perguntas, mesmo as mais elementares.

Na sequência, a professora escreveu um exercício.

Exercícios: 1) Quando a corrente elétrica atravessa o corpo humano ela provoca contrações musculares. É o que conhecemos como choque elétrico. O valor mínimo de corrente que consegue perceber é 1mA. O valor que pode ocasionar a morte é

10mA. Se uma pessoa leva um choque de uma rede com 200V, qual a resistência mínima para que ela não corra risco de vida?

A Prof. C concedeu o habitual tempo para resolução. Foi em vão. Não tinham idéia de como resolver. Ela resolveu, então, no quadro. Tentou chamar a atenção para a importância dessas questões na vida cotidiana: os perigos que a eletricidade representa para o corpo humano. Os alunos estavam mais preocupados com sinal sonoro. Fim de aula.

A aula 24, em 16/10/08, foi suspensa por motivo de paralisação dos professores.

A aula 25, em 21/10/08, começou mais silenciosa, com apenas 18 alunos. Parecia que aqueles comumente mais agitados estavam ausentes. Quatro alunos chegaram atrasados e entraram barulhentos fazendo com que o ritmo habitual fosse retomado.

A aula foi uma revisão de conteúdo para a primeira prova daquele trimestre (a prova anterior havia sido de recuperação do segundo trimestre) e incluiu: campo elétrico, linhas de campo, blindagem eletrostática e corrente elétrica.

Prof. C: (...). *O modelo que melhor explica a blindagem eletrostática é uma esfera carregada (...) se tomamos os pontos A no interior, B próximo da superfície externa e C afastado, onde o campo é maior?*

Aluno 1: *em C.*

Prof. C: *Onde o campo é maior?*

Aluno 2: *Em B.*

Aluno 3: *Em A.*

A situação estava mais para "chutes" do que para a concentração e reflexão sobre o assunto em pauta. Eram conteúdos já vistos, mas eles pareciam nunca ter ouvido falar naquilo. Foi assim durante toda a aula. E a professora voltou a falar modelos.

As aulas 26 e 27, em 21/10/08, foram dedicadas integralmente para a resolução da prova. Prova escrita com 12 questões. Aparentemente, a Prof. C mudara de tática e incluiu oito questões teóricas e 4 exercícios. Ela escreveu no quadro todas as fórmulas: $E=F/q$; $E=kQ/d^2$; $i=\Delta Q/\Delta t$; e $1\epsilon=1,6.10^{-19}C$. A turma se manteve em silêncio. À medida que terminavam podiam entregar a prova e se retirar. Não houve incidentes.

Na aula 28, em 28/10/08, apenas 14 alunos permaneceram em sala de aula para a correção da prova *como forma de revisão*, segundo a professora.

As questões eram lidas em voz alta, discutidas e respondidas.

Prof. C: (...) *na questão 2 bastava saber que de uma carga positiva saem linhas de força em direção à carga negativa (...) representamos no ponto P o campo elétrico por um vetor (...) paralelo à linha horizontal que liga as cargas. É alternativa correta é a (e).*

A aula fluiu nesse ritmo e foi uma das mais equilibradas a que tínhamos assistido naquele ambiente escolar. Ainda assim, havia aspectos conceituais equivocados: as linhas de campo não saem das cargas, mas tão somente são um recurso (uma invenção) para representar o campo elétrico. Mais uma vez a questão da construção das teorias.

Na correção de algumas questões houve perguntas focadas em aspectos conceituais e as respostas foram discutidas e adequadamente consensuadas entre alunos e professora. A turma estava especialmente calma e tudo levava a crer que tinham permanecido em aula os alunos mais interessados.

Por causa das intervenções a aula fluiu lenta e não foi possível concluir a correção de todas as questões da prova. Uma aula que não prometia muito, mas que se tornou interessante e fugiu ao padrão, devido aos questionamentos conceituais, ao debate e aos esclarecimentos da professora.

As aulas 29 e 30, em 30/10/08, tiveram início pontualmente às 7:30 h, corresponderam aos dois primeiros períodos, devido a mudanças dos horários do turno da manhã. A sala de aula suja e desorganizada dava mostras de que não havia limpeza entre um turno e outro, um sintoma de como as coisas andavam na escola. Também era possível observar que, com a proximidade do final do ano letivo, o número de alunos diminuía a cada dia.

Apesar de um aluno ao nosso lado informar que era normal no primeiro período ter um grande número de ausências porque muitos moravam longe e se atrasavam, havia outros aspectos relevantes associados a esse fato: a falta de organização, a flexibilidade excessiva

das regras, a fragilidade (ou permissividade) do sistema de avaliação, a falta de rigor técnico na prática escolar. Tudo isso desmotivava.

Depois de arrumar a sala e de escrever os habituais avisos, a professora informou que a aula seria uma continuação da *correção da prova*.

Prof. C: (...) *Na questão 7, usamos a expressão $i = \Delta Q / \Delta t$, pois sabemos que uma carga de 64C atravessa o fio em 4,0 s. A corrente é dada por $i = 64C / 4s = 16A$, alternativa correta é a b). Na questão 8 pede-se para calcular o n°. de elétrons que atravessa a secção reta do condutor. Como sabemos que $1e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ e que a carga total é 64 C, podemos resolver por regra de três e obtemos q*
1e - $1,6 \cdot 10^{-19}C$
 n_e - 64 C, assim, $n_e = 64C / 1,6 \cdot 10^{-19}C = 4,0 \cdot 10^{20}$ elétrons. Alternativa é a c).

A questão 9 mostrava um corpo condutor com uma ponta, ou seja, era sobre o poder das pontas como sendo terminais preferenciais para as descargas elétricas. No corpo estavam marcados três pontos, A, B e C, respectivamente, no interior, na superfície e sobre a ponta.

Prof. C: (...) *as cargas se distribuem na superfície do condutor não é isso? Lembrem que na Física a gente tenta simplificar ao máximo o fenômeno físico em estudo. Pensamos na massa, na força, no campo (...) a densidade que é $d = m/v$, é pensada como a quantidade de carga em substituição à massa. Então como o corpo não é uniforme, ele tem uma ponta por onde as cargas tendem a escapar, aqui tem maior concentração de cargas.*

Aluno 1: *Não estou entendendo professora. Explica tudo de novo.*

Aluno 2: *Por que no ponto C?*

Prof. C: *Onde as cargas se concentram para tentar escapar do material? Nas pontas. Por isso o pára-raios, usado para facilitar as descargas elétricas da atmosfera. Vocês vão ao cinema, quando o filme termina onde há maior concentração de pessoas? Na saída da sala. As cargas têm o mesmo comportamento.*

Aluno 3: *Mas no interior do material o campo é nulo, não é?*

Prof.: C: *Sim, e é por isso que a resposta certa é a alternativa (e). O campo elétrico é nulo no interior, é nulo em A.*

Essa questão foi particularmente interessante: primeiro porque a Prof. C destacou, mais uma vez, o importante papel das simplificações de que faz uso a Ciência; segundo porque foi bem explorada pela professora, que usou um raciocínio analógico para melhor fazer compreender a situação e acabou proporcionando trocas de idéias e algumas reflexões. Observamos que quando eram apresentadas situações diversificadas e desafiadoras para

explicar algum fenômeno físico interessante, os alunos acabavam respondendo positivamente. Tinham potencial, mas ele era mal aproveitado, ao que parecia.

As demais questões não apresentaram problemas significativos. Eram, em geral, exercícios de aplicação das fórmulas ou questões teóricas envolvendo princípios fundamentais da eletrostática e eletrodinâmica. Alguns alunos devolveram a prova para a professora fazer acertos na correção e na nota.

Prof. C: *Hoje ainda vamos revisar resistores e por favor copiem no caderno.*

“Lembrar:

Resistência elétrica: vimos que a resistência elétrica depende da diferença de potencial e da corrente elétrica. Podemos relacionar essas grandezas através da expressão $R=V/i$, onde a resistência é dada em ohms (Ω); V é a tensão elétrica e é dada em Volts (V), e a corrente elétrica em Ampère (A).

Vimos também que a resistência depende do material e se for um condutor metálico na forma de fios teremos a seguinte relação: $R=\rho.l/A$, depende do comprimento do fio e da área da secção reta, onde R é a resistência em ohms (Ω); l é o comprimento do fio em metros (m) e A é a área da secção reta, em metros quadrados (m^2) e ρ é a resistividade”.

Como se vê, a professora repetiu a definição passada em aulas anteriores e os alunos não se mostraram interessados, nem mesmo para copiar. Ademais, referiu-se a ρ como sendo a resistividade, mas não esclareceu que essa constante de proporcionalidade é diferente para diferentes materiais e, que a resistividade de um dado material pode não se manter constante, dependendo sobretudo da temperatura. As conversas aumentaram enquanto a professora escrevia no quadro. Ela insistiu para que copiassem e avisou que deixaria nova lista de exercícios no xérox da escola e também no seu endereço eletrônico. Começou escrevendo o primeiro exercício da lista e perguntou como deveria começá-lo.

Aluno 4: *É só pegar a fórmula a calcular...*

Prof. C: Qual fórmula?

Aluno 5: *Ah professora, dá a resposta!*

O lento avanço no conteúdo, a sistemática repetição e exercícios seguidos de tempo para resolverem parecia tornar as aulas enfadonhas. O resultado era quase sempre o mesmo: a

maioria alegava que não sabia resolver, mesmo em se tratando de exercícios simples de aplicação direta da fórmula $R=V/i$ e não investiam esforços procurando mudar aquele cenário.

A aula terminou nesse ritmo.

Aula 31, em 04/11/08, foi suspensa porque a turma estava em passeio fora da escola, com a professora de Biologia.

As aulas 32 e 33, em 06/11/08, ocorreram num dia chuvoso e com apenas 10 alunos em aula. Nesse dia, enquanto a professora, como de hábito, arrumava a sala um aluno surpreendeu.

Aluno 1: *Professora fala um pouco de capacitores!*

Prof. C: *Ah, muito bem! O que você quer saber?*

Aluno 1: *Tudo! O que são? Como funcionam?*

Prof. C: *Vou falar neles, mas antes vamos terminar resistores...*

O aluno 1, ao que parecia, tinha estado lendo sobre capacitores e desejava compreender melhor. Mas a resposta da professora foi evasiva. De fato, o assunto nunca foi retomado, nem para esclarecer as dúvidas do aluno, nem como continuação do conteúdo de aula.

Foi mais uma aula de exercícios. É apresentado, na sequência, um exemplo de exercício proposto nesse item, bem como um trecho de um diálogo da Prof. C com os alunos no decorrer da resolução do mesmo, buscando mostrar como era elementar o nível da abordagem.

“Medidas de intensidade de corrente, e tensão, foram realizadas por alunos em um laboratório. Os alunos mediram a corrente em dois condutores de metal diferentes, mantidos à mesma temperatura, encontrando os resultados da tabela. Nestas condições podiam afirmar que:

Condutor 1		Condutor 2	
I (A)	V(V)	I(A)	V(V)
0,5	2,18	0,5	3,18
1,0	4,36	1,0	4,36
2,0	8,72	2,0	6,32
4,0	17,44	4,0	1,72

- a) *ambos os condutores obedecem à Lei de Ohm;*
- b) *somente o condutor 1 obedece à Lei de Ohm;*
- c) *nenhum dos condutores obedece à Lei de Ohm;*
- d) *somente o condutor 2 obedece à Lei de Ohm”*

Prof. C: (...). *São chamados ôhmicos todos os resistores que obedecem a Lei de Ohm. Mantidos V e i, a resistência não varia (...). O que precisamos para resolver essa questão?*

Aluno 2: *A resposta é a (b) professora, mas não pergunta por quê?*

Prof. C: *Olhando para as tabelas vemos que para ser um resistor ôhmico a divisão V/i tem que dar uma constante. Temos que fazer as divisões: $R_1=2,18/0,5=4,36$; $8,72/2=4,36$; $4,36/1,0=4,36$ e $17,44/4,0=4,36$. Obtemos um valor constante.*

Aluno 3: *É sim. É uma constante.*

Prof. C: *Então o condutor 1 é ôhmico?*

Aluno 4: *É sim!*

Prof. C: *Porque a resistência é constante e igual a $4,36\Omega$, podemos dizer que é ôhmico. Agora vamos olhar o condutor 2: $V=3,18/0,5=6,36$; $4,36/1=4,36$. É necessário fazer o restante das contas?*

Aluno 5: *Não!*

Prof. C: *Isso mesmo, já podemos ver que a resistência não é constante (...) a resposta correta é a (b).*

Pareceu-nos importante que a professora esclarecesse que os resistores ôhmicos obedecem “aproximadamente” à Lei de Ohm. Que os valores experimentais (reais) não são, em geral, tão exatos quanto aqueles do exemplo. Mas a professora não enfatizou esses aspectos, como também não enfatizou que para que resistência (R) de um resistor seja constante, e a Lei de Ohm seja válida, a temperatura deve ser mantida constante.

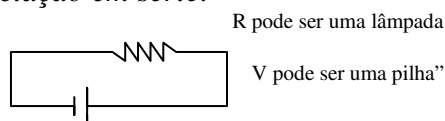
O silêncio incomum nesse dia fazia suspeitar sobre se, de fato, estavam entendendo. A professora resolveu perguntar. As respostas foram um “tudo bem”. Avançou então para “associação de resistores”.

“Introdução: Na prática, é comum precisarmos de um valor específico de resistência que não é encontrado em nenhum resistor comercializado. Assim, para obtermos esse valor associamos alguns resistores (...).

Basicamente as ligações de resistores são: em série, em paralelo, ou mista.

Qualquer que seja a associação, podemos substituí-la por um único resistor denominado resistor equivalente (...).

Associação em série:



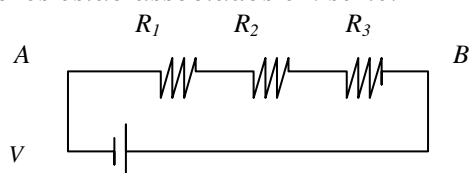
Prof. C: (...). *Se tomamos um circuito bem simples como uma pilha ligada a uma lâmpada, temos um circuito real. (...) substituímos este circuito real, por um modelo. No modelo a lâmpada é substituída pelo símbolo de um resistor e a pilha por uma ddp ou V. O que é uma associação em série? O que vocês conhecem de seriado na vida de vocês?*

Não houve respostas. Mas ficava claro que a questão dos modelos científicos tinha presença marcante nas falas da Prof. C. Ela fazia uso freqüente dessas idéias. Após uma pequena pausa a professora retomou.

Prof. C: *Por exemplo, aqui nesta escola vocês têm que fazer os 3 anos de Ensino Médio, uma sequência de 3 anos, um após o outro. Uma série é isto (...) uma sequência.*

A professora voltou a escrever:

“Associação em Série: quando associamos dois ou mais resistores um após o outro, de tal forma que a corrente tenha um único caminho a seguir, nessa situação os resistores estão associados em série.



A característica principal desta ligação é que a corrente elétrica é igual em qualquer parte do circuito e a tensão da associação está distribuída nos diferentes resistores.”

Aluno 6: *Professora a Sra. não acha que a aula de hoje foi pesada demais?*

Era paradoxal. Quando o avanço era lento havia uma visível sensação de desânimo e uma notável desmotivação, mas se a professora avançasse com o conteúdo havia reclamações, queixavam-se de que estava “pesado demais”. Ao sabor dessas oscilações e de uma frequente suspensão de aulas, por motivos variados como foi possível ver, é que as coisas iam mal.

A aula 34, em 11/11/08, começou tumultuada. A professora gastou vários minutos organizando classes e cadeiras e arejando a sala enquanto discutia com os alunos questões sobre uma nova chance de fazerem prova de recuperação do 2º trimestre.

Prof. C: *Esta é mais uma oportunidade que a escola está oferecendo para os alunos que não fizeram a prova no prazo...*

Aluno 1: *É só para quem não fez a recuperação?*

Prof. C: *Repito, é apenas para quem não fez a recuperação do 2º trimestre.*

Aluno 2: *Eu queria fazer só para melhorar a nota!*

Prof. C: *É apenas para quem não fez a recuperação (...).*

Houve algumas discussões. Era perceptível a falta de habilidade para receberem e acatarem determinações. Quase tudo era motivo de contestação. Ao que parecia, a escola tinha regras flexíveis demais ou os alunos estavam mal habituados. O resultado era uma sucessão de benesses que tornavam quase impossível o esforço de quem quer que fosse para ser reprovado.

A professora retomou a associação de resistores em série e passou alguns exemplos.

Prof. C: *(...) se tivermos resistores em série e uma ddp, então surge uma corrente que faz com que os resistores funcionem. Temos que $R_{eq}=R_1+R_2+\dots$; $i=i_1=i_2=\dots$; $V=V_1+V_2+\dots$; em nosso exemplo podemos calcular a resistência equivalente: $R_{eq}=R_1+R_2=2+6=8\Omega$. **A Física usa os modelos para simplificar as coisas e enxergar melhor.** Neste caso já temos a R_{eq} e podemos encontrar a corrente “i” usando a Lei de Ohm $i=2V/8\Omega=0,25A$. Quanto vale a corrente que passa sobre o resistor equivalente? (grifamos).*

Aluno 3: *Vale 0,25A.*

Prof. C: *E quanto vale i_1 e i_2 ?*

Aluno 4: *Também 0,25A.*

Prof. C: *Por quê?*

Aluno 4: *Porque i_1 e i_2 são iguais a i.*

As respostas pareciam satisfatórias. Mas se percebia que a Prof. C fazia, com frequência, certas confusões nas suas falas. Neste caso, referiu-se à expressão $i=V/R$ como sendo a Lei de Ohm, enquanto nas aulas 22 e 23, escreveu corretamente que: *podemos escrever $V=Ri$,*

que é a expressão conhecida como Lei de Ohm. Era a falta de rigor técnico, como já referimos em outras oportunidades.

Observamos também que as explicações rapidamente sofriam descontinuidades. A professora resolveu um exercício, interrompeu, e fez a chamada. Estavam presentes 18 alunos, ou seja, 50% do número original da turma. A professora mostrou-se surpresa.

Prof. C: *O que acontece com os colegas de vocês?*

Aluno 5: *Estão matando aula.*

Respostas desse tipo eram comuns. Outros motivos buscando justificar as ausências crescentes foram citados num pequeno debate que se seguiu entre alunos e professora: *eles moram longe; eles trabalham e ficam cansados; se atrasam no trânsito; têm dificuldades para vir...* . Iam-se perpetuando, assim, entre os diferentes atores sociais (alunos, professores, administradores da escola) algumas hipóteses como as que passamos a destacar: o tipo de público que a escola atendia era, basicamente, oriundo da periferia, de classes sociais menos favorecidas economicamente, enfrentavam dificuldades de várias ordens e não era incomum conviverem próximos da criminalidade, etc.. Isso, até certo ponto, parecia funcionar como justificção para as flexibilidades, as permissividades e o baixo nível de ensino da escola. Para se ter uma idéia de como a situação ia se avultando cita-se o fato, bastante comentado nos corredores da escola, de que numa daquelas manhãs de segunda feira um aluno (de outra turma) apareceu na sala de aula portando uma arma. Ele era menor de idade e por essa razão não houve desdobramentos mais significativos.

A Prof. C, por sua vez, novamente falava nos **modelos** utilizados na Física e surpreendeu, nesse dia, com um princípio de diálogo sobre questões epistemológicas, que se estendeu pelos minutos finais da aula.

Prof. C: *Como vocês acham que se chegou a todas essas leis?*

Aluno 4: *Foram anos de estudo. Foi o Ohm quem pensou nisso...*

Aluno 6: *Sei lá...*

Prof. C: *Para que tudo isso serve?*

Aluno 7: *Serve para a gente passar de ano...*

Prof. C: *Vocês nunca pararam para pensar nisso?*

Aluno 8: *Não!*

Prof. C: *Então comecem a pensar sobre isso. Tragam algumas respostas na próxima aula. Pensem como tema de casa...*

Aluno 9: *Vale nota professora?*

Não houve respostas. Ficou-nos a impressão de que essas questões foram rapidamente processadas como do tipo “conhecimentos irrelevantes”. Afinal um debate sobre Filosofia da Ciência exigiria alguma dose de reflexão e talvez fosse mais simples adotar uma postura como aquela sugerida pelo aluno 7, ou seja, saber manipular minimamente as fórmulas era suficiente para passar de ano. Era o bastante.

Fim de aula.

As aulas 35 e 36, em 13/11/08, começaram com atraso de 10 minutos e com somente 14 alunos em aula. A professora corrigiu um exercício passado na aula anterior.

Prof. C: *Vocês fizeram o exercício?*

Dois alunos disseram ter feito. Mas a professora aguardava que os demais respondessem. As justificativas não demoraram.

Aluno 1: *Eu tinha coisas mais importantes para fazer...*

Essas pequenas provocações eram tomadas pela Prof. C em tom de brincadeira e isso assegurava uma convivência pacífica em sala da aula. Se analisadas com maior profundidade, de uma perspectiva sociológica, elas surgiam de conversas quotidianas entre alunos e pareciam associadas a uma visão de mundo. O mundo subjetivo dos assuntos quotidianos, das amenidades, veiculados na televisão ou na internet; das “grandes” questões sobre futebol, que eram muito mais animadas do que a “difícil” tarefa de tentar compreender Física ou qualquer outro conhecimento. Havia exceções, sem dúvida. Uma delas é mostrada no seguinte trecho de diálogo.

Prof. C: *(...) se sabemos que a corrente é 6 A, então podemos calcular a tensão sobre R_1 , daí $V_1 = R_1 \cdot i = 2\Omega \cdot 6A = 12 V$. Também podemos descobrir V_2 (...) e i_1 e i_2 também valem 6 A, isso porque a corrente é a mesma em resistores em série.*

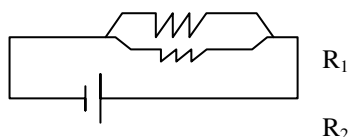
Aluno 2: *Professora eu não fiz assim. Somei as resistências e usei a tensão total (...).*

Prof. C: *Isso mesmo, essa é outra maneira de resolver (...).*

Esse aluno era silencioso e pouco se manifestava, mas quando o fazia sempre trazia contribuições interessantes; dava indícios de que compreendia significativamente o conteúdo; resolvia os problemas acertadamente e às vezes falava a resposta antes mesmo de a professora desenvolver os cálculos. Era um aluno acima da média, disso não restava dúvidas.

A Prof. C avançou um pouco mais no conteúdo e escreveu.

“Resistores em Paralelo: quando ligamos resistores um ao lado do outro, de tal forma que a corrente tenha mais de um caminho a seguir, os resistores estão associados em paralelo.”



A característica principal dessa ligação é que a diferença de potencial é a mesma para todos os resistores, enquanto a corrente total está distribuída entre os resistores.”

Prof. C: (...) *esta ligação é diferente da associação e série porque aqui a corrente chega no nó e se divide. Ela tem dois caminhos a escolher... a tensão é igual nos dois resistores em paralelo, ou seja, $V=V_1=V_2$, enquanto $i=i_1+i_2$. O que acontece com os resistores? Não vou demonstrar, apenas vou contar e vocês aceitam que $1/R_{eq}=1/R_1+1/R_2+1/R_3 +...$ (...).*

Depois de uma pequena explicação vinham os habituais exercícios e com eles a retomada das conversas e das costumeiras reclamações: *Ah não professora!* Mas a professora parecia convicta de que eles tinham a função importante de mostrar como se faz, destacar sutilezas, adquirir familiaridade.

Prof. C: (...). *Este circuito está em série ou em paralelo? Quando vocês olham para o desenho precisam identificar isto. Este está em paralelo. O item (a) pede a tensão sobre cada resistor. Sabemos que num circuito em paralelo $V=V_1=V_2$, logo, temos 18V em R_1 e R_2 . (...). Para descobriremos a corrente sobre o resistor 1 usamos a Lei de Ohm: $i_1=V/R_1=18/6=3A$; para encontrarmos a corrente sobre o resistor 2 fazemos o mesmo (...).*

Percebe-se, novamente, na fala da Prof. C certa confusão com relação à Lei de Ohm. A aula terminou sob as súplicas dos alunos para que a professora a encerrasse. Eles queriam os minutos finais para realizar uma votação para decidir qual inscrição seria impressa nas camisetas de formatura da turma. Havia três sugestões. Duas impublicáveis. A terceira chamava atenção: “*Entramos forçados, ficamos pirados e saímos formados*”.

Essa frase, nascida entre os alunos, expressava de maneira eloquente uma aversão à escola. Uma escola basicamente tradicional, focada na transmissão do conhecimento, cuja dinâmica e a abordagem do objeto de ensino obscurecem a realidade ao invés de iluminá-la. Decididamente não educava o estudante para a sociedade de forma crítica. Não era em vão que ela tinha sido sugerida e estava em votação. A cultura de sala de aula envolvia negociações de significados não apenas com relação ao conteúdo de ensino, mas também no que tange a intenções, sentimentos e expectativas. Parecia faltar naquele contexto escolar uma forma de expressão verbal capaz de desafiar. Um desafio em que professor e alunos são agentes cognitivos: aprendem juntos, resolvem juntos, fazem autocrítica e crescem juntos. O nível de profundidade dessas negociações talvez seja um dos aspectos capazes de distinguir as diferentes culturas escolares. Talvez se encaixe bem aqui a pedagogia da libertação de Paulo Freire (2009, p. 23) quando ele afirma que *quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender*. Não era o que observávamos.

Aula 37, em 18/11/08, não ocorreu porque os professores estavam em greve.

As aulas 38 e 39, em 20/11/08, somente puderam acontecer porque a Prof. C resolveu não aderir à greve. Houve um encontro da turma, ou melhor, parte da turma com a professora. Ela distribuiu as orientações sobre um trabalho para ser feito em grupos visando suprir as aulas perdidas durante o período de greve. Para os que não estavam presentes os colegas ficaram de avisar que o trabalho estaria disponível no endereço eletrônico da professora, juntamente com as instruções.

“*Tópicos do Trabalho:*

- 1) *Descrever o campo magnético de um ímã;*
- 2) *Magnetismo terrestre;*
- 3) *Corrente elétrica na presença de campo magnético*
 - a. *Experimento de Oersted;*

- b. *Relação entre a corrente e campo magnético (Lei de Faraday e Experimento de Oersted);*
 - c. *Relação entre campo magnético e campo elétrico;*
 - d. *Pela lei de Lenz o que se pode falar em relação ao campo e a corrente elétrica.*
- 4) *Cite pelo menos três aplicações práticas de fenômenos magnéticos, presentes no nosso cotidiano”.*

Na prática não houve aula expositiva ou de exercícios nesse dia. Apenas combinações sobre os itens e a forma de apresentação do trabalho que, na verdade, abordava todo o conteúdo de Eletromagnetismo que estava contemplado no programa e não tinha sido visto até então. Por orientação da escola, durante o período de greve os professores que não aderissem teriam somente um encontro semanal para suprir todas as aulas da semana. Pelo ritmo das aulas de Física, todo o Eletromagnetismo não seria abordado em sala de aula. Por esse motivo o trabalho assumia grande importância.

Observava-se que as dificuldades de grande escala iam tornando nosso problema de investigação muito pequeno. Saber até que ponto as visões epistemológicas da Prof. C contribuíam para uma boa prática didática era pouco relevante quando o problema era ter, ou não ter as horas de aula, que em ritmo normal já seriam poucas para contemplar o abrangente conteúdo de Física.

Aulas 40 e 41, em 27/11/08, foi outro encontro semanal da turma com a Prof. C. Havia no início oito alunos em sala de aula. A professora passou uma lista de presença e avisou que os que estavam presentes estariam dispensados das aulas de recuperação. Avisou também que haveria a prova final na semana seguinte e deu início a uma revisão sobre: *resistores, associações em série e em paralelo*. Desenhou e destacou as diferenças entre os dois tipos de associações, como já abordado em outras aulas. Acrescentou a *associação mista* de resistores.

Prof. C: (...) *vou propor um desafio: se um aluno deseja fazer um circuito onde a resistência equivalente seja 25Ω , mas ele só dispõe de resistores de 15Ω , como ele deve proceder para usar o menor número possível de resistores? (...).*

Todos os alunos presentes fizeram tentativas para resolver o exercício, primeiro individualmente, depois em grupos. Não conseguiram chegar à solução.

Prof. C: *Precisam de ajuda? Vamos tentar uma associação mista. Colocamos um resistor de 15Ω em série com uma associação em paralelo. Sempre que temos um problema assim, podemos fazer uma tentativa (...). Se der errado, a gente faz de forma um pouco diferente até chegar à resposta que a gente quer (...).*

Os alunos pareciam continuar sem entender.

Prof. C: *Se tentarmos uma associação em paralelo $1/15+1/15$ obteremos que a resistência equivalente é $7,5\ \Omega$; se tentarmos com três resistores em paralelo obteremos $1/15+1/15+1/15=5\ \Omega$; se tentarmos com quatro resistores obteremos uma $R_e=3,25\ \Omega$; Assim, podemos escrever uma fórmula do tipo “ $R_e=R/n^\circ$ de Resistores”. Ela serve apenas para o caso de os resistores serem todos iguais. (...)*

Aluno 1: *Professora, eu tinha chegado a sete resistores, pode olhar no meu caderno...*

Prof. C: *Eu mostrei este exercício para vocês verem que tem regrinhas práticas que ajudam a resolver problemas. Vocês acham que a indústria usa isto? Claro que sim, faz uso dessas diferentes associações de resistores para obter uma determinada resistência equivalente toda hora...*

Essa foi uma tentativa de abordar a aplicabilidade das leis da Física, de trazê-las um pouco mais para perto da realidade, de retirar-lhes a noção puramente abstrata que em geral se observa nas visões dos alunos. Eles, no entanto, mergulhados em seu imediatismo e pouco afetos a reflexões críticas não pareceram dar atenção ao assunto.

A professora seguiu escrevendo no quadro o enunciado de um exercício semelhante ao do exemplo. Havia, nesse momento, 12 alunos em aula e um silêncio atípico. Mesmo os que foram chegando ao longo da aula foram colaborativos e fizeram as atividades solicitadas. É importante lembrar, como já foi dito, que os mais assíduos eram também os mais interessados.

Aluno 2: *Professora, já achei uma solução para o primeiro exercício, com 9 resistores...*

Prof. C: *Mas queremos o n.º. mínimo de resistores. **Você está lá na microempresa e não tem dinheiro para comprar tantos resistores.** (...).*

Aluno 2: *Ok professora vou tentar outro...*

Prof. C: *Lembrem da Navalha de Occam, se existem diferentes explicações para o mesmo fenômeno, devemos considerar a mais simples. Queremos a solução mais simples, é essa que se busca.. Ou fazemos por tentativa e erro ou usamos a fórmula que já achamos (...).*

Aluno 3: *Usamos a fórmula!*

Prof. C: *Tentativa e erro é sempre a primeira opção, mas depois que conseguimos uma fórmula não precisamos suar novamente. Assim $R_e = R/n^\circ$ de resistores, daí $n_{de\ resistores} = 72\Omega/18\Omega = 4$ (...) o n° mínimo de resistores é 4.*

Nesse dia, a Prof. C cometeu alguns equívocos: ao afirmar que “tentativa e erro é sempre a primeira opção...” pareceu sugerir que um caminho simples é aprender por tentativa e erro. Essa assertiva desafia pelo menos um dos princípios da Epistemologia contemporânea: aquilo que parece muito simples é, por princípio, falso, ou, nas palavras de Bachelard (1988), *tudo o que é fácil de ensinar é inexato*. Bachelard nos alerta que conhecer pressupõe ruptura, que cada experiência nova diz não à experiência antiga. Mas se trata de uma desilusão, uma negação ao conhecimento primeiro no sentido de avançar de reformar-se, que nada tem a ver com tentativa e erro. O espírito científico deve avançar na direção de uma maior complexidade racional. Analogias simples demais limitam o espírito científico. O espírito científico deve formar-se reformando-se, segundo Bachelard.

As aulas 42 e 43, em 04/12/08, ocorreram após duas semanas de greve dos professores. As atividades normais da escola foram retomadas. Foi um dia de prova.

A aula começou em clima de inquietação devido ao resultado de um jogo de futebol ocorrido na véspera. A alegria de alguns era contagiante. Aqueles que não vibravam faziam comentários, críticas ou brincadeiras. Futebol era o tipo de assunto sempre bem-vindo, sempre apaixonante, que conseguia arrancar afirmações desajuizadas: *Professora estou afiadíssimo para a prova!* Esse aluno tinha, na verdade, grandes dificuldades, mas aquele era dia de comemorar.

A professora fez uma série de recomendações antes de entregar as provas.

Prof. C: (...) *lembrem, vocês estão no 3º ano e já vão fazer concursos, vestibular, etc. e têm que estar preparados para esse tipo de desafio.*

A turma recebeu e fez a prova em silêncio. Havia 18 alunos em aula, o que correspondia 50% do grupo inicial e mostrava que o alto índice de evasão escolar era um fato. Além disso, ver aquela turma trabalhar por longo tempo em silêncio foi uma cena ímpar, já que, de fato, estabelecer padrões mínimos de disciplina e organização era uma tarefa complicada.

Também resolvemos à prova. Eram 6 questões, sendo uma conceitual e cinco de cálculos, todas retiradas de exames vestibulares e envolvendo aplicação direta das fórmulas. Eram bastante similares, em termos dos enunciados, com aquelas resolvidas em aula. A professora escreveu as fórmulas no quadro, de forma que a tarefa reduzia-se a interpretar o enunciado e decidir-se pelas fórmulas adequadas.

Uma aluna chegou aproximadamente 20 minutos antes do final da aula, quando vários colegas já entregavam a prova. Mas ela não se abalou, pediu para fazer a prova e entregou-a 20 minutos depois, e fez uma queixa:

Aluna 2: *Professora eu calculei certo (...), mas me enganei na hora de passar para a grade. Você vai me dar errado?*

Prof. C: *Eu pedi para não haver rasuras na grade.*

Aluna 4: *Mas isto aqui não é vestibular...*

Prof. C: *Essa concepção é que está errada. Aqui é mais importante do que o vestibular, porque se vocês não passam de ano não vai adiantar fazer vestibular!*

A aluna 2 insistiu, a professora prometeu pensar. Essas cenas eram comuns. A professora era solícita, cedia facilmente e os alunos acabavam forçando certas atitudes ou situações.

De outro lado, a questão da avaliação era visivelmente problemática. Corrigir apenas a grade de respostas parecia insuficiente para a professora obter um panorama de como se deu o desenvolvimento das idéias, do raciocínio, do significado atribuído e do nível de integração dos novos conceitos. Em outras palavras, era difícil de avaliar se ocorreu uma aprendizagem significativa. Moreira (1999, p. 169) afirma que para Joseph D. Novak (quem refinou e divulgou a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel) há cinco constituintes básicos nos eventos educativos: *aprendiz, professor, conhecimento, contexto e avaliação*. O que nossas observações de sala de aula nos informavam era que o contexto assume um papel relevante na troca de significados. Se o contexto de sala de aula não é favorável, equilibrado, disciplinado, a troca ou é deficitária ou não acontece. Esse processo parece se completar com a avaliação, onde de alguma forma o aluno deve externalizar os significados que captou. Quando a avaliação é problemática ela coloca em risco todo o processo. É certo que outros constituintes, como por exemplo, a *disposição para aprender*, são fundamentais na negociação em sala de aula. E era possível observar indícios de disposição para aprender de alguns alunos naquela turma, mas os problemas de

contexto (falta de disciplina e organização) tornavam essa tarefa uma missão quase impossível. O resultado era um desempenho abaixo do esperado, perda de foco e de tempo, ausência de discussões produtivas.

A aula 44, em 09/12/08, foi dia de informação das notas finais, de devolução dos trabalhos e de muita ansiedade, porque os alunos visivelmente não desejavam ter que fazer estudos de recuperação.

A Prof. C escreveu no quadro as notas parciais do último trimestre do ano letivo, indicando os alunos apenas pelo número de chamada.

Tabela 8.1: Notas parciais do último trimestre letivo dos alunos da turma de 3º ano do Ensino Médio, escola pública, observada em 2008/2.

Identificação do aluno	Nota	Identificação do aluno	Nota	Identificação do aluno	Nota
1	1,0+R+P	14	4,0	26	R+4,8
2	7,0	15	7,5	29	R+4,0
5	3,0+R+P	16	5,0	32	6,0
7	5,0	17	5,5	33	R+4,5
8	R+3,5	18	6,5	35	6,0
10	5,5+R	19	5,5	37	6,5
11	3,5	20	6,5		
12	4,0	21	R+4,0+P	Média Parcial	4,9

Prof. C: (...) têm anotação R aqueles que deveriam ter feito recuperação no 2º trimestre e não fizeram (...) esses não podem deixar de fazer a prova na próxima aula (prova de recuperação do 3º trimestre). A prova de recuperação terá duas etapas: a 1ª será uma lista com 20 exercícios para fazer em casa valendo 5,0 pontos e será entregue no dia da prova; a 2ª etapa vale 5,0 pontos e será uma prova no mesmo dia da entrega da lista de exercícios.. (...) o P indica que não fizeram última prova do último trimestre (...).

Ela explicou que a média para aprovação era 6,0 e que a nota daquele trimestre se compunha de: prova de recuperação do 2º trimestre (peso 3,0); trabalho sobre Eletromagnetismo (peso 4,0); prova do 3º trimestre (peso 3,0).

Da Tabela 8.1 se extrai que apenas sete alunos, ou 30% dos que efetivamente concluíram o ano, tinham nota igual o levemente superior a 6,0. Embora o resultado ainda fosse preliminar já que os alunos que não tinham feito (indicação R) teriam a oportunidade de

fazer a prova de recuperação do 2º trimestre, e que todos poderiam fazer a recuperação do 3º trimestre, a média parcial mostrava um rendimento médio bastante baixo.

Outro aspecto que chamava atenção na fala da Prof. C era o peso atribuído ao trabalho sobre Eletromagnetismo, que tinha o objetivo de cobrir o conteúdo não lecionado e compensar as aulas do período de greve dos professores. Por essas razões entendíamos que esses trabalhos deveriam ser abrangentes e ter um bom nível de elaboração, embora não estivesse programada nenhuma apresentação oral. Apenas deveriam entregá-los para correção e atribuição de nota.

A Prof. C permitiu que examinássemos os trabalhos entregues. O que vimos foi um cenário assustadoramente pobre. Restritos a cópias de textos obtidos da internet, os trabalhos não apresentavam resumo, interpretações, sequência lógica ou conclusão. Assuntos como: definição de campo magnético, Lei de Ampère, Lei de Faraday, Lei de Lenz, descrição e uso da bússola eram apresentados na forma e na ordem como tinham sido encontrados na internet. Os diferentes assuntos tinham sido impressos com formatação, cores, tipos e tamanhos de letras diferentes. Provavelmente retirados de diferentes *sites*. Em outras palavras, uma colagem rudimentar sem ao menos uma padronização de cor, tamanho e tipo de letra, tampouco interpretação pessoal dos principais conceitos. Com folhas impressas ora em verde, ora em azul, preto ou vermelho os trabalhos mais se pareciam com rascunhos mal elaborados. Era comum aparecerem fórmulas na forma integral ou diferencial que, certamente, não tinham nenhum significado para aqueles alunos. Dentre os trabalhos que examinamos apenas um estava formatado, alinhado, contemplava todos os itens, na ordem como solicitado procurando responder às perguntas com algum toque pessoal. Nesse trabalho foi possível ver sinais tênues de tentativas de interpretação e algumas palavras de ligação dos próprios alunos. Mas só isso.

No final daquela aula, fora da sala de aula, tivemos oportunidade de conversar com alguns alunos e procuramos saber “o que” eles tinham aprendido com a realização do trabalho. Dialogamos sobre aspectos simples: o que eles sabiam sobre ímãs, campo magnético terrestre, bússola, etc. Foram longos minutos de hesitação, risos e respostas do tipo *não lembro* ou *não entendi nada*. Nem os conceitos mais elementares do Eletromagnetismo tinham sido ancorados na estrutura cognitiva, ao que parecia. Não conseguiram dizer, por exemplo, que um ímã possui dois pólos, que a terra tem magnetismo e que se comporta

como um grande ímã, que pólos opostos se atraem e iguais se repelem, nem souberam relatar para que serve uma bússola.

Aluno 1: (...) ímã é uma espécie de pedra que consegue pedacinhos de metais.

As respostas foram nesse nível. Ficamos convencidos de que aquela turma concluía o Ensino Médio sem saber os conceitos mais elementares do Eletromagnetismo. Falamos brevemente nos ímãs, no campo magnético terrestre, no funcionamento da bússola e de sua importância para as navegações e para a orientação das pessoas. Os alunos demonstravam surpresa. Chegamos mesmo a pensar que não tinham lido o próprio material impresso e entregue. Era lamentável que não levassem para a vida uma compreensão mínima desses conceitos. Pareceu-nos que eles poderiam ter aprendido menos fórmulas, gasto menos tempo com exercícios e ter discutido melhor uma Física para a vida. De que vale aprender a manipular fórmulas se elas não adquirem sentido para os alunos? Em suma, uma Física com pouca ou quase nenhuma conexão com o cotidiano. Uma lacuna. Uma perda. Esse era o sentimento que melhor descrevia o momento.

Nas aulas 45 e 46, em 11/12/08, houve estudos de recuperação. A aula começou com 20 minutos de atraso e com 10 alunos presentes. A professora entregou uma lista de exercícios com 20 questões que, segundo havia sido combinado, consistiria na primeira parte da prova de recuperação daquele (terceiro) trimestre. A prova de recuperação do segundo trimestre seria feita fora do horário de aula, para aqueles alunos que não tinham feito.

No início da aula retornaram as discussões sobre as avaliações. Uma aluna perguntou pela nota, pois estivera ausente na última aula. Ela tinha alcançado 4,0 pontos no trimestre, mas fazia previsões com convicção:

Aluna 1: Ah professora, eu consigo 1,0 com certeza, na recuperação.

Prof. C: Você deve fazer as duas etapas da recuperação (...).

A professora explicou que deveriam somar 24,0 pontos nos três trimestres para aprovação, mas que a nota do último trimestre era duplicada para efeito da soma. Em outras palavras, havia um grande número de combinações possíveis: o aluno poderia ter notas baixas nos dois primeiros trimestres, mas se no último tivesse boa nota (duplicada) alcançaria

facilmente 24,0 pontos, ou o contrário, se tivesse boas notas nos primeiros trimestres poderia obter aprovação com nota muito baixa no último já que era duplicada. Como já dissemos, a reprovação era um evento quase impossível e muito provavelmente essa certeza fomentava o desinteresse e o elevado índice de faltas às aulas.

Ela sugeriu que formassem grupos para a resolução da lista, mas apenas duas duplas se juntaram. Os demais preferiram trabalhar individualmente. A cada questão examinavam as anotações do caderno. Os exercícios seguiam o padrão daqueles resolvidos em aula. Mesmo assim, as dificuldades se faziam presentes.

Observamos que dois entre os 10 alunos presentes não receberam a lista, apenas permaneciam em aula, conversando, ouvindo música ou jogando nos seus celulares. Conversamos com esses alunos. Eles explicaram que estavam aprovados, tinham boas notas, entre 8,0 e 9,0, nos dois primeiros trimestres o que os colocava na situação confortável de já estarem aprovados. Um deles explicou sua presença em aula.

Aluno 2: Estamos em aula só para cumprir horário.

A professora circulava pela sala, dava dicas, esclarecia dúvidas na medida do possível, atendia aos alunos em suas classes. Vendo que eles consultavam os cadernos e buscavam subsídios, em dado momento desabafou.

Prof. C: Mas somente agora vocês estão estudando? Não tinham estudado para a prova?

A resposta era sabida. Aqueles alunos, definitivamente, não tinham o hábito do estudo. Mas alguns percebiam sua discrepância em relação a outras escolas consideradas de qualidade.

Aluno 3: Professora, o pessoal do colégio militar aprendeu coisas que nós não aprendemos e nem nunca vamos aprender. Eu tenho um amigo lá, eles sabem muito, sobre qualquer assunto. Eles passam no vestibular sem estudar...

Prof. C: O colégio militar tem uma boa direção, boa organização, tem disciplina e aí as coisas acontecem...

Era, de fato, grande a diferença em termos de nível de ensino entre as diferentes escolas, disso nunca nos sobraram dúvidas. Resta tentar analisar as causas. E elas são muitas. Mas certamente não estão ligadas à diferença de potencial dos alunos. Os alunos da escola pública, igualmente, tinham potencial. Toda vez que tivemos oportunidade de interagir e explicar exercícios ou conceitos eles sempre corresponderam reelaborando a informação e chegando ao resultado, por si próprios. O que lhes faltava então? Disciplina, organização, cobrança, como bem referiu a Prof. C em sua fala. Se a escola pública se orientasse por padrões razoáveis de rigor técnico e organizacional os alunos, em geral, afora casos especiais, não teriam razões para não responderem à altura. Ensinar é assunto sério. Ensinar aos pobres é muito mais sério porque é preciso investir muita energia na autoestima, no discurso desafiador para uma aprendizagem significativa. A premissa de que os pobres não aprendem é falsa. A diferença de tratamento essa sim é verdadeira. Vejamos, por exemplo, o número de aulas da disciplina de Física perdidas durante o período de nossa observação participante na escola pública, e os motivos.

Aula 2	Reunião dos professores
Aula 5	Antecipação de período por falta de professor
Aulas 9 e 10	Paralisação dos professores
Aula 11	Antecipação de período por falta de professor
Aulas 15 e 16	Conselho de classe
Aula 17	Antecipação de período por falta de professor
Aula 20	Antecipação de período por falta de professor
Aula 23	Paralisação dos professores
Aula 30	Passeio com outra disciplina
Aula 36	Greve dos professores

Quadro 8.1: Aulas de Física que não aconteceram e os motivos, durante a observação participante, escola pública, 2008/02.

O Quadro 8.1 mostra que 12 das 49 horas-aula, ou 25%, não aconteceram na prática, durante nossa estada na escola pública. Com esse índice de aulas perdidas qualquer escola baixaria sensivelmente seu padrão de ensino. Os principais motivos: falta de professores, paralisações e greves são de conhecimento público e remetem a políticas públicas que não serão aqui discutidas. Só o que se pode constatar é que não é correto nem justo atribuir ao potencial do aluno (ou à falta dele) o baixo nível do ensino público.

Os motivos elencados no Quadro 8.1, também de conhecimento público, estão atrelados a baixos salários, carga de trabalho excessiva e condições precárias dos professores da rede pública. Bunge (1980) afirma que para ser criativo o cientista precisa estar livre de

preocupações financeiras angustiantes, ter acesso a publicações e gozar de liberdade acadêmica. Isso também pode se aplicar ao ensino de ciências. Todavia, parece haver uma diferença fundamental entre ensinar e fazer ciências. O ensino afeta diretamente a vida e as visões de mundo das pessoas. De outro lado, a produção científica só indiretamente se faz sentir, através da ciência aplicada e a da técnica. Por esse motivo o esforço é tão crucial para uma melhoria do ensino de ciências, especialmente na escola pública. O que se percebe, no entanto, parece ser uma combinação nefasta de descaso, desorganização e falta de rigor e comprometimento.

Nessa aula um aluno nos procurou. Pediu ajuda para resolver uma questão conceitual. Era mostrado um circuito com uma associação em paralelo com três ramos: num dos ramos havia dois resistores (duas lâmpadas), no segundo ramo um resistor (uma lâmpada) e no terceiro não havia resistores (curto-circuito). Esclarecemos que a corrente circularia pelo caminho com menos obstáculos, sem resistência. Ele concluiu que as lâmpadas não acenderiam e se mostrou surpreso.

Aluno 4: Eu não sabia que quando um dos ramos não tem resistência a corrente passa toda por ele, que ela não se divide para os outros ramos.

Para quem é da área é intuitivo pensar que a corrente elétrica escolha o caminho mais livre para circular. A natureza é assim: escolhe sempre o estado de menor energia. Mas não tão intuitivo para aqueles alunos, onde as dúvidas eram muitas, as anotações incompletas, o conteúdo escasso, as discussões improdutivas e segmentadas, o ruído em aula intenso, a concentração mínima, o material para consulta inexistente, as ausências repetitivas. Faltavam-lhes conceitos, compreensão, reflexão e disciplina.

A aula transcorreu nesse ritmo e era nesse mesmo ritmo que parecia se encaminhar o final do ano letivo.

A aula 47, em 16/12/08, foi uma continuação da resolução da lista e exercícios. Estavam presentes 13 alunos, mas apenas 8 trabalharam na lista que equivalia à primeira parte da recuperação trimestral. Os demais apenas se faziam presentes em aula para cumprir horário, como eles próprios diziam, pois estavam aprovados. Mas o espírito de cooperação estava sempre presente entre os alunos, e a angústia dos que precisavam de nota para

passar de ano era amenizada pela ajuda dos colegas que, já aprovados, tinham calma e maior domínio do conteúdo para auxiliar. Havia humildade dos que precisavam de ajuda e boa vontade daqueles que podiam ajudar.

A professora circulava pela sala, dava dicas. Mas era só isso. Os alunos tinham sido informados que deveriam concluir e entregar a lista antes da prova na aula seguinte. O clima era de aflição. Um aluno nos procurou.

Aluno 1: *Por favor, dá uma ajuda aqui (...). A professora não quer me dizer como faço...*

Ela brincou dizendo que *pode ajudar, mas não pode dar resposta*. A questão mostrava três circuitos com fontes idênticas: o primeiro com apenas um resistor R (uma lâmpada); o segundo com dois resistores R em série (duas lâmpadas) e o terceiro com dois resistores R em paralelo (duas lâmpadas). Procuramos induzir o aluno a raciocinar sobre o brilho das lâmpadas pensando em termos da resistência equivalente (R_{eq}) nos diferentes circuitos e conseqüentemente na diferença de tensão (energia) à qual cada lâmpada estava ligada. A evolução do raciocínio do aluno foi rápida e precisa. Prontamente ele chegou à resposta da questão. Esses eram, para a pesquisadora, momentos gratificantes, em que nem tudo parecia perdido. Não. Havia esperanças. A Prof. C pareceu ter percebido o mesmo e procurou incentivar.

Prof. C: *A lista é para vocês pensarem, tem que refletir, calcular, tentar. (...). É uma lista para pensar.*

A aula resumiu-se nisso.

Aulas 48 e 49, em 18/12/08, foram dedicadas à prova de recuperação. Doze alunos fizeram a prova. Como os alunos tentaram fazer perguntas, a professora escreveu todas as fórmulas no quadro:

*“ $I = \Delta Q / \Delta t$; $P = \Delta \mathcal{E} / \Delta t$; $E = K Q q / d^2$
 Lei de Ohm: $R = V / i$; $R = \rho l / A$, sendo ρ = letra grega que representa a resistividade*

<i>Série</i>	<i>Paralelo</i>
$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots$	$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$
$i = i_1 = i_2 = \dots$	$i = i_1 + i_2 + \dots$
$V = V_1 + V_2 + \dots$	$V = V_1 = V_2 = \dots$

A prova transcorreu tranquila e os alunos se mantiveram em silêncio. Foram 12 questões, sendo 6 exercícios de cálculo e 6 questões teóricas. O nível era compatível com os exercícios passados em aula. Resolvemos à prova e assim que os alunos entregavam-na à professora nos procuravam para checar suas respostas. Ficamos além do horário de aula. Os alunos vinham conversar. Ansiosos, vibravam com cada acerto que confirmavam. A conversa se estendeu para outros aspectos. Os alunos eram muito espontâneos. *Não gosto de Eletricidade, gosto da parte de Mecânica...*, disse uma aluna.

Procuramos saber o porquê. Descobrimos que esse tipo de afirmação naquela escola e naquele contexto estava associada, via de regra, ao professor. *O professor do primeiro ano era ótimo, ele era muito empolgado, ele explicava bem...* afirmou a aluna. Alguns colegas concordaram. Essa visão a respeito do professor (“o professor era empolgado”, “o professor explicava bem”) parecia ser o ponto central e elo de ligação entre o papel do professor e a tão desejada “motivação”. Parecia indicar que, independente da condição social dos estudantes ou das condições logísticas da escola, era sempre possível motivar os alunos para o conhecimento. E mais, quem exerce esse papel é fundamentalmente o professor. Não estamos pretendendo generalizar este achado, mas não dá para esquecer que estávamos nas aulas finais do terceiro e último ano do Ensino Médio e que “aquele” professor de Mecânica, que ainda permanecia na mente de alguns, bem como a Mecânica que ele ensinara, tinha passado na vida escolar daqueles alunos no primeiro ano no Ensino Médio. Ele tinha deixado suas marcas.

Com relação à avaliação final, procuramos a Prof. C na semana seguinte, após o final do ano letivo, e confirmamos nossa suspeita: todos os alunos daquela turma que efetivamente concluíram o ano foram aprovados. Não houve reprovações. A Prof. C tinha naquela escola várias outras turmas com *desempenho bastante inferior*, como ela mesma dizia, e isso parecia justificar porque ela concordava com a assertiva dos alunos relativamente aos seus desempenhos (consideravam que aquela era a melhor turma de 3º ano daquela escola).

Prof. C: *Os alunos trabalharam muito bem, levaram a sério a lista de exercícios, entenderam a proposta e obtiveram boas notas.*

Era desconcertante para a pesquisadora ouvir tal afirmação da Prof. C, tendo em vista todas as dificuldades presenciadas ao longo do período de observação. Era como se o percentual

de 100% de aprovação dos alunos concluintes daquela turma apoiasse uma tese do tipo “missão cumprida”. Tínhamos, entretanto, convicção de que a professora tinha consciência das lacunas que aqueles alunos levavam para a vida. Serviria essa consciência para um processo de autocrítica de suas próprias práticas didáticas?

Fim de aula. Fim de ano letivo.

8.4 Alguns achados do Estudo de Caso com a Professora C (Estudo V)

É possível afirmar que a convivência com o grupo de estudantes da escola pública foi a mais enriquecedora, pelas características dos alunos, da escola, pela diversidade, pela espontaneidade da Prof. C e principalmente pela abismal diferença em relação às outras escolas observadas.

Também foi possível constatar que o nível de ensino observado foi muito baixo, para não dizer de péssima qualidade, como é de conhecimento público.

Segundo Gobara e Garcia (2007), alguns dos problemas “atuais” do ensino de Física no Brasil são velhos problemas: ensino expositivo, geral, superficial e baseado na memorização e excessiva dependência dos manuais didáticos; outros, são decorrentes da popularização da escola e conseqüente expansão do ensino público: número insuficiente de aulas, falta de laboratórios, de bibliotecas, ensino formal desconectado da realidade, má estrutura das escolas e principalmente falta de professores habilitados. Os autores apontam, como resultado de um diagnóstico dos cursos de Licenciatura em Física no Brasil, a falta de professores e a necessidade de se investir nos cursos de Licenciatura e na formação de professores de Física.

Em nosso estudo etnográfico na escola pública, por tudo o que foi descrito, classificamos em pelo menos três tipos os fatores aos quais se pode atribuir seu baixo desempenho: *externos, internos e pedagógicos*.

Os *fatores externos* estavam associados a políticas públicas descomprometidas e aos escassos recursos repassados. A falta de professores, que gerava as intermináveis

“antecipações de períodos”, absolutamente improdutivas, as péssimas condições das instalações, os baixos salários dos professores, as paralisações, a greve mostraram-se dificuldades inerentes ao setor público, mantenedor da escola pública, e que não vamos aqui discutir. Entretanto, não dá para deixar de refletir. Entrar numa sala de aula totalmente desorganizada, com classes e cadeiras velhas e fora de lugar, com o chão sujo e lixo espalhado não representaria um cenário de abandono capaz de incitar a desmotivação? Ou melhor, funcionar como fator de motivação para estar fora dele e por isso mesmo, talvez, os alunos vibrassem tanto quando eram informados que haveria suspensão de aulas. Esse é apenas um detalhe menor dentre outros tantos que se poderia discutir dentro da categoria fatores externos.

Um fator externo relevante tinha a ver com as condições sociais dos alunos daquela escola. Os alunos, em geral, oriundos das classes trabalhadoras menos privilegiadas economicamente, traziam dificuldades de várias ordens: obrigava-os a entrar muito cedo para o mercado de trabalho (estágios remunerados) reduzindo, assim, o tempo dedicado aos estudos e aumentando a consciência da sua falta de competitividade frente a alunos de outras escolas, solapando sonhos e expectativas. Esses eram aspectos que, sem dúvida, traziam à tona a desigualdade social e a perversidade do modelo econômico no qual estamos inseridos. Também não iremos aqui discutir esses fatores. Apenas destacar que tudo isso deveria servir de motivação por que investimentos e esforços deveriam se somar para gerar mudanças profundas em nossa sociedade. Não foi o que observamos.

Os *fatores internos*, pelo que foi possível constatar, estavam associados à falta de organização, planejamento e controle efetivos da instituição escola. Embora a Prof. C tivesse elaborado no início do ano, segundo ela informou e nos apresentou, um plano de aulas, não havia controle ou cobranças a respeito do seu cumprimento, de forma que, como se pôde perceber, todo o Eletromagnetismo não foi visto. Isso apenas ilustra a classe de fatores internos.

A falta de professores sem a devida substituição, gerando perda de aulas; o livre trânsito dos alunos fora da sala de aula, ou seja, eles acabavam indo embora toda vez que havia “antecipação de período”; a falta de logística mínima capaz de oferecer aos professores condições de prepararem polígrafos com os conteúdos, evitando assim que tivessem que escrever tudo no quadro; a indisciplina ou a falta de se fazer cumprir condutas sociais

mínimas, que geravam situações complexas ao nível das ameaças físicas tanto para os professores quanto para os alunos, como foi aqui relatado; as frequentes interrupções das aulas para assuntos variados, gerando descontinuidades e desconcentração; a realização de reuniões de professores em horário de aula. Tudo isso remete à falta de políticas organizacionais internas, de planejamento e de controle. As experiências por nós vividas naquela escola pública sugeriam que as autoridades escolares não eram pró-ativas e isso interferia em muito no rendimento escolar. Parecia haver uma silenciosa e não verbalizada premissa básica em tudo aquilo: “os pobres não conseguem aprender”. Esperamos ter mostrado através das descrições do quotidiano da sala de aula daquela escola que essa premissa era tão real quanto falsa.

Todos os aspectos até aqui levantados fazem supor que não é possível analisar com seriedade uma situação de ensino sem levar em conta o contexto. Também dá uma dimensão de quão difícil era a missão de tentar identificar as contribuições das visões epistemológicas da Prof. C ou se a questão da mudança epistemológica contribuía de fato na melhoria do ensino de Física, num cenário em que questões de contexto assumiam importância indiscutivelmente superior. Ainda assim é o que tentaremos.

Os fatores pedagógicos tinham a ver com as estratégias didáticas da Prof. C e eram a classe de fatores mais importantes do ponto de vista dos objetivos da nossa pesquisa.

Ao longo da observação participante e fruto de nossas conversas e da entrevista com a professora foi se cristalizando a convicção de que a Prof. C tinha concepções epistemológicas, pode-se dizer, parcialmente alinhadas às VECs. Um breve levantamento das falas transcritas a partir de nossos diários de campo mostrou que a Prof. C foi quem mais falou em “modelos” (conceituais e científicos) quando comparada aos dois outros estudos de caso (Prof. A e Prof. B). Em vários momentos destacou o papel dos “modelos” na Física, mas a Prof. C não explicou com clareza aos alunos o significado desse conceito. Além disso, cometeu alguns equívocos, por exemplo, sugerindo que “tentativa e erro” é usual na Física. Por essa razão entendemos que suas concepções epistemológicas pareciam parcialmente alinhadas às VECs.

Uma virtude que não nos passou despercebida era sua notável capacidade de utilizar o “idioma dos alunos”, que em muito se aproximava da pedagogia da autonomia de Paulo

Freire. Seu jeito de ser, de circular constantemente pela sala, de atender individualmente os alunos, de ouvir não apenas as dificuldades relativas ao conteúdo, mas também seus dramas pessoais, acabava gerando um convívio solidário, de amizade e camaradagem. A Prof. C tinha conquistado confiança e aceitabilidade e em muitos momentos as manifestações dos alunos expressaram isso de forma inequívoca. O que faltou foi fazer uso efetivo desse instrumento.

Ela tinha boas intenções, tinha feito um detalhado plano de aulas para o ano letivo, mas teve dificuldades para colocá-lo em prática. Muitas dessas dificuldades estavam associadas, de forma importante, aos fatores internos e externos anteriormente discutidos. Outras, entretanto, estavam ligadas à falta de uma estratégia didática adequada, a falta de rigor em suas aulas. Era desperdiçado tempo demais com longas e repetitivas listas de exercícios. Em geral os alunos não sabiam resolver porque lhes faltavam conceitos, conteúdo, discussão, disciplina, compreensão e debate.

Foi possível verificar que foram poucas as aulas expositivas e, menor ainda a quantidade e qualidade das discussões e debates sobre o objeto de ensino. Não estamos aqui defendendo as aulas expositivas tradicionais, mas apenas destacando que de alguma forma os conceitos da Física precisam ser consistentemente apresentados aos alunos. Durante todo o período de observação não houve nenhuma abordagem abrangente, não houve utilização de gráficos, não foram abordados aspectos históricos para introduzir os assuntos, não houve contextualização dos conceitos que estavam sendo introduzidos com o restante do arcabouço conceitual da Física, por assim dizer. Os assuntos eram apresentados de forma segmentada e muito introdutória.

Some-se a isso, certa falta de controle sobre a turma dadas as características condescendentes da Prof. C. Era como se a falta de rigor, e por vezes certa insegurança ou aparente falta de domínio dos conteúdos, gerassem grande dificuldade para manter um controle mínimo da situação em sala de aula. Ela não conseguia minimizar as conversas e o ruído intenso que marcava suas aulas. Só para citar um exemplo, toda vez que a Prof. C solicitou que os alunos trabalhassem em grupo os grupos não se formavam.

Faltava condução dos trabalhos e disciplina por parte dos alunos.

Houve uma única tentativa, na aula 34, de princípio de discussão explícita das questões da natureza da ciência. Ainda que louvável, foi uma tentativa ineficaz porque inconclusa, uma discussão que começou bem, ficou de ser retomada na aula seguinte e nunca o foi. Muito provavelmente os alunos, como já comentado, atribuíram a esses aspectos um papel irrelevante justamente porque não geraram reflexões críticas.

Acreditamos que uma das maiores contribuições da abordagem explícita de visões epistemológicas contemporâneas é provocar o debate, é gerar reflexões críticas sobre o conteúdo de Física em estudo, sobre a ciência, seu processo, seu papel na vida das pessoas. Mas justamente a falta de discussões, de debate em grande grupo era o que mais marcava as estratégias pedagógicas da Prof. C, pois ela privilegiava o atendimento e o diálogo individualizado aos alunos.

As tímidas tentativas da Prof. C de fazer uso de suas próprias convicções epistemológicas, parcialmente alinhadas às VECs, sua inabilidade para incitar a concentração, a ausência de discussões e debates, a recusa às reflexões por parte dos alunos, a indisciplina, e principalmente o baixo nível de ensino daquela escola pública não nos autorizam a afirmar que houve contribuição efetiva das VECs para a melhoria do ensino de Física naquela cultura escolar.

Capítulo 9

UMA ANÁLISE CRUZADA

9.1 Um quadro comparativo dos três Estudos de Caso

Após longo tempo de imersão em sala de aula e uma análise interpretativa detalhada de três estudos de caso, foi possível identificar nas distintas culturas escolares algumas diferenças e também algumas semelhanças importantes no que tange às condições materiais, ao planejamento dos conteúdos, à organização, à estrutura, aos objetivos gerais e às estratégias didáticas dos professores de Física envolvidos.

Tentaremos neste capítulo sistematizar esses aspectos e fazer, na medida do possível, uma análise de cruzada, tendo sempre presente que trabalhamos com “casos” e por este motivo não temos a pretensão de chegar a generalizações.

Dessa forma, construímos um quadro comparativo com alguns aspectos considerados mais relevantes dentre os levantados nos três estudos de caso com professores de Física no Ensino Médio que compõem esta tese, e que aparecem sumarizados no Quadro 9.1. Esta tentativa busca facilitar uma análise cruzada dos principais achados, como referido, com o objetivo de responder, pelo menos parcialmente, às questões de pesquisa que norteiam este trabalho.

Quadro 9.1: Quadro comparativo dos principais aspectos observados nos estudos de caso III, IV e V, realizados em escolas de Ensino Médio de Porto Alegre, RS, em 2007 e 2008.

Estudo:	Estudo de caso III	Estudo de caso IV	Estudo de caso V
Tipo de escola:	Particular	Militar	Pública
Turma observada:	2º ano do Ensino Médio	2º ano do Ensino Médio	3º ano do Ensino Médio
Período de observação:	2007/2 41 horas-aula	2008/1 37 horas-aula	2008/2 49 horas-aula
Nº. de alunos inscritos na turma:	41	28	37 (18 concluíram o ano)
Tamanho da sala x nº. de alunos:	Pequena	Grande	Adequada
Condições e instalações da escola:	Boas	Muito boas	Ruins
Adoção de livro de texto ou apostila?	Sim. Apostila.	Sim. Livro de texto.	Não.
Objetivos gerais percebidos:	A escola como uma empresa: funcionar bem, ser competitiva, e aumentar o número de	Ensino de bom nível, manutenção da tradição de eficiência, disciplina, valores	Cumprimento de políticas públicas relativas à oferta de ensino gratuito. Mas

	alunos.	morais e respeito.	não se percebiam objetivos comuns entre direção, corpo docente e corpo discente.
Professor:	Prof. A	Prof. B	Prof. C
Comportamento geral dos alunos em aula:	Conversas e um ruído de fundo permanente, mas atendiam aos apelos do professor.	Disciplina, silêncio e respeito marcaram todas as aulas.	Conversas intensas, desconcentração, ruídos com objetos, classes e cadeiras eram constantes.
Relações professor versus alunos:	Amistosas. Brincadeiras e diálogos francos deixavam transparecer relações de amizade entre alunos e professor.	Respeitosas. As brincadeiras partiam invariavelmente do professor e tinham, ao que parecia, o objetivo de descontrair.	Camaradagem. Atitudes condescendentes deixavam transparecer carinho da professora para com os alunos. O inverso nem sempre era percebido. Havia certa dose de indisciplina.
Visões epistemológicas percebidas no professor:	Alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas (VECs).	Visões epistemológicas tipicamente empiristas-indutivistas (superadas pela epistemologia contemporânea).	Parcialmente alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas (VECs).
Estratégias didáticas:	O Prof. A procurou diversificar suas estratégias didáticas, incluindo: aulas expositivas, discussões de grande grupo, trabalhos em pequenos grupos, resoluções de exercícios, pequenas demonstrações, debates abertos, trabalhos de pesquisa, apresentação e discussão dos trabalhos de pesquisa.	O Prof. B centrou suas estratégias em aulas expositivas (objetivas) e na resolução de exercícios conduzida por ele. Fez uso de gráficos e de rigoroso formalismo matemático.	A Prof. C usou estratégias expositivas, esquemas e resumos escritos no quadro e resolução de exercícios. Ofereceu e incentivou a resolução de listas de exercícios, auxiliou esclarecendo dúvidas e atendendo os alunos em suas classes. Fez algumas demonstrações e discussões do observado.
Rendimento dos alunos (provas):	Regular.	Bom.	Ruim.
Qualidade do ensino:	Nível de ensino regular. Foi observável certa falta de planejamento das aulas, comprometendo a abrangência dos conteúdos; debates longos e com perda de foco; má distribuição do tempo.	Nível de ensino bom. Aulas planejadas, precisas (explicações claras e objetivas) e rigoroso cumprimento dos conteúdos programados e bastante abrangentes.	Ensino descontínuo, excessiva perda de aulas, resultando em rendimento abaixo do desejável. Conteúdos minimamente abordados; aparente ausência de controle do planejamento e dos objetivos propostos; má distribuição do tempo.
O professor de Física fez uso das visões	O Prof. A teve presente essa preocupação, mas privilegiou abordagens	Não. Só observável alguma alusão implícita às	Frequentemente demonstrou preocupação com essas

epistemológicas contemporâneas?	implícitas e muitas vezes desarticuladas. Criou inúmeras situações favoráveis à exploração das suas próprias convicções epistemológicas, mas acabou desperdiçando oportunidades boas por não conduzir os debates e demonstrar certo despreparo na gestão dessa ferramenta.	próprias convicções marcadamente empirista-indutivista do Prof. B.	questões. Falou em modelos científicos, chegou a iniciar um debate explícito sobre a natureza da ciência, mas que se mostrou de pouco proveito para os alunos, pois ficou inconcluso e nunca chegou a ser retomado.
---------------------------------	--	--	---

O exame do Quadro 9.1 parece indicar que dos três estudos de caso etnográficos realizados com professores de Física atuando em diferentes tipos de escolas da capital gaúcha, foi na escola militar onde observamos o melhor desempenho dos alunos em Física, avaliado nos padrões tradicionais (testes e provas) e também onde as visões epistemológicas contemporâneas menos estiveram presentes.

Como já comentado, há que se considerar os aspectos peculiares da escola militar (a boa qualificação dos alunos, a rigorosa seleção para o ingresso, o foco na organização e disciplina, o bom nível sócio-econômico dos alunos, em geral, que oferece condições para o estudo extraclasse de qualidade, etc.) frente às demais, e por isso a dificuldade de se comparar os achados.

Mesmo assim, as narrativas etnográficas, objeto dos capítulos anteriores com alguns aspectos resumidos no quadro 9.1, sugerem que o Prof. A e a Prof. C (Estudos III e V, respectivamente) criaram algumas oportunidades para contextualizar e destacar o caráter descontínuo da construção de conceitos e dos modelos físicos; alertar para o status provisório das leis e teorias e para a natureza conjectural da ciência, mas não souberam operacionalizá-las adequadamente. De qualquer forma, pode-se dizer que lançaram mão de algumas idéias epistemológicas contemporâneas em vários momentos ao longo das aulas observadas que, mesmo se constituindo em tentativas tímidas e desarticuladas, muitas vezes incitaram debates que podem ter resultado em reflexões críticas, pelos alunos. De fato, várias discussões que presenciamos se deram em torno de questões associadas à natureza da ciência, embora raramente esses professores tenham explicitado de forma clara suas intenções. Destaca-se, contudo, que não houve essa mesma possibilidade na escola militar.

Nosso pressuposto inicial era de que professores de Física com concepções alinhadas às “visões epistemológicas contemporâneas” acabam adotando práticas docentes mais adequadas e, tornam-se mais reflexivos. Pressupomos que com isso o nível de ensino de Física pudesse apresentar algumas melhoras perceptíveis, especialmente quando comparado com o desempenho gerado pelo professor que não teve formação em Epistemologia.

Não foi o que observamos. Também não observamos aumento da motivação ou do nível de participação dos alunos em aula que pudessem ser objetivamente associados à influência de visões alinhadas às “visões epistemológicas contemporâneas” dos professores que tiveram essa iniciação. Esclarecemos que para avaliar o desempenho das turmas estivemos baseados nos resultados obtidos pelos alunos nas avaliações (testes e provas) que seguiram sendo elaboradas de forma tradicional. Quanto à motivação para aprender Física, procuramos captá-la, além das participações em aula, através de diálogos informais com os alunos e também da análise da questão/afirmação 12 do questionário sobre concepções epistemológicas dos estudantes (Quadro 9.2), que será discutido na sequência deste capítulo.

Parece que as formas de raciocínio, o discurso e as estratégias adotadas no ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física não sofreram influências diretas das “visões epistemológicas contemporâneas”, mesmo quando não nos restavam dúvidas de que as concepções do professor eram alinhadas (Prof. A) ou parcialmente alinhadas (Prof. C). Essa assertiva está grandemente baseada na constatação de que as diferentes escolas, com suas diferentes perspectivas, estavam atreladas a uma mesma estrutura básica: ensinava-se uma Física Clássica apresentando seus principais conceitos, leis e teorias, preferencialmente através de fórmulas, ou expressões matemáticas que relacionam os conceitos principais; depois, invertia-se essa perspectiva e procurava-se desenvolver habilidades para manipular as fórmulas, na esperança de que os conceitos e teorias adquirissem significado para os alunos. De maneira geral, os conceitos e as teorias eram apresentados desvinculados de seu contexto de nascença, como se os fenômenos físicos e os procedimentos utilizados pelos cientistas para explicá-los fossem sempre lógicos. Afora as poucas e diferenciadas tentativas do Prof. A, a estrutura geral das aulas era idêntica.

Esse panorama parece sugerir certa tendência dos professores observados de ensinar a Física da forma como eles próprios foram ensinados ao longo da vida escolar, e que essa tendência é mais profunda do que as perturbações causadas pelas novas visões epistemológicas, embora o Prof. A. e a Prof. C se mostrassem e se dissessem por elas conquistados. A respeito do Prof. B pouco se pode afirmar, pois não teve essa iniciação na sua formação.

Mesmo para os professores que tiveram Epistemologia em sua formação, tal processo só se deu no final, ou após a graduação, quando já tinham passado pelas disciplinas de física básica do curso de Física, que em geral são lecionadas de forma tradicional. Por isso, possivelmente, não seria de se esperar bruscas mudanças.

Assim, preliminarmente, a resposta a uma das principais questões-foco desta tese (*como acontece o ensino e aprendizagem da Física quando ensinada sob a perspectiva de uma construção intelectual humana, tentativa, provisória, aberta a novas e melhores explicações? Melhora a motivação e a imagem da Física por parte dos alunos?*) tende a ficar em aberto. A descrição do cotidiano da sala de aula, a tentativa de interpretação das ações dos atores envolvidos, das falas dos alunos, do discurso e estratégias dos professores mostraram que a Física não era ensinada sob um viés de uma construção intelectual humana, tentativa, provisória e aberta a novas e melhores explicações, mesmo nas escolas (Estudos III e V) onde os professores observados tinham concepções adequadas ou parcialmente adequadas às VECs.

Nossas conversas quase diárias com os professores observados, os estudos anteriores (Estudo I e II) e as entrevistas indicaram que o Prof. A tinha concepções bastante alinhadas às VECs e que a Prof. C demonstrava interesse e tinha visões parcialmente adequadas às “visões epistemológicas contemporâneas”, mas que a transposição didática de suas concepções ficou comprometida por fatores que acabaram assumindo, no processo de ensino, proporções maiores do que a variável que nós desejávamos medir, de efeito sutil e extremamente sensível.

Esses fatores tinham a ver com: a forma de atuação dos professores das outras disciplinas, que seguia sendo tradicional; com a reação do alunado visivelmente acostumado a receber o conhecimento pronto; com a estrutura do Ensino Médio cuja educação está voltada para

o vestibular e é pouco devotada à formação da cidadania; e, com a falta de habilidade dos professores observados para gerir e operacionalizar suas próprias concepções sobre a natureza da ciência.

Dessa maneira, o que se pôde observar foi que as visões da natureza da ciência desses dois professores não se faziam presentes de forma explícita quer nos debates, quer na introdução ou explicação de novos conteúdos de Física. Não se colocava em questão a origem e validade dos conceitos, das leis e das teorias, não havia contextualização histórica, nem se destacava as rupturas e as controvérsias que ocorreram ao longo da evolução dos conceitos e das teorias físicas. As poucas tentativas resultaram improdutivas, embora um diferencial, como já referido, deve ser atribuído ao Prof. A (Estudo III) que deu maior ênfase aos conceitos, colocando os cálculos e a manipulação das fórmulas, não raro, em segundo plano. Ainda assim, suas tentativas de fazer compreender a natureza dos princípios físicos (em particular aqueles da Óptica Geométrica) deram-se de forma implícita, sem uma explicitação de suas intenções, e o resultado não foi eficaz.

Para Astolfi e Develay (2008, p. 12/13) toda proposta didática integra três reflexões: *uma epistemológica (aquela que pode dar conta da lógica dos saberes biológicos, físicos ou químicos); uma reflexão psicológica (aquela que pode dar conta da lógica da apropriação dos saberes em geral); e uma reflexão pedagógica (aquela que se ancora mais ainda nas ciências da relação, ou seja, as relações com os alunos, as situações de classe e o que está em jogo, a intervenção do docente, as condições de aprendizagem dos saberes, as questões da vitória e do fracasso escolar)*. E seguem dizendo (op. cit., p. 15): *a reflexão epistemológica propõe-se a um exame da estrutura do saber ensinado: quais são os principais conceitos que funcionam na disciplina, quais relações unem esses conceitos (qual é então o status numa disciplina dada da noção de lei, de teoria), quais retificações sucessivas de sentido se produzem numa história desses conceitos (quais obstáculos foram levantados em sua estrutura)*.

Bachelard (1988) colocou em termos de rupturas e obstáculos a abordagem histórica dos conceitos científicos, o que enfatiza a não-linearidade do progresso do pensamento científico. Ou seja, dentro do próprio ato de conhecer é que surgem causas de estagnação, de inércia e até mesmo de regressão, que Bachelard chama de *obstáculos epistemológicos*.

A superação desses obstáculos representa avanços para o espírito científico e um convite para se pensar a ciência mais em termos de rupturas do que em termos de continuidade.

Daí a importância, segundo Astolfi e Develay (2008, p. 26/27), da reflexão epistemológica em relação à didática. A função do ensino científico, para esses autores, é dupla: *dar aos alunos chaves essenciais permitindo-lhes responder a questões científicas e técnicas em sua vida cotidiana, e ao mesmo tempo, desenvolver neles atitudes e métodos de pensamento que se aproximem dos que as ciências lançam mão (...). Na abordagem do real, o aluno deveria então se comportar de maneira semelhante a um douto (...). Ora, dessas constatações apreende-se que os princípios psicopedagógicos sobre os quais se baseia a escola para instaurar aprendizagens científicas são característicos de uma epistemologia hoje amplamente recolocada em questão.*

Sob essa óptica, um ensino de Física com uma abordagem contextualizada histórica e filosoficamente (Teixeira, El-Hani e Freire, 2001) deveria ser mais eficaz e resultar em aumento do nível de reflexão dos alunos, como era nosso pressuposto.

Não foi o que observamos em nossos estudos de caso, porque tal abordagem não foi, de fato, implementada em nenhum dos casos.

Para Chevallard (apud Almeida, 2007, p.10), há diferenças entre aquilo que se elabora nos espaços puramente científicos e aquilo que é desenvolvido nos ambientes educativos. Essas diferenças não são conceituais, mas sim “textuais”, estão no campo semântico e léxico. Como se um determinado elemento do saber devesse sofrer certas modificações para se tornar apto a ser ensinado. Para esse autor, a transposição didática compõe-se de três partes distintas e interligadas: o *saber sábio*, que é elaborado pelos cientistas; o *saber a ensinar*, aquele contido nos programas, apostilas e livros didáticos; e o *saber ensinado*, aquele que é absorvido pelos alunos mediante adaptações e transformações feitas pelos professores.

É no âmbito dessa transformação dos saberes que o professor de Física pode inserir um viés epistemológico. Parece, pelo que foi possível perceber nos estudos de caso, que a principal diferença esteve no campo léxico, tal que o vocabulário, a forma de introdução, a ênfase em determinados conceitos e teorias, nas explicações como nos exercícios, diferiram significativamente de um professor para outro. Esse aspecto torna-se mais visível

ao se focar os Estudos III e IV, cujos conteúdos abordados eram coincidentes nos períodos em que se deu a observação participante, mas foram trabalhados de forma divergente. Isso sugere que independentemente das condições materiais e de infraestrutura colocadas a sua disposição, o professor é, verdadeiramente, quem dá vida, quem movimenta o processo educativo e é agente da transposição didática.

Por isso, mais uma vez, a questão da formação (da boa formação) dos professores é fundamental se quisermos gerar mudanças na educação em nosso país.

O que se pôde inferir através da observação participante é que a atual estrutura do Ensino Médio, voltada para o vestibular muito mais do que para a formação da cidadania, e a forma bastante tradicional como ocorre a formação acadêmica dos professores de Física, ainda hoje, tende a fazer com que eles reproduzam em boa medida as práticas de ensino com as quais eles próprios foram ensinados, como já referido.

Mesmo quando o professor se mostrou convicto da importância e da necessidade de certas transformações didáticas, especialmente o Prof. A, e pretendeu incluir discussões epistemológicas pareceu encontrar sólidas barreiras conjunturais. Algumas resultavam da atuação inflexível de seus próprios colegas, que seguiam um padrão tradicional de ensinar, baseado na transmissão do conhecimento. Esse tipo de atitude parece recorrente e se manifesta nos alunos que, acostumados a receber o conhecimento pronto, se tornam mais um obstáculo para quem deseja a transformação e acabam, muitas vezes, minando ideais e solapando sonhos. Outras resultavam da carga horária semanal reduzida da disciplina de Física e/ou perda excessiva de aulas o que dificultava discussões mais aprofundadas sob pena de comprometer o programa de ensino. E outras ainda, estavam associadas ao despreparo do professor para discutir explicitamente a natureza da Física.

Assim, ainda que os professores tivessem, e de fato tinham (Prof. A e Prof. C), concepções epistemológicas bastante adequadas às VECs, elas pouco eram acionadas em sala de aula. Daí a dificuldade de se avaliar com objetividade a real contribuição das “visões epistemológicas contemporâneas”, quer seja na melhoria da qualidade do ensino de Física, quer no aumento da motivação ou na transformação da imagem da Física, pelos estudantes.

Nossos resultados parecem indicar que se essa contribuição de fato ocorre, ela é tão incipiente e sutil que não foi possível associá-la a nenhum parâmetro perceptível a nível de melhoria da compreensão, da motivação e da transformação da imagem da Física, pelos alunos.

Há, no entanto, dois aspectos associados à relação entre as visões epistemológicas dos professores e suas práticas didáticas, que serão discutidos nos capítulos seguintes: a “diversificação das estratégias didáticas” e a “adoção de um espírito aberto” por parte dos professores que têm concepções alinhadas às VECs.

Acreditamos que a narrativa etnográfica é sempre uma fonte rica de dados, de situações de sala de aula, de elementos, enfim, que em muito podem auxiliar na compreensão interpretativa das relações intrincadas do processo de ensino e aprendizagem da Física. Através da etnografia se pode tentar extrair aspectos positivos, como também analisar e refletir as lacunas e as dificuldades desse processo.

Nesse sentido, pode-se dizer que foi possível inferir dos Estudos I e II que a inserção de disciplinas específicas, como História e Epistemologia da Física e Epistemologia e Ensino de Física, na formação (graduanda e pós-graduanda) dos professores de Física, resultaram em mudanças importantes nas suas concepções da natureza da ciência.

Mas os Estudos III, IV e V indicaram que as contribuições dessas iniciativas ainda não chegaram à sala de aula do Ensino Médio, não se traduziram em atitudes, discursos e estratégias suficientemente articuladas aos conteúdos de forma a contribuir eficazmente para a melhoria do ensino e aprendizagem da Física ou para aumentar a motivação e incentivar a reflexão crítica dos alunos.

É possível que essas iniciativas isoladas, por si só, não consigam auferir os resultados esperados. Isso parece sugerir a necessidade de mudanças mais profundas na formação dos professores e, conseqüentemente, nas suas práticas didáticas.

Vários fatores discutidos nas análises interpretativas dos estudos de caso eram externos, por assim dizer, à sala de aula. Outros, contudo, estavam visivelmente associados à forma de atuação dos professores. O cruzamento das análises dos diferentes estudos de caso

permite perceber que havia algo em comum entre os professores que tinham convicções epistemológicas contemporâneas: davam mostras de que estavam conscientes da importância dessas visões, mas não conseguiam operacionalizá-las satisfatoriamente em sala de aula. Como planejar uma aula de Física “epistemologicamente correta”? Os professores pareciam não estar preparados para esse desafio.

Esse panorama parece sugerir a necessidade de se repensar, inclusive, a forma de lecionar tais disciplinas na academia. A apresentação de um leque de diferentes visões epistemológicas, como descrito nos Estudos I e II, foi bastante bem recebida pelos professores e futuros professores, mas parece se fazer necessária também a discussão de algumas estratégias para operacionalizar esse aprendizado.

Nossa convivência em sala de aula, com o olhar focado nas possibilidades oferecidas pelas “visões epistemológicas contemporâneas”, sugere que, possivelmente, a destinação de algumas aulas, e quiçá, a ampliação da carga horária dessas disciplinas (História e Epistemologia da Física e Epistemologia e Ensino de Física), por exemplo, poderia oportunizar aos professores e futuros professores um espaço para prepararem, apresentarem e submeterem à discussão dos colegas e do docente, aulas sobre tópicos de Física, com um viés epistemológico, após o estudo das idéias dos epistemólogos.

Atividades desse tipo, seguidas de discussão em grande grupo, aliadas à experiência dos professores e do docente, poderiam resultar em rico aprendizado e troca de experiências, capazes de auxiliá-los na articulação das suas concepções epistemológicas com as práticas docentes, traduzindo-se em estratégias didáticas mais eficazes.

Esse nos pareceu um ponto nevrálgico e talvez mereça ser repensado na academia. Parece, também, insuficiente introduzir nos currículos de graduação e de pós-graduação disciplinas isoladas (História e Epistemologia da Física, ou similar) enquanto o restante dos cursos é lecionado de forma bastante tradicional. Os esforços que buscam transformar as concepções epistemológicas dos professores e futuros professores parecem se constituir em ações isoladas, uma vez que eles não saem preparados para fazer a transposição didática das suas próprias convicções epistemológicas.

Sem dúvida, a inclusão de disciplinas específicas como História e Epistemologia da Física, ou similares, é uma iniciativa importante, necessária e até mesmo indispensável, e deve ser mantida e ampliada, mas parece insuficiente.

Como se pode inferir do Quadro 9.1, não se percebem diferenças marcantes na atuação dos professores capazes de repercutir na motivação dos alunos ou na melhoria da qualidade de ensino de Física, quando se compara, em grandes linhas, a atuação daqueles professores que detinham visões alinhadas (Prof. A) ou parcialmente alinhadas (Prof. C) às visões epistemológicas contemporâneas, que tiveram em sua formação uma iniciação nesse sentido, relativamente ao Prof. B, que não teve essa mesma oportunidade.

Percebe-se, aliás, o contrário: que o rigor técnico, o planejamento metódico e a larga experiência didática do Prof. B conseguiram se converter em resultados práticos na obtenção de uma boa qualidade de ensino e um bom rendimento dos alunos, mesmo que as suas concepções epistemológicas estivessem visivelmente em desacordo com as “visões epistemológicas contemporâneas”. Voltamos a lembrar que o rendimento dos alunos levou em conta os resultados alcançados por eles nas avaliações (testes e provas) que seguiram um padrão tradicional.

Pouco se pôde inferir sobre as concepções e modificações das concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. Esse aspecto será tratado no item seguinte deste capítulo.

Contudo, das narrativas dos estudos de caso e da síntese apresentada no Quadro 9.1, percebem-se indícios de que houve pelo menos uma contribuição das visões epistemológicas contemporâneas: a preocupação com a diversificação das práticas docentes, que como referido, é uma questão que será retomada nos capítulos que se seguem. Ou seja, os professores que tiveram em sua formação acadêmica uma iniciação às visões epistemológicas contemporâneas (Prof. A e Prof. C) tenderam a diversificar suas estratégias didáticas, buscaram mesclar explicações e pequenas demonstrações, tiveram algum cuidado no sentido de associar a Física à vida cotidiana, ora citando exemplos vividos pelos alunos, ora incitando os alunos a expressarem suas idéias e confrontando-as com as teorias cientificamente aceitas. A diversificação das estratégias didáticas parece, portanto, ter sido uma contribuição perceptível das “visões epistemológicas contemporâneas”.

Dito de outra forma, os professores que detinham concepções adequadas às visões contemporâneas da natureza da ciência pareciam mais cuidadosos em diversificar suas práticas didáticas. Isso reforça os achados do Estudo I e II, que sugerem que a inclusão das disciplinas como História e Epistemologia da Física e Epistemologia e Ensino de Física, na formação dos professores de Física, tornam-nos mais críticos e reflexivos. Se pecam, pelo menos não o fazem inadvertidamente.

Esses achados estão de acordo com a literatura. Hashweh (1996), por exemplo, em estudo que envolveu trinta e cinco professores de ciências de diferentes formações e lecionando em diferentes níveis educacionais obteve como resultado que as concepções epistemológicas contemporâneas quando sustentadas pelos professores, eram mais apropriadas para oferecer um *rico repertório de estratégias de ensino* e favoreciam o uso de forma mais efetiva das *estratégias de ensino que induzem mudanças conceituais nos estudantes* e, mais, esses professores informavam e avaliavam mais frequentemente o uso efetivo dessas estratégias de ensino, quando comparados aos professores que sustentavam concepções empiristas.

9.2 Uma análise estatística descritiva sobre as concepções epistemológicas dos alunos de Ensino Médio dos estudos de caso

Nesta etapa procede-se a uma análise estatística descritiva dos resultados da aplicação de um questionário contendo onze perguntas/afirmações sobre alguns aspectos da natureza da ciência e do trabalho dos cientistas. O questionário também incluiu uma questão buscando levantar a proporção de estudantes que afirmava gostar (ou não) da disciplina de Física, tentando associar as respostas à questão da motivação dos alunos para estudar Física.

A elaboração do questionário tomou por base um questionário similar validado e utilizado por Harres (1999), mas que foi grandemente modificado para tornar as afirmações mais simples e aplicáveis a alunos do Ensino Médio.

O questionário, que foi aplicado ao final de cada observação participante nas três turmas de Ensino Médio dos Estudos III, IV e V, é mostrado no Quadro 9.2. Contou com as respostas

de 87 alunos: 41 da escola particular, 28 da escola militar e 18 da escola pública. Como foi narrado no Estudo V, havia 37 alunos inicialmente inscritos naquela turma observada na escola pública, mas apenas 18 efetivamente concluíram o ano letivo e isso explica o número reduzido de respondentes. A afirmação 12 (Q12) será objeto de análise em separado.

Quadro 9.2: Questionário sobre concepções de alunos do Ensino Médio sobre a natureza da ciência, aplicado nos estudos de caso III, IV e V, em 2007/2; 2008/1 e 2008/2, respectivamente.

NATUREZA DA CIÊNCIA			
<p>A seguir são apresentadas algumas afirmações sobre a Natureza da Ciência: como o conhecimento científico é produzido, como evolui, como é o trabalho do cientista e outros aspectos. Em cada afirmativa você pode se posicionar, em uma escala de três pontos, de acordo com sua concordância ou discordância, fazendo um CÍRCULO na opção que melhor representa sua convicção, segundo os seguintes códigos:</p> <p style="text-align: right;">CONCORDO - C INDECISO - I DISCORDO - D</p>			
1. Teorias, Leis e Princípios científicos, uma vez estabelecidos, são fixos e imutáveis, pois têm origem na observação da realidade.	C	I	D
2. A criatividade e imaginação dos cientistas são ingredientes importantes para o avanço do conhecimento científico.	C	I	D
3. O trabalho dos cientistas sempre segue um tipo de método: observação e experimentação cuidadosas, anotação, organização de dados, análise, interpretação e, por fim, formulação de leis e teorias científicas.	C	I	D
4. Todo o conhecimento obtido através do “método” (explicitado no item 3) é científico e qualquer outra forma de obtenção resulta em conhecimento não-científico.	C	I	D
5. O conhecimento científico é provisório, ou seja, as leis e teorias vão mudando com o tempo e com o avanço da tecnologia.	C	I	D
6. Quando o cientista vai ao laboratório ele já tem idéias (pressupostos) sobre o que quer obter e planeja suas observações e experiências de acordo com suas hipóteses.	C	I	D
7. Quando resultados experimentais entram em conflito com leis e teorias bem estabelecidas o erro reside nos dados experimentais, apenas, nunca nas teorias.	C	I	D
8. Existem investigações que não fazem uso de experimentos e que também resultam em conhecimento considerado científico.	C	I	D
9. Uma forma importante de fazer Ciência é construir “modelos”, que são idealizações, simplificações de algum fenômeno ou de parte da natureza e depois se busca comprovações experimentais e explicações científicas.	C	I	D
10. Em toda observação científica sempre é possível distinguir entre o que é (percepção) e o que parece ser (ilusão), de forma que o conhecimento assim obtido é verdadeiro.	C	I	D
11. A Ciência é uma construção do homem, uma profissão em que atuam homens e mulheres comuns (não necessariamente gênios) e tão sujeita a erros como qualquer outra atividade humana.	C	I	D
12. Gosto de Física	C	I	D

Para cada afirmativa o estudante deveria escolher a resposta que mais se aproximasse da sua posição de acordo com sua concordância ou discordância. A resposta de cada questão foi transformada em escore (de um a três). Os escores somados produziram o escore total. Esta foi mais uma modificação em relação ao questionário utilizado por Harres (ibid), que contava com o escore de um a cinco (CF, C, I, D e DF). A modificação foi feita porque alguns alunos de Ensino Médio faziam certa confusão para diferenciar entre as opções “concordo fortemente” (CF) e “concordo” (C), ou entre “discordo” (D) e “discordo fortemente” (DF), utilizadas por Harres. Desta forma, o escore máximo, três (3), sempre foi atribuído às respostas consideradas adequadas às VECs, àquelas do tipo C ou D; escore dois (2) foi atribuído à resposta “indeciso” (I) e, um (1) à opção considerada inadequada às VECs.

O objetivo do questionário foi levantar o grau de adequação das concepções dos estudantes de Ensino Médio observados, relativamente às visões contemporâneas da natureza da ciência e sobre o trabalho dos cientistas.

Destaca-se que os estudantes respondentes vinham sendo lecionados havia dois anos pelos professores de Física observados nos três estudos de caso, de forma que se detectássemos diferenças nas concepções desses alunos sobre a natureza da ciência poderíamos, esperançosamente, associá-las à influência das concepções dos respectivos professores de Física.

Responderam ao questionário 87 estudantes, que constituíam toda a população observada nas três distintas culturas escolares. As respostas coletadas são apresentadas nas Tabelas 9.1, 9.2 e 9.3, organizadas em ordem decrescente de “escore total” obtido pelos alunos, e que também apresentam a *média* para cada questão.

Nas tabelas, os estudantes de cada turma são indicados pelas siglas “ALXX”, onde “AL” significa *aluno* e “XX” é *número* atribuído ao aluno segundo a ordem alfabética. Assim, AL1 representa o “aluno número 1” da turma em questão. Da mesma forma, as questões são representadas pelas siglas Q1 até Q12.

Tabela 9.1: Resultado da aplicação do questionário sobre concepções da natureza da ciência a alunos da Escola Particular (Estudo III)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Gosto de Física? (Q12)	Escore total
AL37	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	S	31
AL38	3	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	S	30
AL7	3	3	3	3	1	1	3	3	3	3	3	S	29
AL23	3	3	1	2	3	3	2	3	3	3	3	I	29
AL34	3	3	1	3	3	2	3	3	3	2	3	I	29
AL35	3	2	1	3	3	2	3	3	3	3	3	S	29
AL41	3	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	S	29
AL32	2	3	1	3	3	2	2	3	3	3	3	N	28
AL2	3	3	2	3	3	2	1	2	3	2	3	S	27
AL15	2	3	1	2	3	2	3	3	2	3	3	S	27
AL16	3	3	1	3	3	1	3	1	3	3	3	I	27
AL19	2	3	1	2	3	3	3	2	3	2	3	I	27
AL33	1	3	2	3	1	3	3	3	2	3	3	S	27
AL12	3	3	1	2	3	3	2	3	1	2	3	I	26
AL18	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	3	I	26
AL21	2	3	1	3	1	2	3	3	3	2	3	S	26
AL4	1	3	1	3	3	3	2	1	3	2	3	N	25
AL6	2	3	1	2	3	3	2	3	2	1	3	N	25
AL27	1	3	1	3	2	3	3	2	2	2	3	I	25
AL39	3	1	2	3	3	1	3	3	2	1	3	S	25
AL14	1	3	1	2	3	3	2	2	3	1	3	I	24
AL24	3	3	1	2	2	3	3	1	2	1	3	N	24
AL26	3	3	3	2	2	1	1	2	3	1	3	N	24
AL28	3	3	1	2	3	2	2	3	2	2	1	N	24
AL30	3	1	1	2	3	3	2	2	3	1	3	N	24
AL1	2	3	1	3	3	2	1	1	2	2	3	N	23
AL3	2	3	1	3	1	3	2	1	3	1	3	S	23
AL9	1	3	2	2	3	1	3	3	1	1	3	N	23
AL13	2	1	1	2	3	1	2	3	2	3	3	I	23
AL20	1	3	1	2	1	3	3	2	3	2	2	I	23
AL25	3	3	1	3	3	1	1	3	1	1	3	S	23
AL29	3	3	1	3	2	1	1	1	2	3	3	N	23
AL8	3	3	1	3	3	1	1	1	2	1	3	I	22
AL11	2	3	1	2	1	2	2	3	2	1	3	I	22
AL31	1	3	1	2	3	3	1	1	3	1	3	N	22
AL5	1	3	1	2	1	3	2	2	3	1	2	S	21
AL17	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	I	21
AL36	1	3	1	1	2	2	1	3	3	1	3	I	21
AL40	2	2	1	2	3	1	1	2	2	2	3	N	21
AL10	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	I	19
AL22	1	1	1	1	1	3	3	1	3	1	3	S	19
Média	2,2	2,7	1,3	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2	2,5	1,8	2,8		24,8

Tabela 9.2: Resultado da aplicação do questionário sobre concepções da natureza da ciência a alunos da Escola Militar (Estudo IV)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Gosto de Física? (Q12)	Escore total
AL4	3	3	1	3	3	2	3	3	3	3	3	N	30
AL17	3	3	1	3	3	3	3	3	3	2	3	S	30
AL10	3	3	1	2	3	3	3	3	3	2	3	N	29
AL20	3	3	1	3	3	3	1	3	3	3	3	I	29
AL25	3	3	1	3	3	3	3	1	3	3	3	S	29
AL7	3	3	1	3	2	3	3	2	3	2	3	I	28
AL23	3	3	1	3	3	2	3	3	2	2	3	S	28
AL3	3	3	1	2	3	2	3	2	3	2	3	S	27
AL6	3	3	1	3	3	2	2	2	3	2	3	S	27
AL8	3	3	1	1	3	3	2	3	3	2	3	S	27
AL9	3	3	1	2	3	3	2	3	2	3	2	N	27
AL19	3	3	1	1	3	2	3	3	3	2	3	S	27
AL24	3	3	1	3	2	3	2	2	3	3	2	I	27
AL15	3	3	1	2	1	3	2	3	3	2	3	S	26
AL18	3	3	1	1	3	3	3	2	3	1	3	S	26
AL21	3	3	1	3	3	3	1	2	3	1	3	S	26
AL26	3	3	1	2	3	3	2	3	2	1	3	I	26
AL27	3	3	3	3	1	2	1	1	3	3	3	S	26
AL1	2	3	1	2	2	2	3	2	3	2	3	N	25
AL16	3	3	1	1	3	2	2	1	3	3	3	S	25
AL11	1	3	1	2	1	2	3	3	3	2	3	S	24
AL12	3	3	1	2	1	1	3	2	3	2	3	I	24
AL22	3	3	1	2	3	2	2	1	3	1	3	S	24
AL28	3	3	1	2	2	1	3	2	1	3	3	N	24
AL2	3	3	1	2	1	3	3	1	2	1	3	I	23
AL13	3	3	1	1	1	3	3	1	3	1	3	S	23
AL5	1	3	1	2	2	1	1	3	3	1	3	S	21
AL14	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	I	20
Média	2,8	3,0	1,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,2	2,8	2,0	2,9		26,0

Tabela 9.3: Resultado da aplicação do Questionário sobre concepções da natureza da ciência a alunos da Escola Pública (Estudo V)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Gosto de Física (Q12)	Escore total
AL14	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	S	31
AL9	3	3	1	2	3	3	3	2	3	2	3	S	28
AL15	3	3	1	3	3	3	2	1	2	3	3	I	27
AL1	1	3	2	1	3	3	3	2	3	2	3	N	26
AL5	2	3	1	3	3	2	2	3	3	2	2	S	26
AL6	3	3	1	3	2	3	2	1	3	2	3	S	26
AL11	2	3	1	2	2	3	3	2	3	2	3	I	26
AL13	3	3	1	1	3	3	2	2	3	2	3	N	26
AL16	3	3	1	3	3	1	2	2	3	2	3	S	26
AL7	3	2	1	3	2	1	2	2	3	3	3	I	25
AL8	3	3	1	2	3	2	2	3	3	1	2	S	25
AL4	2	3	1	2	3	2	3	3	2	1	2	N	24
AL12	3	3	1	1	3	1	2	2	3	2	3	N	24
AL17	2	3	1	2	1	3	2	2	3	2	3	N	24
AL3	1	3	1	2	3	2	2	2	3	2	2	N	23
AL10	2	3	1	1	2	2	3	1	3	2	3	N	23
AL18	2	3	1	2	3	1	1	3	3	2	2	N	23
AL2	2	3	1	3	1	1	2	3	2	1	2	N	21
Média	2,4	2,9	1,1	2,2	2,6	2,2	2,3	2,2	2,8	2,0	2,7		25,2

Costa Neto (1983, p. 5), define a Estatística Descritiva como sendo a parte da Estatística que se preocupa em organizar e descrever resultados observados com o fim de extrair informações contidas nesses resultados. Segundo esse autor, não se trabalha estatisticamente com os elementos existentes, mas sim com algumas características desses elementos. No presente estudo, a característica de interesse é a adequação (ou não) das concepções dos estudantes de Ensino Médio observados às visões epistemológicas contemporâneas, ou VECs.

Assim, a variável de interesse é tipicamente qualitativa já que, segundo Barbetta (2003, p. 28), *quando os possíveis resultados são atributos ou qualidades, a variável é dita qualitativa*. Mas, como já explicitado, foi transformada em quantitativa atribuindo-se a cada tipo de resposta um valor numérico, um escore, que variou de 3 a 1, de acordo com a adequação ou inadequação das concepções do estudante relativamente às VECs.

Com base no escore médio de cada questão (da Q1 a Q11) das Tabelas 9.1, 9.2 e 9.3 foi construído o Gráfico 9.1.

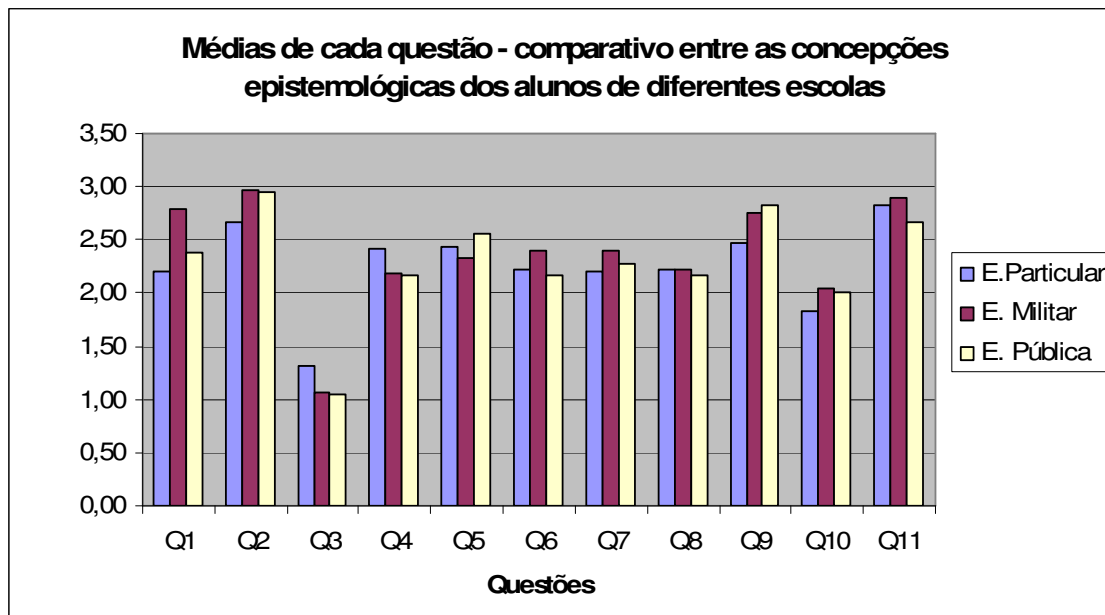


Gráfico 9.1: Escore médio das onze questões de um teste sobre concepções epistemológicas aplicado a estudantes de Ensino Médio de três diferentes escolas de Porto Alegre, RS.

O Gráfico 9.1 mostra através de um diagrama de barras a distribuição da média do escore de cada questão para as três culturas escolares. Percebe-se que não há discrepâncias acentuadas, na maioria das questões, entre as diferentes turmas das distintas escolas observadas. Existem pequenas diferenças que serão comentadas na sequência desta análise.

Este panorama, inicialmente, parece reforçar nossos achados anteriores, de que não se observaram diferenças apreciáveis na atuação dos professores de Física que tinham visões alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas (Prof. A e Prof. C), comparativamente ao professor que não tinha esse tipo de formação (Prof. B).

Isto, novamente, nos remete à questão da transposição didática. Chevallard (1991) afirma que há um enorme passo entre o *saber sábio*; o *saber a ensinar* e o *saber ensinado*. No caso das VECs parece haver também uma lacuna entre as concepções epistemológicas dos professores de Física e a forma como eles apresentam a Física no seu fazer em sala de aula.

Quando ouvidos, em diálogos fora da sala de aula e nas entrevistas, o Prof. A e a Prof. C sempre se mostraram convictos de que apresentar as leis e teorias da Física como uma construção do homem, tentativa, não definitiva, aberta à mudança, assim como discutir suas controvérsias, é importante para aumentar a motivação, o gosto pela Física e para despertar reflexões críticas nos seus alunos.

Quando observados no cotidiano da sua atuação, no entanto, esses professores pareceram encontrar barreiras intransponíveis para implementar suas convicções: não sabem como operacionalizar suas próprias concepções epistemológicas, utilizam em boa medida aulas expositivas, dificilmente extrapolam os limites de cada conteúdo visando abordar ou alertar para a existência de novas idéias, conceitos modificados, especialmente aqueles da Física Moderna e Contemporânea, mostram despreparo para otimizar as atividades e administrar o tempo. Quando tentam abordar questões sobre a natureza da ciência, fazem-no de forma tão desarticulada que parece surtir efeito contrário, ou fazem-no de forma implícita, como se os alunos por si próprios tivessem condições de processar a mudança, que de fato não ocorre.

Nesse sentido, chamam a atenção no Gráfico 9.1, as questões Q2, Q3 e Q11. Nessas questões houve maior harmonia das respostas dos alunos das três diferentes culturas escolares e por isso nos deteremos um pouco mais nessas análises. Lembramos que quando o escore médio se aproximava de “três”, isto mostrava uma tendência de respostas “adequadas” às VECs e quando se aproximava de “um” a tendência era de respostas “inadequadas”.

Começaremos pela questão 3, que faz uma descrição do processo de produção do conhecimento científico baseado na premissa de existência do “método científico” como definido pelo empirismo-indutivismo: *observação e experimentação cuidadosas, anotação, organização de dados, análise, interpretação e por fim formulação de leis e teorias científicas*. Uma espécie de receita ou sequência algorítmica. Trata-se de uma visão superada pela epistemologia contemporânea. O filósofo da ciência Paul Feyerabend, na obra “Contra o Método”, foi um opositor ferrenho a essa idéia. Afirmou que *a idéia de um método estático ou de uma teoria estática da racionalidade funda-se em uma concepção demasiado ingênua do homem e de sua circunstância social. (...) só há um princípio que pode ser defendido em todas as circunstâncias e em todos os estágios do desenvolvimento*

humano. É o princípio: tudo vale” (1989, p. 34). David Bohm (1998) ao propor sua *teoria das variáveis ocultas*, uma interpretação alternativa à interpretação usual da Mecânica Quântica, sugeriu que, com o que concorda Mario Bunge (1985), a ciência adquire *status* similar ao da arte, isto é, não se trata de uma atividade exercida através de um conjunto de regras práticas e bem definidas, mas onde a *criatividade* assume um papel fundamental.

Para melhor visualização da tendência de compreensão desse aspecto da epistemologia contemporânea, foram construídas a Tabela 9.4 e o Gráfico 9.2 que mostram a distribuição de frequência dos escores da questão Q3 (escore 3 - visão adequada; escore 2 – indecisos; escore 1 - visão inadequada).

Tabela 9.4: Distribuição de frequência dos escores obtidos pelos alunos de Ensino Médio das escolas Particular, Militar e Pública, para a questão 3 ou Q3.

Questão 3	Escola Particular	Escola Militar	Escola Pública	Total	Percentual
Respondentes com escore 3	4	1	0	5	5,7%
Respondentes com escore 2	5	0	1	6	6,9%
Respondentes com escore 1	32	27	17	76	87,4%
Total	41	28	18	87	100%

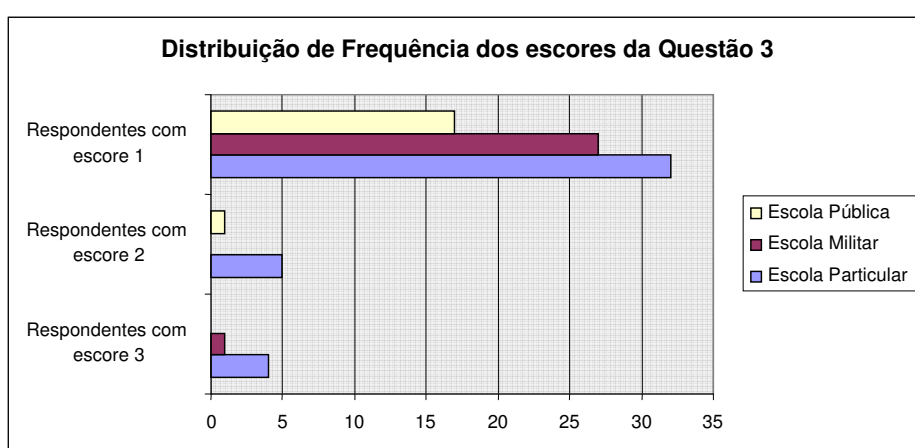


Gráfico 9.2: Distribuição de frequência dos escores obtidos pelos alunos de Ensino Médio das escolas Particular, Militar e Pública, para a questão 3 (Q3).

A Tabela 9.4 e o Gráfico 9.2 mostram que a maioria dos alunos observados acredita na existência do “método científico”. Precisamente 76 de um total de 87 estudantes

responderam que concordam (C), 6 fizeram a opção “indeciso” (I) e apenas 5 discordaram (D). Estes números indicam que um percentual de 87,4% dos alunos observados indicam crer na existência de um “método científico” algorítmico para se fazer ciência. Essa crença aparentemente independe de variáveis como: idade, gênero, condição sócio-econômica, tipo de escola, nível de ensino e concepções epistemológicas do professor de Física.

Esse percentual parece indicar uma resposta direta a uma das questões-foco desta tese. Sugere que as visões epistemológicas contemporâneas dos professores não influenciaram na modificação das concepções bastante enraizadas dos alunos (especialmente na existência de um “método científico” algorítmico no processo da ciência).

A aparente falta de potencialidade das visões epistemológicas dos professores parece contrariar a literatura corrente. Praia e Cachapuz (1994), por exemplo, afirmaram que a imagem de ciência tida pelos alunos depende em boa medida do que lhes é proporcionado pelos seus professores de ciências. Petrucci e Dibar Ure (2001) e Lederman *et al.* (2002) também vão nessa linha quando informam que visões inadequadas da natureza da ciência de estudantes de Biologia e de ciências, não raro, são atribuídas às posturas epistemológicas dos professores. Por outro lado, sinaliza a necessidade de se repensar se de fato se muda a noção de “método científico” quando se sustenta que a visão empirista-indutivista está superada. Dito de outra forma, parece questionar se vale o esforço de tentar demover esse tipo de visão dos alunos.

Diálogos mantidos com alunos de Ensino Médio das turmas observadas nos mostraram que eles não foram lecionados sobre o “método científico”, mas sedimentaram essa concepção através de vários fatores: a forma como as disciplinas de ciências em geral foram lecionadas ao longo de sua vida escolar, normalmente, apresentando as teorias como prontas, acabadas, e o caráter inquestionável da ciência transmitido principalmente pela mídia. Outras variáveis de importância são citadas na literatura e estão associadas à influência dos livros de texto, que transmitem visões equivocadas do “método científico” (Moreira e Ostermann, 1993), fazem uma reconstrução *a posteriori* e uma leitura histórica cristalizada das teorias científicas (Silva, 2007) e, em geral, oferecem representações ingênuas da natureza da ciência (Abd-El-Khalick, Waters e Le, 2008).

O alto índice de concordância dos estudantes ao responderem essa questão talvez suscite a necessidade de se revisitar a noção de “método científico”, já que demover a concepção de que existe um “método” parece uma tarefa difícil e até mesmo pouco promissora. Talvez, então, seja mais plausível transformá-la.

Tem-se que, de fato: nenhuma teoria epistemológica contemporânea abre mão da verificabilidade, em alguma medida, das teorias; a especialização crescente e a instrumentação cada vez mais sofisticada da pesquisa científica atual não eliminam o requisito da reprodutibilidade; que inúmeros enunciados não são verificáveis apenas por procedimentos empíricos, ou seja, a Física Teórica, por exemplo, é tão científica quanto a Física Experimental e sua testagem ocorre, às vezes, muito tempo depois. Assim, para que um conjunto de dados ou uma proposição formal seja aceita, ainda que provisoriamente, deve ser possível enumerar as operações, quer sejam empíricas ou racionais, de maneira suficientemente clara para que outros pesquisadores possam reproduzi-las. Esses “procedimentos científicos” são específicos para cada área de pesquisa, dependem em grande medida do conhecimento já produzido e aceito pela comunidade científica, e muito provavelmente distingue o fazer científico de outros tipos de atividades humanas.

Para Bunge, a verificabilidade das teorias é uma das características fundamentais das ciências fáticas (ciências da natureza). Assevera que o que hoje se chama “método científico” já não é uma lista de receitas para obter respostas corretas a perguntas científicas, senão o conjunto de procedimentos pelos quais a) se propõem problemas científicos e b) se põem à prova as hipóteses científicas (Bunge, 1960, p. 50/51). Na visão desse autor as “regras de procedimento” não são cânones intocáveis porque não garantem a obtenção da verdade, mas facilitam a detecção de erros e podem aumentar a fecundidade do trabalho científico.

Por isso, talvez seja importante transformar a noção usual de “método científico”, de fato inadequada, já que passa uma idéia de infalibilidade da ciência, para uma nova noção, que leve em conta a provisoriedade das teorias e a evolução dos conceitos. A noção de “procedimentos científicos” subjacentes às atividades nas diversas áreas de pesquisa parece mais flexível e mais compatível com a pesquisa contemporânea. Poder-se-ia chamar a atenção de estudantes e professores que diferentes “procedimentos científicos” distinguem os diversos ramos da Física, e da ciência em geral. Uma discussão assim poderia ser mais

oportuna para gerar reflexão crítica dos professores e alunos do que simplesmente combater o “método científico”.

Sobre a afirmação 2 do questionário (Q2), foi construída a Tabela 9.5 para visualizar a proporção de estudantes que concordam com a proposição: *criatividade e imaginação dos cientistas são ingredientes importantes para o avanço do conhecimento científico*. Essa idéia pode ser considerada de consenso entre os epistemólogos contemporâneos, pois agrega ao trabalho dos cientistas um traço mais humano, menos indutivista. Bunge sintetiza bem essa idéia ao afirmar que *nenhuma teoria física jamais resultou da contemplação das coisas ou mesmo dos dados empíricos – toda teoria física tem sido a culminação de um processo criativo que ultrapassa em muito os dados à mão. (...). As teorias científicas, longe de serem sínteses indutivas, são criações – sujeitas à comprovação empírica, para serem confiáveis, mas nem por isso menos criativas* (Bunge, 2000, p.17).

Tabela 9.5: Distribuição de frequência dos escores obtidos pelos alunos de Ensino Médio das escolas Particular, Militar e Pública, para a questão 2.

Questão 2	Escola Particular	Escola Militar	Escola Pública	Total	Percentual
Respondentes com escore 3	33	27	17	77	88,5%
Respondentes com escore 2	2	1	1	4	4,6%
Respondentes com escore 1	6	0	0	6	6,9%
Total	41	28	18	87	100%

A Tabela 9.5 mostra que 77 de um total de 87 estudantes responderam que concordaram com essa idéia, um percentual de 88,5% dos estudantes pesquisados.

Cabe aqui uma reflexão: como os alunos podem acreditar na existência de um “método científico” algorítmico para se fazer ciência e ao mesmo tempo, em proporção ainda maior, concordar que *criatividade e imaginação* são ingredientes indispensáveis para o avanço do conhecimento científico? Num primeiro momento esse achado parece paradoxal. Não é fácil de ser explicado de forma simplista. Tentamos compreendê-lo da perspectiva dos estudantes. Nossa permanência em sala de aula permitiu conhecer melhor os alunos, a

escola, o professor, oportunizou conversas informais com os alunos e possibilitou que escutássemos diálogos, em aula e fora dela, entre os próprios alunos, nos diferentes contextos observados. Em todas essas oportunidades nos pareceu que os jovens não consideram essas duas características excludentes. Nessa faixa etária eles aceitam com facilidade e até mesmo de forma irrefletida, novas idéias em diferentes esferas da vida; têm amplo acesso à informação, mesmo aqueles oriundos de classes menos favorecidas economicamente têm acesso à internet nos meios comunitários, convivem naturalmente com o mundo virtual e detêm visões de mundo bastante flexíveis. Parece intuitivo, para eles, que idéias criativas e imaginativas estejam associadas ao trabalho dos cientistas ainda que os dados empíricos devam ser obtidos, segundo acreditam, de forma metódica. Criatividade e imaginação, quase se confundem com genialidade, são ingredientes necessários para captar de forma adequada o que os dados empíricos transmitem de forma codificada. Um “desvelar” das leis da natureza que, muito provavelmente, difere em muito do processo de construção de hipóteses e explicações científicas preconizado pela epistemologia contemporânea. Não é possível afirmar, todavia, que todos os estudantes tenham esse tipo de percepção. Há também os que vêem o cientista sob o estereótipo do *excêntrico homem cabeludo de jaleco branco*, um achado comum na literatura (McAdam, 1990; Vílchez-González e Palácios, 2006; Mesquita e Soares, 2008).

É compreensível que, para os alunos, criatividade e imaginação sejam pensadas como quesitos fundamentais para o trabalho dos cientistas e convivam pacificamente com a idéia da existência de um “método científico” infalível, porque visto de forma retrospectiva, o conhecimento científico parece um empreendimento inquestionável, derivado de idéias geniais, capazes de promover saltos excepcionais. Ou seja, uma vez que o contexto local, temporal e social das “descobertas” não ganha destaque no ensino e também nos livros de texto, vale o resultado final, ele é quem se perpetua. Em segundo lugar, não se ensina uma Física Contemporânea, explicitando os grandes desafios teóricos e práticos do nosso tempo, as controvérsias, a existência de distintas correntes debruçadas sobre um mesmo problema científico, a enorme interdependência com relação aos instrumentos e arranjos experimentais sofisticados, o peso de hipóteses teóricas matematicamente coerentes. Ensina-se tão somente uma Física retrospectiva que, como já mencionado, aceita com facilidade a parceria “método científico” e “criatividade e imaginação” (associadas à genialidade dos cientistas, em geral, como referido).

Esse cenário parece sugerir que se quisermos ensinar uma Física que faça sentido para o cidadão, e onde as novas visões epistemológicas possam contribuir de forma efetiva, o ensino hoje vigente deveria passar por severas modificações. Não só as estratégias didáticas, mas também os conteúdos precisam ser revisados, modificados para que a Física se torne compreensível, para que se possa diminuir o analfabetismo científico. Em suma, para que se promova uma aprendizagem menos mecânica e mais significativa e reflexiva.

Com relação à questão 11 (Q11), as respostas dos estudantes parecem sugerir que eles detinham certas concepções alinhadas às “visões epistemológicas contemporâneas”. Afirma essa questão que a ciência é *uma construção do homem, uma profissão em que atuam homens e mulheres comuns (não necessariamente gênios) e tão sujeita a erros como qualquer outra atividade humana*. A afirmação procura refutar a noção estereotipada de que o conhecimento e o trabalho científico dependem, como discutido anteriormente, de *insights* de genialidade individual dos cientistas. Dito de outra forma, uma crença em “habilidades especiais” atribuídas a “seres especiais”.

Nessa questão, como se pode ver na Tabela 9.6, 84% dos respondentes concordaram com a afirmação, apenas 2 discordaram (2,2%), e os demais responderam a opção “indeciso” (13,8%). Se esses percentuais sugerissem que a maioria dos alunos de Ensino Médio observados tinha algumas concepções alinhadas às “visões epistemológicas contemporâneas” isso independeria das concepções epistemológicas dos professores de Física que os estavam lecionando. Vê-se no Gráfico 9.3 que justamente os alunos da escola militar, onde o professor tinha visões não alinhadas às VECs, foram os que em maior percentual concordaram com a afirmação. Isso pareceria reforçar o achado que responde nossa principal questão de pesquisa, ou seja, de que não há como associar esses resultados às “visões epistemológicas contemporâneas” porque as respostas dos alunos foram semelhantes para turmas lecionadas por professores com diferentes concepções epistemológicas.

Salientamos que os alunos desconheciam que o foco de nossa observação participante era investigar a contribuição das visões epistemológicas contemporâneas no ensino de Física. Pensavam que nosso desejo era perceber como eles lidavam com os conceitos da Física e suas representações matemáticas, tão somente. Em nenhum dos estudos de caso fizemos qualquer intervenção para falar sobre a natureza da ciência. Nossas intervenções se

limitaram a, esporadicamente, auxiliar na articulação de conceitos ou nas interpretações de fenômenos físicos. Dessa forma, o questionário foi surpresa para os alunos e não houve motivos para supor que estivessem predispostos a responder como o esperado. Também não foram solicitados a se identificar no preenchimento do questionário. Por isso, cremos que os estudantes responderam conforme suas próprias convicções.

Tabela 9.6: Distribuição de frequência dos escores obtidos pelos alunos de Ensino Médio das escolas Particular, Militar e Pública, para a questão Q11.

Questão 11	Escola Particular	Escola Militar	Escola Pública	Total	Percentual
Respondentes com escore 3	36	25	12	73	84%
Respondentes com escore 2	3	3	6	12	13,8%
Respondentes com escore 1	2	0	0	2	2,2%
Total	41	28	18	87	100%

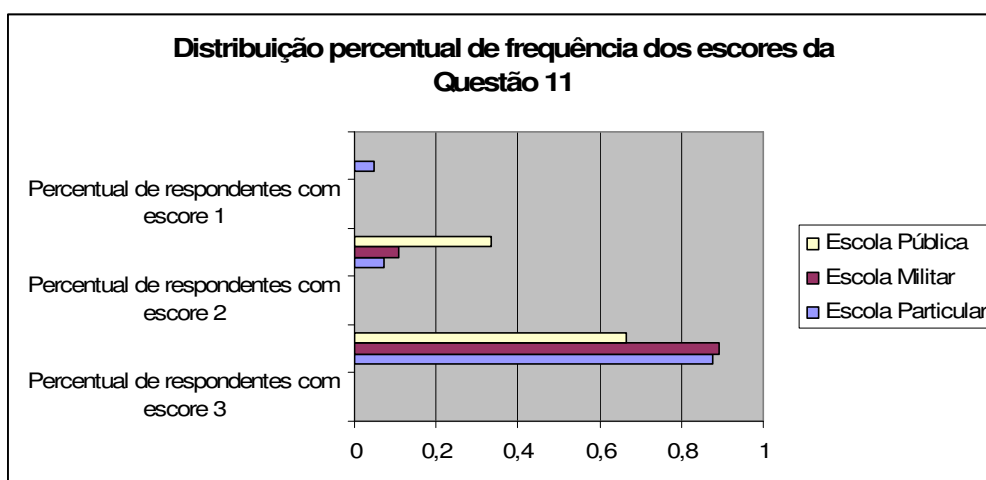


Gráfico 9.3: Distribuição percentual de frequência dos escores obtidos pelos alunos de Ensino Médio das escolas Particular, Militar e Pública, para a questão Q11.

De forma panorâmica, não se observam no Gráfico 9.1 discrepâncias importantes entres os respondentes dos três contextos escolares (escolas particular, militar e pública) em nenhuma das onze questões, o que, novamente, sugere que as diferentes concepções epistemológicas dos professores não contribuíram para modificar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência.

A afirmação 12 do questionário, que a princípio parece desconectada das demais, teve o objetivo de levantar o percentual de estudantes de Ensino Médio com os quais convivemos nos períodos de observação participante que afirmava gostar de Física. Procuramos associar esse resultado ao quesito motivação e assim tentar responder a uma das questões de pesquisa.

Obtivemos que 36 estudantes, ou 41% dos observados, disseram gostar de Física. Via de regra, os alunos que obtinham bom desempenho na disciplina afirmavam gostar da disciplina. Isso era percebido nos diálogos com os próprios alunos.

Não era incomum ouvir, nas conversas informais, verbalizações do tipo: a “Física fala grego para mim”, é um “bicho papão”, “odeio Física”, é “impossível entender Física”. Expressões desse tipo foram comuns nas três turmas que observamos, nas três diferentes culturas escolares. Com frequência, os alunos que assim se manifestavam, acabavam associando àqueles colegas que tinham melhor desempenho na disciplina certas características, em geral atribuídas aos cientistas: a genialidade, por exemplo. Desta forma, pode-se afirmar, sem receio, que a Física ainda é a disciplina que mais assusta os estudantes e é, de maneira geral, considerada a mais difícil. Como eles mesmos diziam, não basta saber Matemática para se sair bem em Física, é preciso interpretar os fenômenos, os enunciados dos problemas, o significado das expressões matemáticas que relacionam os conceitos.

Diante da afirmação “gosto de Física” o percentual médio de “indecisos” e “não” foi de 59%, assim distribuídos: 66% na turma do Prof. A (escola particular); 43% na turma do Prof. B (escola militar) e 67% na turma da Prof. C (escola pública). Este resultado, mais uma vez, denota que no grupo onde o nível de ensino era mais elevado e o rendimento médio dos alunos era melhor, eles afirmavam em maior número gostar de Física, tal que o percentual de “não” e “indecisos” foi o menor (43%) frente às demais turmas observadas. Isto parece sugerir que obter bom rendimento nas avaliações aumenta o “gostar de Física”. E isto foi observado na escola militar onde, se por um lado os alunos eram mais qualificados e rigorosamente selecionados, por outro, o Prof. B tinha visões não alinhadas as “visões epistemológicas contemporâneas”. Este resultado parece reforçar os achados até aqui discutidos.

As duas outras culturas escolares obtiveram percentuais idênticos de “não” e “indecisos”: 66% na escola particular e 67% na escola pública. Percebe-se um emparelhamento dos resultados embora as realidades escolares fossem muito diferentes, desde as condições materiais até as organizacionais e pedagógicas. Nessas duas realidades observadas os professores tinham concepções epistemológicas alinhadas ou parcialmente alinhadas às VECs.

Esse resultado parece contrariar nosso pressuposto inicial: de que professores de Física com visões epistemológicas alinhadas às VECs tenderiam a adotar estratégias didáticas mais adequadas e assim melhorar a qualidade do ensino e aumentar a motivação dos alunos para aprender Física. O que obtivemos não corrobora totalmente essas expectativas.

Pode-se inferir aqui novamente que o fato de o professor de Física ter visões alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas não garante que ele as articule adequadamente de forma a promover contribuições efetivas objetivando aumentar a motivação dos alunos para gostar e aprender Física. Pelo menos não observamos isso nos estudos de caso desenvolvidos neste trabalho.

A motivação parecia atrelada a outras variáveis muito mais relevantes para os alunos como a de se sentirem felizes quando adquiriam habilidades para resolver exercícios acertadamente, quando eram reconhecidos pelo professor e pelos colegas e, especialmente, quando obtinham bons resultados nas avaliações (testes e provas). A obtenção de bons resultados parecia funcionar como estímulo para estudar mais e adquirir o gosto pela Física. O contrário também era observável, ou seja, sucessivos maus desempenhos pareciam desmotivar ainda mais os alunos e nessa posição as manifestações verbais de aversão à Física eram mais comuns e, no caso da escola pública, chegava a ser um incentivo à evasão.

Embora o behaviorismo esteja “fora de moda” e altamente criticado é bem plausível interpretar esses dados em termos de reforço positivo e reforço negativo.

É bem verdade que existem ferramentas potenciais para motivar e auxiliar os estudantes a superarem as dificuldades de compreensão de conteúdos de Física, e a literatura é rica em exemplos. Pode-se citar a integração entre atividades de laboratório e simulação e

modelagem computacionais (Dorneles *et. al*, 2006), as atividades de laboratório (Marineli e Pacca, 2006), o tipo de discurso do professor (Freire, 2009), o uso de ferramentas de gestão (Rosa, 2008), entre outras.

Marineli e Pacca (2006) consideram que os erros e as dificuldades dos estudantes no trabalho de laboratório, por exemplo, se devem a uma concepção inadequada relativa à Física como uma realidade dada. Essa concepção, segundo os autores, pode ser mais forte do que as dificuldades com o formalismo estatístico para o tratamento dos dados.

Contudo, nossos achados, com base nos estudos de caso que compõem esta tese, não nos autorizam a afirmar que as visões epistemológicas contemporâneas, mesmo quando os professores tinham iniciação em Epistemologia e se mostravam conquistados pelas novas teorias da natureza da ciência, contribuíram eficazmente para uma melhoria da motivação e do ensino e aprendizagem da Física. As novas visões pareceram oferecer pequenas contribuições, mas muito desarticuladas, esporádicas e pouco eficazes. Os professores com formação em Epistemologia quando comparados com o Prof. B, que tinha visões não alinhadas às "visões epistemológicas contemporâneas", obtinham resultados até mesmo inferiores aos do Prof. B que tinha, em contrapartida, grande experiência docente, segurança e bom domínio dos conteúdos.

A transposição didática das visões contemporâneas dos Prof. A e Prof. C se mostrou problemática, como já discutido, e transpareceu a falta de habilidade desses professores para operacionalizar suas visões, otimizar seu discurso integrando a forma de apresentar os conteúdos de Física ensinados com as novas visões sobre a natureza da ciência.

Adicionalmente, observando-se com cuidado as Tabelas 9.1, 9.2 e 9.3 percebe-se que, em geral, os alunos que obtiveram maior escore total nas afirmações sobre a natureza e o processo da ciência, tenderam a responder "sim gosto de Física" enquanto que os de menor escore total tenderam a responder "não". Isso poderia sugerir que estudantes que dizem gostar de Física entendem melhor a natureza e o processo da ciência ou então que estudantes que entendem a natureza da ciência de forma mais contextualizada afirmam com maior frequência que "gostam de Física", mas nossos dados não nos permitem ir além da conjecturação.

Capítulo 10

ANÁLISE DE ENTREVISTAS COM PROFESSORES DE FÍSICA

Este capítulo apresenta uma análise de entrevistas realizadas com os professores de Física dos Estudos III, IV e V. Os professores foram identificados naqueles estudos de caso com as siglas Prof. A, Prof. B e Prof. C, respectivamente, e serão mantidas nesta análise.

Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 134):

Em investigação qualitativa, as entrevistas podem ser utilizadas de duas formas. Podem constituir a estratégia dominante para a recolha de dados ou podem ser utilizadas em conjunto com a observação participante, análise de documentos e outras técnicas. Em todas as estas situações, a entrevista é utilizada para recolher dados descritivos na linguagem do próprio sujeito, permitindo ao investigador desenvolver intuitivamente uma idéia sobre a maneira como os sujeitos interpretam aspectos do mundo.

Nos estudos de observação participante, o investigador geralmente já conhece os sujeitos (...). Contudo, especialmente no final do estudo, quando se procura informação específica, o observador participante determina momentos para se encontrar com os sujeitos, com vista a conduzir uma entrevista mais formal.

Nesse espírito é que foram conduzidas entrevistas com os três professores de Física, ao final das observações participantes, ou seja, com o objetivo de complementar as informações já colhidas nos estudos de caso etnográficos narrados nos capítulos precedentes. O tipo de entrevista utilizada foi o da *entrevista semiestruturada* que é formulada através de questões abertas, flexíveis, que permitem aos entrevistados verbalizarem seus pensamentos, tendências e reflexões sobre os temas apresentados (Rosa e Arnoldi, 2008).

Por se tratarem de entrevistas longas e difíceis de captar de forma completa foram gravadas em áudio e depois transcritas para fins de análise.

Apresentamos, na sequência, as questões e os aspectos que consideramos mais relevantes das falas dos professores cujas aulas observamos, e que diretamente se relacionam com o foco da presente pesquisa. Todas as entrevistas aqui analisadas foram realizadas com os docentes depois de concluídas as observações participantes, como já dito, ou seja, após

vários meses de convivência em sala de aula entre investigadora, professores e alunos, de forma que já tínhamos importantes informações sobre as concepções epistemológicas desses professores e de suas relações com as estratégias didáticas por eles privilegiadas.

Buscamos, contudo, compreender da perspectiva dos próprios sujeitos, na condição de informantes, como eles percebiam essas questões. Desta forma, percepções, reflexões e opiniões pessoais foram tomadas como dados, muitas vezes reveladores, sobre suas concepções, suas práticas didáticas e as relações com o contexto escolar e social.

O Quadro 10.1 mostra as principais questões que orientaram as entrevistas, muito embora no decorrer dos diálogos algumas dessas perguntas se desdobraram em outras mais para permitir que o entrevistado falasse livremente sobre o cada assunto. Mesmo porque *quando o entrevistador controla o conteúdo de uma forma demasiado rígida, quando o sujeito não consegue contar a sua história em termos pessoais, pelas suas próprias palavras, a entrevista ultrapassa o âmbito qualitativo* (Bogdan e Biklen, 1994, p. 135).

A análise limitou-se às seis questões mostradas no quadro, embora os diálogos tenham sido bem mais amplos, pois foram respondidas por todos os professores e também para possibilitar o critério da uniformidade.

Quadro 10.1: Roteiro da entrevista semiestruturada com os professores de Física observados nos Estudos III, IV e V desta tese.

Nº	Questão
1	<i>Qual é sua formação?</i>
2	<i>Você cursou disciplina(s) de filosofia da ciência, epistemologia, ou similar na sua formação acadêmica?</i>
3	<i>Há quanto tempo você exerce a docência?</i>
4	<i>Como você percebe as questões da epistemologia contemporânea, que entende o conhecimento científico como uma construção humana, provisória, tentativa, em que teorias podem ser modificadas e até substituídas incessantemente? Você concorda com essas idéias?</i>
5	<i>Você entende que tem a preocupação de passar aos alunos uma visão da natureza da ciência, de certa forma, mais contemporânea?</i>
6	<i>Quais as principais dificuldades que você identifica, se houver, para colocar em prática seus projetos de ensino?</i>

Nos quadros que se seguem transcreve-se, como referido anteriormente, para cada pergunta os aspectos mais relevantes das falas dos professores e que, da nossa óptica, se

configuram como dados ou contribuições para uma melhor compreensão das realidades estudadas, respeitados os contextos específicos dessas realidades sociais.

Quadro 10.2: Recortes das respostas dos professores à questão 1.

Questão 1: <i>Qual é sua formação?</i>	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<i>Fiz Licenciatura em Física na UFRGS (...) agora estou no Mestrado Profissional em Ensino de Física, na UFRGS (...).</i>
PROF. B	<i>Sou Bacharel em Física, Engenheiro Mecânico e estou cursando Psicopedagogia atualmente (...).</i>
PROF. C	<i>Fiz Licenciatura em Física, na UFRGS.</i>

Vê-se que o Prof. A e a Prof. C cursaram Licenciatura em Física na UFRGS. O Prof. B, que exerce a docência na escola militar, não cursou Licenciatura. É Bacharel em Física e tem larga formação acadêmica. Não nos parece, no entanto, que o fato deste não ser licenciado deva ser tomado de forma preconceituosa, ao qual se possa associar sua postura marcadamente tradicional em sala de aula. O Prof. B, na entrevista, sempre se manteve aberto e afirmou se interessar pelas novas visões epistemológicas, e em sala de aula gerava um clima amistoso dando sinais de que se sentia gratificado com o magistério. Não se pode desconhecer que ao cursar Psicopedagogia o Prof. B demonstra interesse pela educação, em sua interface social e cultural. Segundo Silva (2008), a concepção psicopedagógica da educação *integra os aportes teóricos da Psicologia Genética, da Psicanálise e da Psicologia Social, numa visão interdisciplinar*. Como veremos no decorrer desta análise há outros aspectos relevantes associados com as opções didáticas do Prof. B.

Quadro 10.3: Recortes das respostas dos professores à questão 2.

Questão 2: <i>Você cursou disciplina(s) de filosofia da ciência, epistemologia, ou similar na sua formação acadêmica?</i>	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<i>Sim. (...) as disciplinas de: História e Epistemologia da Física, na graduação e Epistemologia e Ensino de Física na pós-graduação.</i>
PROF. B	<i>(...) na minha época já se discutia isso e o pessoal às vezes confundia a epistemologia filosófica e a epistemologia genética (...). A Epistemologia em si trata da teoria do conhecimento, como se produz o conhecimento, enquanto a Epistemologia genética trata como o sujeito adquire o conhecimento, que é do Piaget (...). Acho interessante tudo isso.</i>
PROF. C	<i>(...) não cursei Epistemologia na graduação. Fiz a disciplina na pós-graduação, por iniciativa pessoal. Também participo de minicursos, palestras, etc., (...) eu gosto disso.</i>

O Prof. A, como era de nosso conhecimento, cursara duas disciplinas de Epistemologia contemporânea, na graduação e na pós-graduação, e sempre demonstrou ter visões alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas. O Prof. B não teve contato com as novas visões e afirmou se interessar especialmente por Epistemologia Genética. A Prof. C demonstrou preocupação pessoal com sua formação continuada, fez a disciplina de Epistemologia na pós-graduação em Ensino de Física da UFRGS. Embora tenha informado não estar cursando regularmente o Mestrado Profissional, sempre se mostrou interessada e se disse, em várias oportunidades, conquistada pelas VECs.

Investigou-se, dessa forma, professores com diferentes formações e possivelmente com diferentes visões epistemológicas. Como já discutido nos estudos de caso, esse panorama era de nosso interesse justamente porque diversifica a amostra de professores de Física investigados, de situações de sala de aula, envolve diferentes tipos de escolas e distintos grupos de alunos. Com isso, buscou-se vislumbrar diferentes aspectos, se houvesse, das relações entre as visões epistemológicas dos docentes e suas estratégias didáticas.

Quadro 10.4: Recortes das respostas dos professores à questão 3.

Questão 3: Há quanto tempo você exerce a docência?	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<i>Leciono nesta escola há 4 anos. Eu me formei e comecei a trabalhar logo em seguida (...).</i>
PROF. B	<i>Minha atividade principal é na Engenharia. Dou aula na Engenharia Mecânica e na Engenharia de Controle e Automação, e aqui no colégio militar (...) há mais de 20 anos.</i>
PROF. C	<i>Fiz concurso público e estou na escola há 9 anos. Concluí o curso há 10 anos (...). Lecionei nos primeiros anos também em uma escola particular.</i>

Pode-se ver que o Prof. B tem experiência docente de muitos anos e em diferentes instituições educacionais. Todavia, nenhum dos professores observados é principiante.

Peme-Aranega *et al.* (2009) num estudo de caso com uma professora de Física principiante obtiveram que no primeiro ano de docência o modelo didático foi muito mais tradicional do que o declarado (pela professora). Posteriormente, foi ocorrendo uma evolução gradual com o exercício da profissão e também como resultado da orientação sistemática de um investigador, que direcionou as reflexões da professora investigada para sua atividade, para aspectos de sua personalidade e suas concepções sobre a ciência, o ensino e a aprendizagem. Lederman (1999) destaca que professores principiantes têm que

desenvolver suas rotinas e esquemas educacionais para poderem se sentir mais à vontade com a gestão da educação.

Como dito, os professores investigados não eram principiantes e esse também era o entendimento da perspectiva dos próprios professores, como se vê no Quadro 10.4. O Prof. A era o que há menos tempo exercia a docência e possivelmente por essa razão se pôde perceber, como apontado na narrativa do Estudo III, algumas dificuldades de gestão do tempo e do conteúdo ao longo do semestre, como também de condução dos debates de grande grupo, muitas vezes inconclusivos e com a perda de foco. De qualquer forma, o Prof. A estava longe de ser um principiante, pois atuava há quatro anos na escola e há dois anos com aquele grupo de estudantes. Destaca-se que o Prof. A era o único professor de Física de sua escola, enquanto o Prof. B e a Prof. C atuavam em escolas onde havia equipes de mais de vinte professores de Física, com os quais podiam conversar, trocar idéias e experiências. Se isso parecesse ser uma desvantagem para o Prof. A, por outro lado se podia perceber que seus laços com os professores de outras disciplinas eram mais estreitos, tanto do ponto de vista pessoal quanto profissional. Talvez por isso a turma do Prof. A tenha sido a única em que pudemos ver um trabalho interdisciplinar (o das maquetes de prédios históricos, em escala, como mencionado no Estudo III). As trocas e interações do Prof. A com docentes de outras disciplinas eram, possivelmente, mais ricas e era nesses momentos que ocorriam como ele informou (ver Quadro 10.5) “acalorados debates sobre as idéias dos epistemólogos e suas implicações para o ensino”.

As falas indicam que o professor que melhor parecia preparado do ponto de vista epistemológico era o Prof. A. Ele se mostrou reflexivo e sempre preocupado com a compreensão dos seus alunos e com a melhoria do processo de aprendizagem destes. Isso transparecia nas suas aulas e está de acordo com nossa descrição interpretativa do Estudo III, em que se obteve que o Prof. A privilegiava a compreensão dos fenômenos e dos conceitos físicos, deixando claramente em segundo plano a manipulação de fórmulas e a resolução exercícios.

O Prof. B, embora afirmasse *concordar plenamente que o conhecimento é uma coisa do homem*, utilizou facilmente expressões como “verdade” e “crença verdadeira”. Isso, no fundo, expressa sua forma objetiva, cartesiana de ver as coisas e de otimizar suas práticas

didáticas e sugere uma postura tipicamente alinhada à doutrina empirista-indutivista da natureza da ciência. O que também apareceu nos achados no Estudo IV.

Quadro 10.5: Recortes das respostas dos professores à questão 4.

Questão 4: <i>Como você percebe as questões da epistemologia contemporânea, que entende o conhecimento científico como uma construção humana, provisória, tentativa, em que teorias podem ser modificadas e até substituídas incessantemente? Você concorda com essas visões?</i>	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<i>(...) nas reuniões de capacitação com os professores da escola a gente discute esses assuntos e eles nos trazem luz frente aos nossos problemas. (...) na verdade eu uso esse aprendizado da Epistemologia para fazer um paralelo entre como se desenvolve a ciência e o compreender do aluno: tento enxergar como isso pode se encaixar em como se desenvolve o compreender do aluno. (...) essa crença fica enraizada no meu jeito de ensinar (...). Eu acredito que conhecer aquelas idéias me permite escolher, me faz enxergar as coisas de uma maneira mais ampla.</i>
PROF. B	<i>Eu concordo plenamente. (...) se nos reportarmos a uma época anterior: o que os antigos filósofos faziam? Tinha a estrutura da crença e a estrutura da verdade. A intersecção dessas duas seria a crença verdadeira e o conhecimento filosófico estaria, então, dentro desta intersecção. (...) o conhecimento é uma coisa do homem.</i>
PROF. C	<i>Eu acho que disciplinas como a Epistemologia são muito importantes. Mas devem ser oferecidas no começo do curso (...) a Licenciatura deve dar outra visão da Física, uma visão que o Bacharelado não vai me dar (...). Se a Licenciatura mudasse, mudaria o aluno do Ensino Médio (...). O Bacharel também é um divulgador da ciência, mas ele tem uma visão muito rígida (...) é preciso quebrar essa coisa tão rígida porque o aluno que o professor vai encontrar é diferente (...) não quer um ensino do tipo: decora fórmula, usa a fórmula, muda os valores, dá a resposta (...). Se as disciplinas fossem dadas diferentemente na Licenciatura esses alunos gerariam mudanças (...).</i>

O que se pode depreender é que, ao que parece, quanto mais enraizadas as práticas e as concepções do professor, mais difícil sua transformação. Dito de outra forma, ainda que o professor afirme concordar com as novas visões ou novas idéias sobre a natureza da ciência, em sua prática de sala de aula falam mais alto suas concepções profundamente enraizadas.

Pode-se também fazer um paralelo com os achados do Estudo II, onde se procurou mostrar a influência de uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física lecionada na pós-graduação para professores já atuantes, alguns por longo tempo. Obteve-se que a disciplina gerou perturbação nas concepções epistemológicas daqueles professores. Os achados do

Estudo II foram, todavia, mais modestos do que aqueles do Estudo I, quando se trabalhou com futuros professores de Física. Isso parece sugerir que professores já atuantes de alguma forma elegem algumas estratégias docentes que se tornam bem estabelecidas, e delas pouco se mostram dispostos a abrir mão. Ou, nas palavras de Lederman (1999), passam, com o exercício da docência, a dominar certas técnicas de gestão das coisas da educação e sentem-se pouco à vontade diante de mudanças.

Usando uma idéia de Kuhn, esse seria o efeito negativo do paradigma, ou seja, o “paradigma em ação” dificulta que o profissional perceba as mudanças que se apresentam a sua frente como possibilidades. Isso porque está aferrado ao antigo paradigma, ou à “ciência normal” desse paradigma.

De qualquer forma, e mais uma vez, torna-se clara a extrema importância da formação continuada dos professores para que ela possa funcionar como fator de motivação para a autoreflexão das suas estratégias docentes e do Ensino de Física que praticam.

A Prof. C surpreendeu com uma abordagem para além da escola. Destacou a importância de disciplinas como Epistemologia na formação de professores de Física, mas referiu à necessidade de mudanças nos cursos de Licenciatura. De sua perspectiva, o “núcleo duro” do curso de Física costuma ser o mesmo para a Licenciatura e para o Bacharelado, e se mostra como uma dificuldade, pois ela entende que a Licenciatura deve preparar os futuros professores com *outra visão da Física, uma visão que o Bacharelado não vai me dar* por ser mais inflexível, mais rígido, mais voltado para a preparação do futuro cientista.

A opinião da Prof. C concorda, em parte, com pelo menos um dos achados desta tese e também encontrado na literatura (Mestre, 2001; Angotti, 2002; Zimmermann e Bertani, 2003; Gil Pérez e Vilches, 2004; Borges, 2006; Gobara e Garcia, 2007): a importância de se implementar mudanças nos cursos de Licenciatura em Física adequando-os ao que deveria ser a função principal do Ensino Médio, ou seja, a educação para a cidadania.

A fala do Prof. A parece indicar que ele crê que faz uso efetivo de suas concepções epistemológicas na sua prática didática. Mostra-se convicto de que pretende falar da Física e sobre a Física, e dessa forma fazer compreender que o processo de construção do

conhecimento que seus alunos praticam diariamente é, em pequena escala, análogo à própria construção da ciência. Uma construção humana.

Quadro 10.6: Recortes das respostas dos professores à questão 5.

Questão 5: <i>Você entende que tem a preocupação de passar aos alunos uma visão da natureza da ciência, de certa forma, mais contemporânea?</i>	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<i>(...) eu não acredito que a Física é construída ao acaso. Então eu tenho que deixar claro para que eles (os alunos) entendam que, se não fosse uma construção humana, como poderíamos estudar uma queda livre sem resistência do ar se eles nunca encontrarão uma situação real sem resistência do ar? Eles precisam entender que isso na verdade é um modelo, digamos, uma simplificação que nós podemos fazer, seguindo determinadas regras. Eu deixo claro isso (...) acabo tendo que definir claramente, explicitar as coisas (...).</i>
PROF. B	<i>(...) entendo que a Física teria que ser mudada. Não somente a Física, mas todo o Ensino Médio está totalmente desorientado do ponto de vista do que é sociedade e do que é o homem. Teríamos que ensinar menos Matemática, menos Binômios de Newton e mais Matemática Financeira, mais direito - Direito Social ou Penal - e uma Física totalmente diferenciada: uma Física das relações do mundo que nos envolve. (...) de que adianta eu ensinar que um elétron viajando num campo magnético fica sujeito a uma força de Lorentz se esse aluno nunca mais vai usar isto, a não ser que venha a ser físico ou engenheiro (...). Essa estrutura que temos aí está inadequada. Nós não estamos preparando para o mundo (...). Eles vão aprendendo... Dentro daquilo que lhes é dado eles vão aprendendo, não contestam. Eu sou um Deus (...). O que o professor diz está dito e não se discute. Eles aceitam tudo como uma verdade absoluta. É um dogmatismo cartesiano (...).</i>
PROF. C	<i>(...). Não acho que seja preciso sofrer tanto para concluir o curso (referindo-se à graduação). Por quê? A Física é tão bonita! Por que a gente não pode aprender, mas também ter prazer em estudar? Esta é uma visão muito clássica: a de que o Professor tudo sabe, tem seu método, seu jeito (...). Eu tenho um perfil completamente diferente dos meus colegas e, no entanto, concordo que todas essas visões epistemológicas ainda não chegaram à sala de aula. Na prática ainda não chegaram (...).</i>

O que há de revelador é o paradoxo entre a fala do Prof. A e as práticas didáticas que ele empreendeu, narradas detalhadamente no Estudo III. Sua firme “intenção de fazer” parece levá-lo a crer que de fato “o faz”. A narrativa do cotidiano da sala de aula do Estudo III mostrou que raramente o Prof. A explicitou com clareza a natureza da ciência, menos ainda fez um paralelo entre a construção da ciência e a construção do saber dos seus alunos; não esclareceu, antecipadamente, os objetivos dos sucessivos debates após a observação da câmara escura, que se converteu em uma tentativa implícita de ensinar a natureza da

ciência, buscando fazer com que os alunos chegassem, pela negociação, pela discussão de idéias aos princípios da Óptica Geométrica. Como foi dito, fez uso de uma postura predominantemente implícita para tentar fazer compreender a natureza da ciência. Isso foi tão marcante que causou ansiedade nos alunos, em vários momentos. Em suma, o Prof. A não esclareceu para os alunos suas intenções, tampouco explicitou a natureza tentativa, provisória e conjectural da ciência, mas tinha para si tão nítida a “intenção de fazê-lo” que, pela sua fala, acredita “tê-lo feito”.

Pode-se intuir que se o professor não tem clara para si próprio a exata dimensão de suas “intenções” frente as suas “práticas docentes”, isso pode levá-lo a crer que faz o que intenciona fazer. Por isso a autocrítica é tão importante. Mas esta não parece ser uma missão fácil. Muito provavelmente passa por uma formação acadêmica mais sistematizada. Primeiramente, parece importante se incluir disciplinas de Filosofia da Ciência ou Epistemologia na Licenciatura em Física para incitar a discussão e a reflexão; em segundo lugar, possivelmente, incluindo-se nas disciplinas de Epistemologia atividades de preparação de aulas sobre alguns tópicos de Física, sob algum ou alguns aportes epistemológicos, para apresentá-las à crítica do grupo e do docente, e assim adquirir o hábito da autocrítica. Passa, portanto, por um repensar os cursos de formação de professores de Física. A universidade e as Licenciaturas parecem estar na base dessa mudança.

Esses aspectos também reaparecem na fala da Prof. C, que se mostrou inconformada com o “sofrimento” pelo qual precisou passar na graduação e que, de sua perspectiva, não a preparou adequadamente para os desafios da sala de aula.

Já o Prof. B se mostrou inconformado com a estrutura atual do Ensino Médio que “treina” e “não educa”. É surpreendente porque o que se percebeu na narrativa do Estudo IV foi sempre uma postura muito tradicional do Prof. B, e uma tendência à otimização das atividades e movimentos em sala de aula, direcionados para a aquisição de habilidades matemáticas, ao manuseio das fórmulas da Física e ao cumprimento de um extenso programa de ensino, que sugeriam que ele detém concepções alinhadas ao empirismo-indutivismo, assim como estratégias didáticas que mais se assemelhariam ao esquema estímulo-resposta. Suas falas parecem revelar que ele o faz conscientemente. Estes aspectos ficam mais claros nas respostas do Prof. B à questão 6, que se segue.

Quadro 10.7: Recortes das respostas dos professores à questão 6.

Questão 6: <i>Quais as principais dificuldades que você identifica, se houver, para colocar em prática seus projetos de ensino?</i>	
Identificação	Recortes das Respostas
PROF. A	<p><i>(...) eu continuo usando a técnica (referindo-se à observação e debates sobre a câmara escura para introduzir Óptica Geométrica), mas as discussões foram este ano menos calorosas. Digamos menos participativas, por características das turmas. As turmas eram diferentes (...). Fiz a experiência, a mesma atividade e aquele questionário das folhinhas. Trabalhei com eles nesse sentido. Só que eles aceitavam mais sem discutir. Tudo o que eu falasse era lei para eles. Embora eu tentasse mudar essa idéia, fazendo com que bolassem idéias, eles se recusavam. Parecia que para eles era mais cômodo esperar o professor falar. Então o resultado não foi “o mesmo”.</i></p> <p><i>Tem outra coisa que eu percebo: é que eles têm dificuldade de se concentrar por muito tempo no mesmo raciocínio (...). Assim, de forma geral, os alunos se agradam quando faço pequenas demonstrações, porque não fica tanto no campo das idéias. Eles conseguem perceber, tocar, enxergar o que estou falando, quais são os conceitos (...).</i></p> <p><i>O que aprendi nas disciplinas de História e Epistemologia eu tenho usado menos do que eu gostaria. (...) queria fazer uma introdução histórica, falar das controvérsias, mas há muita coisa desconhecida na bibliografia, coisas que se contradizem. Teria que me empenhar mais, conhecer, ter uma orientação com quem sabe mais. Mas a realidade do dia-a-dia me leva a fazer menos do que eu gostaria (...).</i></p> <p><i>O leque de diferentes epistemólogos foi interessante. A cada um que era apresentado eu pensava “este é o cara”. Mas aí vinha outro e falava outra coisa. Ao final da disciplina eu percebi que concordava com um pouco de cada um, mas não concordava com tudo o que todos disseram. Acabei criando minha crença pessoal que é um pouco de cada um (...).</i></p>
PROF. B	<p><i>(...) Eu na verdade penso assim, mas não posso agir assim porque vou ser cobrado, principalmente em relação ao vestibular. Especialmente aqui na escola militar, que é essencialmente conteudista (...). Temos que dar aquele conteúdo, tenho que começar e terminar, tem que ter início, meio e fim. (...)</i></p> <p><i>Por esse motivo sigo rigorosamente a ordem do livro (...). Exatamente porque é o que vão me cobrar. Até o título eu ponho o mesmo para me garantir. Porque depois no conselho de classe os alunos cobram: “ah, mas esta parte o Sr. pulou...”. Os alunos também são cobradores (...). Por isso eu faço essa abordagem. Sigo o livro. Embora às vezes eu faça algumas referências mais abrangentes eu tenho o cuidado de avisar que não está no livro, que não está naquele conteúdo. De certa forma sou cobrado por eles mesmos e pela estrutura. Também vou ser cobrado pelo sucesso deles no vestibular. A escola está atenta ao percentual de aprovação dos alunos no vestibular da UFRGS. No ano passado tivemos 58% de aprovações. Foi ótimo (...) fica todo mundo contente, mas eu entendo que a Física não está sendo abordada como eu acho que deveria: uma Física mais do dia a dia, do cotidiano. (...) a estrutura da escola, a própria estrutura social é quem cobra. É o vestibular que impõe isso. (...).</i></p>

PROF. C	<i>Eu me sinto numa camisa de força, tenho que seguir o currículo, que cumprir datas para entrega de avaliações, data para tudo, mas se eu tiver que parar para dar alguma coisa interessante eu paro, depois resolvo como fazer. Acho que não é uma nota que vai resolver. Tenho um caso de uma menina que me fez perguntas interessantes, me procura e simplesmente não posso deixá-la sozinha (...). Encontro sim problemas com as outras disciplinas, mas também com meus próprios colegas: eles continuam dando MRU. Aí eu pergunto: os alunos estão sabendo o que é tempo, distância, deslocamento, suas unidades? Eles me dizem "sim, já dei isso". Mas eu não quero que meus alunos façam só continhas, isso é fácil, basta colocar na calculadora. Eu quero que eles aprendam a pensar (...).</i>
----------------	--

Relativamente a esta pergunta 6 fizemos longas transcrições das falas dos professores, tentando captar ao máximo a questão desde suas perspectivas. O que apareceu foi uma inconformidade dos professores com a estrutura atual do Ensino Médio. Cada um a seu modo disse que o Ensino Médio está mal, não educa, treina, cobra resultados, não dá espaço para a mudança, e a mudança em si é difícil.

Ainda que as falas dos três professores sejam autoexplicativas, entendemos que cabem aqui comentários pormenorizados.

Parece ficar claro, pelas falas, que o Prof. A se destaca por seu espírito aberto, por parecer acreditar que é nas pequenas coisas que se conquistam grandes mudanças. Nesse sentido, talvez seja esta uma das maiores contribuições das “visões epistemológicas contemporâneas” para gerar mudanças no ensino de Física: o professor que detém concepções alinhadas às VECs demonstra espírito aberto à inovação, à discussão de idéias e uma atitude esperançosa frente às dificuldades porque parece vislumbrar diferentes caminhos para sua solução. Assim como a ciência, que é uma construção intelectual gigantesca, admite diferentes teorias, diferentes explicações, distintos programas de pesquisa para um mesmo problema de pesquisa, também a educação em ciências parece admitir diferentes vieses para fazê-la compreender.

Se o professor conhece uma pluralidade de visões sobre a natureza da ciência e se elas foram apresentadas, discutidas e refletidas de forma a modificar suas antigas concepções, ele parece manter seu espírito mais flexível, admite a controvérsia e não vê a sua explicação como a única válida. Parece enxergar a adversidade não como uma ameaça, mas como uma possibilidade. Uma postura que inegavelmente é, por si só, um ganho.

O Prof. A faz referência também a um aspecto bastante discutido na literatura que é o uso da História da Física para a melhoria do ensino de Física, quando diz que *queria fazer uma introdução histórica, falar das controvérsias (...)*. Solomon *et al.*, (1992); Solbes e Traver (2001) e Lin e Chen, (2002) afirmam que a História da Ciência produz uma valiosa contribuição para um adequado entendimento da natureza da ciência; Neves (1992 e 1998) ensina que a História da Física é um recurso didático que qualifica o ensino de Física, evita a matematização excessiva, o ensino formulista, a desmotivação, a falta de embasamento e a falta de liberdade para uma visão autêntica do mundo; Marsh e Wang (2002) obtiveram que a História da Ciência favorece o entendimento conceitual e procedimental (*elementos históricos fornecem a descrição de processos de pensamento, de investigação e de inferências*); Ayala (2004) defende que a história da ciência instrumentaliza os professores a refletir sobre suas próprias concepções e os capacita a mostrar a Física como uma atividade em construção; Brake e Hook (2007) afirmam que a elucidação de episódios históricos incita a imaginação. E assim por diante.

Entende o Prof. A que a apresentação de controvérsias históricas é importante no ensino dos conceitos porque (como ensinam Silva e Moura, 2008) a construção do conhecimento não é linear, mas é um processo que em seu percurso pode ser afetado por fatores sociais, culturais, pessoais, por diferentes visões de mundo, etc.. O Prof. A demonstra, pela fala, ter essa consciência, mas diz sentir dificuldades na estruturação dessa tarefa, especialmente porque a literatura é *desencontrada*. *Teria que me empenhar mais, conhecer, ter uma orientação com quem sabe mais*, fazendo uso de suas palavras. A universidade, mais uma vez, parece entrar em cena.

O Prof. B e a Prof. C demonstram certa inconformidade, como já dito, e o desejo de ruptura com a atual estrutura do Ensino Médio, enquanto o Prof. A se posiciona com mais tranquilidade diante dessas questões, parecendo acreditar que é nas pequenas ações, e em unidades às vezes periféricas, que se conquistam grandes mudanças. Em suma, parece crer que as mudanças começam nas pessoas.

Contudo, não é possível desconhecer que, como enfatiza o Prof. B, os contextos externos à sala de aula: as cobranças da escola, da sociedade, a pressão para o vestibular, são, muitas vezes, determinantes do tipo de estratégia utilizada pelo professor. Se as regras do jogo são

inflexíveis, as estratégias parecem se tornar igualmente inflexíveis. Na escola militar essa cobrança pelo cumprimento do conteúdo, e por resultados, aparece com maior intensidade e parece estar relacionada com as opções didáticas do professor.

A novidade é que a entrevista revelou que esse processo parece ser consciente de parte do Prof. B. A grande experiência deste docente, o notável rigor técnico, o bom nível de conhecimento, disciplina e comprometimento dos alunos para o estudo pareceram compensar, como narrado no Estudo IV, eventuais lacunas de práticas didáticas marcadamente tradicionais.

Há certa angústia que transparece nas falas da Prof. C, assim como nas do Prof. B em alguns momentos, por não conseguir colocar em prática projetos e estratégias de ensino que considera mais adequadas para promover uma educação que prepare para a vida.

A Prof. C afirma e demonstra (em suas aulas) se interessar por Epistemologia e tem visões pelo menos parcialmente alinhadas às VECs, como apareceu no Estudo V. Da mesma forma que o Prof. A, ela parece ter um espírito mais aberto e esperançoso frente ao que ela considera um engessamento causado pelo sistema, ao dizer que: *seu eu tiver que parar para dar alguma coisa interessante eu paro, depois resolvo como fazer*. Isso parece corroborar nossa conjectura de que esta é a mais importante relação entre as VECs e a perspectiva de melhoria do Ensino de Física.

Passamos agora às considerações finais desta tese que envolveu cinco estudos etnográficos e, em caráter complementar, um questionário com alunos e entrevistas com professores.

Capítulo 11

CONSIDERAÇÕES FINAIS

11.1 Uma tentativa de Ordenamento Conceitual (Teoria Fundamentada)

Especialmente com relação aos três estudos de caso etnográficos com professores de Física (Estudo III, Estudo IV e Estudo V) que compõem o núcleo da presente tese, tentamos neste capítulo aclarar possíveis relações entre as concepções epistemológicas dos professores observados e as estratégias didáticas por eles privilegiadas.

Buscamos examinar a existência de vínculos entre os achados dos Estudos I e II, que indicaram que as visões sobre a natureza da ciência de futuros professores (Estudo I) e de professores de Física já atuantes (Estudo II) podem ser modificadas por disciplinas de Epistemologia, ou similares, na sua formação, e o aprendizado na revisão da literatura (eg. Lederman, 1992 e 1999; Matthews, 1995; Sandoval, Cudmani e Madozzo, 1995; Hashweh, 1996; Bell, Lederman e Abd-El-Khalick, 1998; Shibley, 2003; El-Hani, Tavares e Rocha, 2004; Machado e Nardi 2006), que indica que professores de ciências que possuem concepções adequadas às VECs podem estar melhor capacitados para fazer um ensino mais reflexivo, procurando diminuir o analfabetismo científico.

Manteve-se presente, neste empreendimento, que os relatos e achados de nossos estudos de caso estão limitados ao seu contexto e não se constituem, de nenhuma forma, em tentativas de generalização. Contudo, aprende-se do referencial metodológico, especialmente de Strauss e Corbin (2009), que a descrição detalhada *é fundamental para teorizar*. Para Bogdan e Biklen (1994, p. 205) a análise de dados na pesquisa qualitativa envolve *organização, divisão em unidades manipuláveis, síntese, procura de padrões, descoberta de aspectos importantes e do que deve ser aprendido e a decisão sobre o que vai ser transmitido (...)* com vistas a conduzir descrições interpretativas para *produtos finais*.

Na visão desses autores é possível, a partir do relato etnográfico, da descrição exaustiva, extrair um *ordenamento conceitual*, ou seja, proceder a uma organização dos dados de maneira a formar um *esquema teórico integrado*.

Nesse sentido, buscamos localizar os fenômenos – os movimentos dos professores de Física em sala de aula em seus diferentes contextos – tentando visualizar pontos comuns (ou divergentes) entre eles e identificar relações, se houver, entre as visões epistemológicas dos professores pesquisados nos estudos de caso e as práticas didáticas por eles privilegiadas.

Para isso, foi construído o Quadro 11.1, que segue, onde se descreveu através de algumas palavras-chave as ações centrais que marcaram as aulas desses professores. Esclarecemos que o Estudo IV foi aquele em que realizamos observação participante em um total de 37 horas-aula. Os demais estudos de caso tiveram um número levemente superior de horas-aula observadas, mas fixamos o ponto de corte em trinta e sete aulas para todos os estudos, por uma questão de uniformidade.

Segundo Strauss e Corbin (ibid.), o objetivo é responder uma sequência de perguntas simples: *Fez o quê? Como? Por quê?*

Quadro 11.1: Palavras-chave que marcaram as atividades/ações desenvolvidas pelos professores de Física dos Estudos II, IV e V, ao longo de 37 horas-aula.

Principais ações/atividades dos professores de Física observados nos estudos de caso III, IV e V			
	Estudo III	Estudo IV	Estudo v
Aula 1	Resolução de exercícios e esclarecimento de dúvidas; preparação para prova.	Resolução detalhada de exercícios (uso do livro de texto).	Monitoramento da tarefa de resolução de exercícios, atendimento individual; preparação para prova.
Aula 2	Revisão teórica com demonstração simples; preparação para prova.	Resolução de exercícios e esclarecimento de dúvidas; preparação para a AP.	Monitoramento da tarefa de resolução exercícios; sugeriu formação de grupos.
Aula 3	Revisão teórica e debate com os alunos.	Resolução de exercícios e aplicação da Avaliação Parcial (AP).	Monitoramento da tarefa de resolução exercícios; atendimento individual e em duplas.
Aula 4	Aplicação da prova bimestral.	Resolução detalhada de exercícios, esclarecimento de dúvidas; preparação para prova.	Apresentação de resumo; esclarecimento de dúvidas.
Aula 5	Correção da prova, identificação e elucidação de erros mais comuns; preparação prova de recuperação.	Aplicação da prova bimestral.	Teórica: introdução à corrente elétrica, com negociação de idéias.
Aula 6	Revisão teórica do	Aplicação da prova	Antecipada por falta de

	conteúdo do bimestre.	bimestral.	professor.
Aula 7	Revisão teórica do conteúdo (continuação).	Teórica: introdução do comportamento gases.	Teórica: circuitos elétricos, com demonstração de circuito simples.
Aula 8	Aplicação da prova de recuperação.	Cedida à outra disciplina: semana de provas da escola.	Discussão da demonstração; exercícios e exemplos; preparação para prova
Aula 9	Teórica: introdução a máquinas térmicas.	Cedida à outra disciplina: semana de provas da escola.	Revisão teórica e exercícios; revisão para prova (continuação).
Aula 10	Teórica em formato de seminário, com <i>power point</i> : máquinas térmicas.	Suspensa: semana de olimpíadas na escola.	Suspensa: paralisação dos professores.
Aula 11	Esclarecimento de dúvidas: máquinas térmicas; solicitação de material p/aula seguinte.	Suspensa: semana de olimpíadas na escola.	Suspensa: paralisação dos professores.
Aula 12	Condução da observação nos grupos: câmara escura como organizador prévio para Óptica Geométrica.	Suspensa: semana de olimpíadas na escola.	Antecipada por falta de professor de outra disciplina; envio de lista de exercícios em substituição à prova.
Aula 13	Professor ausentou-se da sala para prestar socorro a uma aluna. Combinou discussões para aula seguinte.	Feriado.	Finalização da resolução da lista exercícios substitutiva da prova, tarefa em grupo.
Aula 14	Incitou a livre discussão sobre o observado na câmara escura.	Feriado.	Continuação da resolução da lista de exercícios substitutiva da prova, tarefa em grupo.
Aula 15	Debate em grande grupo: idéias para obtenção dos princípios da Óptica Geométrica.	Teórica: leis da Termodinâmica; fórmulas, gráficos e exemplificações.	Correção da prova, identificação e elucidação de erros mais comuns; como revisão conteúdo.
Aula 16	Suspensa: semana de gincana na escola.	Teórica: transformações termodinâmicas e esclarecimento de dúvidas.	Suspensa: conselho de classe.
Aula 17	Suspensa: semana de gincana na escola.	Resolução de exercícios e aplicação da Avaliação Parcial (AP).	Suspensa: conselho de classe.
Aula 18	Suspensa: semana de gincana na escola.	Teórica: máquinas térmicas; resolução exercícios conceituais do livro; pequenos debates.	Antecipada por falta de professor de outra disciplina; devolução de prova e trabalhos corrigidos.
Aula 19	Retomou o debate de idéias e elencou os princípios da Óptica já obtidos por discussões anteriores.	Revisou princípios e fórmulas da Termodinâmica e comentou exercícios.	Resolução de exercícios e esclarecimento de dúvidas.
Aula 20	Estimulou debate de	Aplicação da Avaliação	Teórica: resistência elétrica;

	grande grupo (em círculo): princípios da Óptica Geométrica.	Parcial (AP)	explicação interativa: queria ouvir como os alunos pensavam.
Aula 21	Seguiu com debates: propagação, reflexão e refração da luz, etc.	Teórica: Ciclo de Carnot; resolução de exercícios	Antecipada por falta de professor de outra disciplina; enviou lista exercícios.
Aula 22	Teórica com demonstração simples: fenômenos ópticos.	Demonstrações no laboratório: Óptica Geométrica.	Monitorou a conclusão da lista de exercícios para serem entregues.
Aula 23	Resolução de exercícios; negociação de idéias e esclarecimento de dúvidas.	Demonstrações no laboratório: Óptica Geométrica	Teórica: Lei de Ohm; apresentação de resumo escrito no quadro.
Aula 24	Suspensa: conselho de classe na escola.	Teórica com pequenas discussões das demonstrações: luz, comportamento dual da luz, espectro, fenômenos ópticos.	Suspensa: paralisação dos professores.
Aula 25	Teórica: imagens no espelho plano, explicou o observado na câmara escura.	Teórica: imagens no espelho plano; resolução exercícios do livro de texto.	Revisão do conteúdo para a prova.
Aula 26	Suspensa: atividade religiosa	Trabalho em duplas: cinco questões sobre espelhos esféricos.	Aplicação de prova.
Aula 27	Aplicação de prova.	Teórica: espelhos esféricos, definição e construção de imagens.	Aplicação de prova.
Aula 28	Teórica: espelhos planos. Incitou pequenas discussões para que os alunos falassem como pensavam.	Teórica: espelhos esféricos, construção de imagens, principais raios.	Correção da prova como revisão e esclarecimento de dúvidas.
Aula 29	Teórica: formação de imagens em espelhos planos.	Solicitou que os alunos resolvessem exercícios e circulou pela sala auxiliando.	Continuação da correção da prova como revisão e esclarecimento de dúvidas.
Aula 30	Teórica: imagens em espelhos planos, reflexão da luz. Aula tumultuada, sem avanços.	Revisão para AP sobre Termodinâmica através de 4 exercícios representativos.	Revisão: corrente, resistência elétrica e Lei de Ohm; proposição de exercícios.
Aula 31	Resolução de exercícios da apostila.	Teórica: reflexão e refração da luz e exercícios conduzidos pelo professor.	Suspensa: passeio da turma com o professor de outra disciplina.
Aula 32	Incitou a resolução de exercícios em grupo.	Aplicação de Avaliação Parcial (AP).	Resumo escrito e exercícios (Lei Ohm).
Aula 33	Teórica: espelhos esféricos, pequena demonstração.	Fenômenos ópticos, aula marcada por perguntas e pequenas discussões.	Teórica: associação de resistores; pequenas discussões; exercícios para os alunos resolverem.
Aula 34	Teórica: formação de	Revisão para a Prova	Resolução dos exercícios

	imagens espelhos esféricos (ritmo mais acelerado).	Bimestral: Termodinâmica; alguns alunos puderam fazer a AP que não tinham feito.	conduzida pela professora sobre associação de resistores.
Aula 35	Teórica: imagens em espelhos esféricos (ritmo mais acelerado); resolução de exercícios em conjunto com os alunos.	Revisão: curiosidades, esclarecimentos, alguma descontração e troca de idéias.	Conclusão da resolução de exercícios; incentivo à participação dos alunos, troca de idéias.
Aula 36	Aula de exercícios e esclarecimento de dúvidas.	Alunos responderam questionário sobre concepções epistemológicas e Prova Bimestral.	Teórica: associação de resistores em paralelo; proposição de exercícios para os alunos resolverem.
Aula 37	Coordenou apresentação dos trabalhos de grupo: projeto de pesquisa “luz e cor”.	Prova Bimestral.	Suspensa: greve dos professores.

Para auxiliar a análise do Quadro 11.1 foram construídas quatro categorias buscando agrupar as diferentes estratégias adotadas pelos professores: **Estratégia inovadora**, quando a estratégia se destacou das demais utilizadas pelo professor, por ser diferente ou nova; **Estratégia diversificada** quando o professor fez uso de diferentes táticas numa mesma aula. Por exemplo: aula teórica ou resolução de exercícios com discussões abertas, ou acompanhadas de pequenas demonstrações, etc.; **Estratégia tradicional**, quando a estratégia foi tipicamente tradicional, baseada em aula expositiva e/ou resolução exercícios conduzida pelo professor, ou aplicação de prova escrita. Uma quarta categoria nós chamamos de **Aula Suspensa** para englobar horas-aula destinadas a outras atividades da escola que não aulas de Física, paralisações, e outros motivos especificados nas narrativas.

Agrupamos as aulas nas distintas categorias para os três professores, e as totalizações resultaram na Tabela 11.1, visualizada no Gráfico 11.1.

	Estratégia diversificada	Estratégia inovadora	Estratégia tradicional	Aula suspensa	Total
Prof. A	8	11	12	6	37
Prof. B	8	5	17	7	37
Prof. C	9	7	10	11	37

Tabela 11.1: Categorização das estratégias didáticas dos Prof. A, B e C a partir do Quadro 11.1.

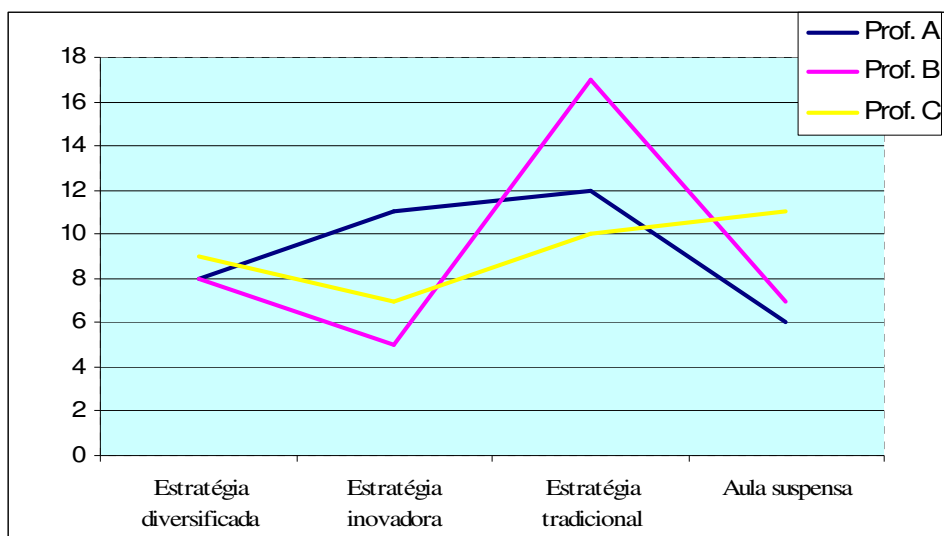


Gráfico 11.1: Visualização da categorização das estratégias didáticas do Prof. A, Prof. B e Prof. C a partir do Quadro 11.1.

Da observação da Tabela 11.1 o do Gráfico 11.1 pode-se ver que o Prof. B (Estudo IV) utilizou preferencialmente **estratégias tradicionais**, com aulas expositivas e de resolução de exercícios, e foi quem menos performou estratégias inovadoras.

O Prof. A (Estudo III) foi quem utilizou em maior numero **estratégias inovadoras**. Introduziu a Óptica Geométrica através da observação da câmara escura, incitou os alunos a construí-la e propiciou uma sequência de debates abertos para que, através da socialização das idéias, os alunos chegassem aos princípios da Óptica, fez várias pequenas demonstrações, transformou a resolução de exercícios em oportunidades para ouvir explicações dos alunos sobre como entendiam os fenômenos e assim abriu, em muitos momentos, novas discussões. Percebeu-se um esforço para diversificar as aulas e problematizar as situações físicas estudadas. Oportunidades nem sempre bem aproveitadas, como já dito, pois, os alunos se mostravam dispersivos e, ao que parecia, muito mais dispostos a receber o conhecimento pronto, a exemplo de outras disciplinas.

A Prof. C (Estudo V) focou em **estratégias diversificadas**, propiciando igualmente pequenas demonstrações e tentando envolver os estudantes na resolução de exercícios tanto quanto possível abordando situações práticas e com breves discussões, no sentido de captar-lhes a atenção para associar a Física ao cotidiano. Todavia, foi no ambiente da escola pública onde se observou o maior número de aulas suspensas (aulas desperdiçadas,

antecipações de período por falta de professores em outras disciplinas ou paralizações e greves) e onde os problemas de contexto, como organização escolar e indisciplina dos alunos, se fizeram sentir de forma mais contundente.

A partir desses dados e procurando estabelecer relações entre as visões epistemológicas dos professores observados e suas estratégias didáticas, narradas em detalhe nos Capítulos 6, 7 e 8 desta tese, construiu-se, tentativamente, o Quadro 11.2.

Quadro 11.2 – Concepções epistemológicas dos professores versus estratégias didáticas

Professor observado	Concepções epistemológicas dos professores observados	Estratégias didáticas mais utilizadas
Prof. A	Alinhadas às VECs	Estratégias tradicionais em várias aulas, mas comparativamente, utilizou o maior número estratégias didáticas inovadoras
Prof. B	Empiristas-indutivistas	Utilizou preferencialmente estratégias tradicionais de ensino
Prof. C	Parcialmente alinhadas às VECs	Estratégias tradicionais em várias aulas, mas procurou focar em estratégias didáticas diversificadas.

Percebe-se, por estes achados associados às narrativas do cotidiano da sala de aula, que ainda há um predomínio de estratégias tradicionais na atuação dos professores de Física em sala de aula no Ensino Médio.

Todavia, fica mais visível que o professor que tem visões empiristas-indutivistas da natureza da ciência privilegia estratégias didáticas tradicionais; transmite o conhecimento sem abri-lo para o debate; apresenta o conteúdo seguindo com rigor o livro de texto; conduz com precisão e objetividade a resolução de exercícios oferecendo oportunidades para que os alunos adquiram habilidades matemáticas e manejo com as fórmulas, o que é muito bom, mas uma prática que distancia a Física do cotidiano dos alunos e, não incentiva a inquietação indagadora, a reflexão, a criticidade. Com isso, de forma implícita passa uma idéia, subjacente destacamos, de que a ciência e em especial a Física, constrói um conhecimento definitivo, inquestionável, imutável, onde invariavelmente, racionalidade se traduz em logicidade. A vivência e os dados coletados e aqui analisados nos induzem a esta interpretação, embora na entrevista o Prof. B tenha afirmado ter visões mais abertas, menos

conservadoras e se mostrado consciente de que este tipo de ensino não prepara para a cidadania.

Dito de outra forma, parece que o professor de Física que sustenta visões empiristas-indutivistas é menos receptivo à introdução de inovações didáticas. Mantém com relação às estratégias didáticas a mesma imutabilidade com que concebe a natureza da ciência. Atua como se percebesse a Física como um conjunto de leis e teorias derivadas da realidade, por isso definitivas, fixas, imutáveis, procedentes do uso rigoroso do “método científico” e parece conservar concepções também inflexíveis sobre o ensino e aprendizagem.

De outro lado, os professores observados que veem a ciência como uma construção humana, e por isso mesmo falível, hipotética, provisória e testável por diferentes e igualmente válidas metodologias, desde que resguardado o rigor técnico, parecem mais dispostos a testar novas estratégias, a se expor ao erro, a refletir suas práticas e questionar o próprio sistema no qual estão imersos.

Não é possível, contudo, generalizar esses achados, pois o contexto em que ocorrem as atividades de ensino, o tipo de escola e seus objetivos, a personalidade e o entrosamento com os alunos têm grande influência sobre o tipo de prática didática que os professores adotam. Por exemplo, no Estudo IV o Prof. B era em grande parte incentivado pela escola a conduzir com rigor metódico e disciplinar as suas aulas, com o claro objetivo de cumprir um extenso programa de ensino. De igual forma, a Prof. C teve a interferência de inúmeras variáveis externas à sala de aula e à própria escola, em geral, impondo-lhe severas dificuldades, que tiveram importante interferência nas suas decisões em sala de aula.

Ainda assim, parecem indicar que professores que têm visões epistemológicas alinhadas às VECs têm maior tendência para diversificar suas estratégias didáticas; dispõem-se frequentemente ao debate aberto, à troca de idéias sobre os fenômenos físicos em estudo; ouvem as formas de explicação dos alunos e com isso identificam, não raro, concepções alternativas às explicações aceitas pela comunidade científica; aceitam a controvérsia; negociam significados; afirmam com mais naturalidade que não sabem responder quando questionados sobre aspectos que não dominam; prontificam-se a pesquisar e trazer respostas; não passam uma idéia de que o professor tudo sabe; não privilegiam uma

educação “bancária” (pequenos depósitos diários de conhecimento), conforme Freire, 2009.

Porém, passaram aos alunos de forma implícita (raras vezes ouvimos explicações explícitas) uma idéia tênue, quase imperceptível, que tende a se alinhar às VECs sobre a natureza e o processo de evolução da ciência. Por isso, pode-se dizer que, assim procedendo, não fizeram com que as “visões epistemológicas contemporâneas” chegassem à sala de aula do Ensino Médio.

Percebe-se também que a gestão das concepções abertas e mais flexíveis dos professores que têm visões epistemológicas adequadas às VECs, ainda é bastante confusa. Os professores parecem carecer de uma melhor preparação na formação inicial e continuada. Não raro esses professores perdem o foco em sala de aula, promovem debates e discussões inacabados, mal conduzidos e que em vários momentos acabam por gerar um clima de ansiedade nos alunos ao invés de esclarecer a natureza tentativa, conjectural e provisória da ciência.

Não é fácil, contudo, responder “por que” se observam essas distintas características. Há, ao que parece, uma relação psicológica que conduz naturalmente o professor a agarrar-se à infraestrutura tácita das idéias bem estabelecidas, seguras, que funcionaram na sua própria educação escolar, se o professor conserva visões empiristas-indutivistas da natureza da ciência, ou seja, quando não foi levado à reflexão filosófica sobre o processo da ciência.

De outro lado, quando as concepções sofreram perturbações por conta de disciplinas de Epistemologia, ou similares, tornando-se mais abertas, mais alinhadas às VECs e conseqüentemente mais flexíveis, os professores adotaram consciente, e às vezes inconscientemente, ao que parece, novas estratégias didáticas com a mesma abertura, flexibilidade e predisposição para o desconhecido como é o processo da ciência em si.

Em outras palavras, os professores que têm concepções mais adequadas às VECs criaram mais chances de ensinar uma Física “como ela é”, fazendo crer que o homem não ensina a seu semelhante sobre aquilo em que ele próprio não crê. Essa se mostrou a mais importante relação entre as concepções epistemológicas dos professores de Física (aqueles que tinham concepções alinhadas às VECs) e suas estratégias didáticas: a manutenção de um espírito

aberto à discussão, à mudança, à inovação, ao desafio perturbador da indagação questionadora e reflexiva.

11.2 Tentativa de responder às questões-foco da pesquisa

Nesta investigação assumiram-se alguns pressupostos comumente encontrados na literatura (eg. Cotham e Smith, 1981; Lederman, 1992; Solomon *et al.*, 1992; Matthews, 1995; Villani *et al.*, 1997; Teixeira, El-Hani e Freire, 2001; Lin e Chen, 2002; El-Hani, Tavares e Rocha, 2004; Ayala, 2004; Moreno, 2006; Morrison, Raab e Ingram, 2009): a) as concepções da natureza da ciência de professores e estudantes podem ser modificadas se esforço for concentrado nesse sentido; b) o professor, suas visões de mundo, suas concepções, seu estilo, etc., é uma das variáveis mais importantes no processo de ensino e fator determinante para o sucesso (ou fracasso) de programas de melhoria da qualidade do ensino de ciências e de currículos focados na diminuição dos índices de analfabetismo científico; c) professores de Física, e de ciências, que detêm visões da natureza da ciência adequadas às VECs podem, com mais facilidade, adotar práticas docentes críticas e reflexivas; d) o ensino e a aprendizagem da natureza da ciência são estimulados quando são incluídos aspectos históricos do conhecimento científico.

Embora existam diferenças curriculares importantes entre diferentes países, estados, municípios e escolas, essas assunções resumem em grandes linhas a pesquisa na área ao longo de meio século em países como Estados Unidos, Inglaterra, Holanda, Espanha, Portugal, Dinamarca, Canadá, Austrália e Israel, entre outros. Percebe-se entre os pesquisadores certa concordância de que técnicas para melhorar as concepções da natureza da ciência dos professores de ciências devem ser desenvolvidas, incluindo-se cursos adequados de História e Filosofia da Ciência na formação dos professores. Também parece haver um consenso de que devem ser produzidos novos materiais e novas orientações para as práticas didáticas e para a avaliação e que os professores de ciências precisam ser permanentemente reciclados para que entrem em contato com essas novas práticas didáticas e com o resultado da pesquisa em ensino.

Nota-se, contudo, que alguns estudos (eg. Sawyer, 2002; Mellado Jiménez, 2003) indicam que, da perspectiva dos professores, o ensino inclui outros elementos advindos da prática

como a improvisação, a experimentação na prática didática, etc., e que a implementação de mudanças nas práticas docentes não é um processo que ocorre facilmente. O mais comum é ocorrerem mudanças secundárias, como as hipóteses auxiliares de Lakatos, mantendo-se o núcleo firme, que parece ser: os professores ensinam, em geral, como eles próprios foram ensinados. Isso demonstra, mais uma vez, a importância de se estimular a autoreflexão.

Em nosso país não encontramos estudos aprofundados visando aclarar as relações entre as concepções epistemológicas dos professores de Física e as suas práticas didáticas, bem como as influências das VECs na modificação das concepções dos estudantes de Ensino Fundamental e Médio visando torná-los mais críticos e reflexivos.

Precisamente essas são as questões-foco que pretendemos responder através dos vários estudos de caso com professores de Física, interpretados descritivamente ao longo desta tese.

Lembramos, mais uma vez, que nossas fontes de dados foram basicamente etnografias de sala de aula com professores de Física em formação (Estudos I e II) e com professores de Física no exercício de suas atividades (Estudos III, IV e V), onde produzimos notas de campo e recolhemos trabalhos, testes e avaliações produzidos pelos estudantes, planos e notas de aula dos professores, respostas a questionários, etc.. Em complementação, realizamos entrevistas com os professores observados e aplicamos testes sobre concepções epistemológicas a estudantes de Ensino Médio das três escolas pesquisadas.

Dessa imensa massa de dados brutos, recortamos, organizamos e categorizamos, sempre que possível, procurando extrair a essência da qual entendemos que poderíamos obter respostas às questões que nortearam este trabalho. Todas as etapas de interpretação descritiva foram entremeadas por reflexões com base no aporte teórico-epistemológico, e vínculos com achados resultantes da revisão bibliográfica.

Muito, no entanto, do que obtivemos como “achados principais” desta pesquisa, sem dúvida, é resultado das nossas vivências em interação com os professores e alunos ao longo das observações participantes, ricas oportunidades de aprendizado, de troca de impressões, vivências e experiências, que certamente levaremos para a vida.

De tudo isso, inferimos, através de um processo indutivo, alguns achados principais que passamos a expor:

- a) as distintas realidades escolares estudadas revelaram-se únicas, dotadas de diferenças importantes no seu modo de funcionamento;
- b) a diversidade, ao que parece, depende de combinações peculiares de vários fatores: condições físicas (prédios, instalações, tamanho e adequação das salas de aula, limpeza, etc.), disciplina, ambiente e nível de relacionamento entre alunos, entre professores e alunos, entre alunos e direção, organização e definição de objetivos gerais (da escola) e específicos (da disciplina), entre outros. A diferente combinação desses fatores resulta em distintos níveis de interesse de professores e alunos e conseqüentemente, de rendimento na aprendizagem da Física;
- c) as “visões epistemológicas contemporâneas” ou VECs, visões da natureza da ciência de diferentes Filósofos da Ciência do século XX resumidas no referencial teórico-epistemológico desta tese, não chegaram ainda à sala de aula do Ensino Médio;
- d) mesmo aquele professor que tem melhor preparação teórico-epistemológica, por seu histórico acadêmico, e que sabidamente tem visões adequadas às “visões epistemológicas contemporâneas” – Prof. A – não conseguiu disseminar aos alunos as suas concepções sobre a natureza da ciência: a Física como uma construção humana, inacabada, conjectural, provisória e cuja testagem não se reduz a testes empíricos e nem nasce da observação ingênua;
- e) as tentativas observadas, tipicamente implícitas, de fazer compreender a natureza da Física por parte dos professores que têm visões adequadas ou parcialmente adequadas às VECs – Prof. A e Prof. C – mostraram que esse processo é incipiente, desarticulado e incapaz de gerar mudanças nas visões sobre a natureza da ciência dos alunos, e não se traduziram em fatores de motivação para estudar mais e melhor a Física ensinada;

- f) ainda que os professores de Física em formação (Estudos I e II) se mostrassem conquistados pelas novas visões sobre a natureza da ciência e não nos ficassem dúvidas de que suas concepções epistemológicas modificaram-se profundamente por conta dos debates e reflexões gerados nas disciplinas de Epistemologia, isso não garantiu que conseguissem fazer a transposição didáticas dessas idéias a seus alunos;
- g) a ineficácia das abordagens sobre a natureza da ciência em sala de aula pelos professores de Física que tiveram Epistemologia em sua formação, deixou transparecer que eles não estavam adequadamente preparados para fazer a transposição didática das novas visões. Falam de Física, mas raramente falam sobre a Física. Têm intenções e até mesmo convicção de que ensinam uma Física epistemologicamente contextualizada, mas não o fazem de fato;
- h) consequência disso é que os alunos do Ensino Médio, independentemente do tipo de concepções epistemológicas sustentadas pelo professor de Física e do contexto escolar, sustentam, em geral, visões distorcidas da natureza da ciência e do trabalho dos cientistas. Nesse sentido, as concepções epistemológicas dos professores parecem não ter interferido de forma efetiva nem como fator de motivação, nem para modificar as visões dos estudantes;
- i) a falta de habilidade para ensinar Física que inclua alguma discussão epistemológica contextualizada pode estar sugerindo a importância de se repensar os cursos de formação de professores de Física, quer em relação às disciplinas de História e Epistemologia da Física, quer em relação à forma como as demais disciplinas do “núcleo duro” do curso de Física são lecionadas. É possível que a inclusão em disciplinas de História e Epistemologia da Física, ou similares, de atividades em que os professores tenham a oportunidade de preparar, apresentar e submeter à crítica dos colegas e do docente, aulas sob determinados aportes epistemológicos contribuam eficazmente para suprir essa lacuna;
- j) o professor que tem visões notadamente empiristas-indutivistas tende a ensinar uma Física mais formal, mais matematizada e formulista, centrando em estratégias mais inflexíveis e tradicionais, como aulas expositivas e de resolução de exercícios

conduzidas pelo professor, sugerindo implicitamente que a Física está baseada em leis fixas, verdadeiras e inquestionáveis;

- k) a experiência didática, o estilo, o discurso, o entrosamento com os alunos parecem fazer do professor a principal variável de sala de aula no processo de ensino e aprendizagem da Física e um fator de motivação (ou não) para o estudo;
- l) obtivemos indícios de que existem algumas relações entre as concepções epistemológicas dos professores de Física e suas práticas docentes. Essas relações respeitam a:
 - maior diversificação das estratégias didáticas por aqueles professores que têm visões alinhadas às “visões epistemológicas contemporâneas”;
 - direcionamento de esforços para ensinar uma Física menos formal e mais associada ao cotidiano dos alunos, transparecendo preocupações com a aprendizagem significativa dos conceitos – que faça sentido para os alunos - pelos professores que têm visões adequadas ou parcialmente adequadas às VECs;
 - os professores que têm visões adequadas às VECs parecem mais propensos a uma abertura de espírito à mudança, à inovação, ao diálogo, à controvérsia e à negociação de idéias.

Esta parece ser a mais importante das contribuições que as “visões epistemológicas contemporâneas” podem oferecer para a melhoria o ensino de Física. Afinal, a mudança começa com as pessoas. De nada adiante mudar o sistema de ensino, o currículo, a instituição, o material de ensino, as condições físicas da escola e da sala de aula se o professor não tiver arraigada convicção para a mudança. A mudança é um processo que pode começar com pequenas atitudes e que inevitavelmente se irradiam para o macrossistema. Este foi um aspecto que perpassou e se tornou para nós uma convicção ao longo de dois anos de convivência com professores de Física e de observação participante em sala de aula, quer na academia onde professores foram observados como alunos, quer no ambiente escolar onde foram observados como profissionais no exercício da atividade docente em interação com seus próprios alunos.

Contudo, de maneira geral, pode-se dizer que a questão da mudança epistemológica é ainda hoje um processo incipiente, desarticulado, com muitas questões em aberto e que

sugere a importância de se repensar a formação inicial e continuada dos professores de Física na academia.

Como fechamento, construímos um Diagrama Vê em que aparecem condensadas as questões foco, os eventos e transformações e uma síntese dos achados em forma de asserções de conhecimento e de valor.

Domínio teórico-epistemológico

Filosofias:

Realismo construído: a realidade social da sala de aula é passível de investigação assim como a realidade fática.

Indutivismo: combatido na natureza da ciência é um processo lógico útil para a etnografia.

Construtivismo: o homem constrói seu conhecimento na ciência e no processo de ensino e aprendizagem.

Teorias: tomadas neste estudo como um conjunto de visões de distintos epistemólogos sobre a natureza e o processo da ciência.

Pressupostos: As concepções da natureza da ciência de alunos e professores podem ser modificadas se esforço for direcionado nesse sentido. Professores com concepções alinhadas às VECs estão melhor preparados para fazer um ensino de Física mais crítico. As VECs apresentam-se como possibilidades de discussões e reflexões para professores e alunos.

Conceitos: Natureza da ciência; visões epistemológicas contemporâneas; ensino e aprendizagem de Física; formação de professores de Física.

Questões-foco

- 1) Concepções epistemológicas alinhadas às chamadas “visões epistemológicas contemporâneas” contribuem de forma efetiva na transformação e melhoria das práticas didáticas dos professores de Física que atuam no Ensino Médio, no sentido de torná-los mais críticos e reflexivos?
- 2) Como acontece a transposição didática dos conhecimentos adquiridos, refletidos e discutidos ao longo da formação epistemológica, pelos professores de Física que tiveram esse tipo de iniciação?
- 3) Como acontece o ensino e aprendizagem da Física quando ensinada sob a perspectiva de uma construção intelectual humana tentativa, provisória, aberta a novas e melhores explicações? Melhora a motivação e a imagem da Física por parte dos alunos?
- 4) Há diferenças perceptíveis nas práticas docentes com relação àqueles professores que não tiveram este tipo de formação?

Eventos: Estudos de caso etnográficos:
Estudo de caso I: futuros professores de Física;
Estudo de caso II: professores de Física atuantes;
Estudo de Caso III: Prof. A de escola particular;
Estudo de Caso IV: Prof. B de escola militar;
Estudo de Caso V: Prof. C de escola pública.

Domínio metodológico

Asserções de Valor: O estudo permitiu ter-se idéias sobre as relações (frágeis) entre as VECs e o ensino de Física atualmente praticado, e assim, repensar o potencial das VECs no planejamento da formação dos professores, na academia, para torná-los mais aptos a ensinar desde uma perspectiva de construção do conhecimento científico.

Asserções de conhecimento: Os professores dos Estudos I e II melhoraram suas visões sobre a natureza da ciência, contudo não ocorreu a *transposição didática* dessas idéias;
- os professores não parecem preparados para fazer uso de suas concepções epistemológicas em sala de aula de forma explícita;
- passam noções da natureza da ciência de forma implícita e não modificam as visões dos alunos, nem melhoram a motivação e a imagem da Física;
- os alunos mantêm visões distorcidas da natureza da ciência;
- a relação mais perceptível entre as visões dos professores e suas práticas didáticas está na diversificação das estratégias dos que têm concepções alinhadas às VECs e a manutenção de um espírito mais aberto à discussão, ao debate, aos desafios da sala de aula.

Transformações: Transcrição de diários de campo e entrevistas; descrição interpretativa do cotidiano da sala de aula dos distintos contextos observados e de trabalhos, testes e materiais produzidos por estudantes e professores; categorização; análise cruzada dos estudos com os professores; análise das entrevistas; estatística descritiva do resultado de teste de concepções epistemológicas com estudantes.

Dados: Observação participante e produção de diários de campo de todas as aulas durante um semestre letivo, em cada estudo de caso, totalizando cinco semestres; coleta de materiais como trabalhos escritos, provas, testes, planos e notas de aula de professores, respostas a questionários, reflexões pessoais, etc.; realização de entrevistas com os professores de Física; aplicação de teste sobre concepções epistemológicas a estudantes do Ensino Médio.

Figura 11.1: Vê Epistemológico que busca sintetizar os achados e os desenvolvimentos da presente tese.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F.; WATERS, M. and LE, A. (2008). Representations of Nature of Science in High School Chemistry Textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 45, n. 7, p. 835-855.

ADÚRIZ-BRAVO, A.; IZQUIERDO, M. y ESTANY, A. (2002). Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), p. 465-476.

ADÚRIZ-BRAVO, A. y MORALES, L. (2002). El concepto de modelo en la enseñanza de la Física – consideraciones epistemológicas, didácticas y retóricas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 19, n.1, p. 79-92.

AGUIRRE, J.M.; HAGGERTY, S.M. and LINDER, C.J. (1990). Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning: a case study in preservice science education. *International Journal of Science Education*, vol. 12 (4), 381-390.

AKERSON, V.L.; BUZZELLI, C.A. and DONNELLY, L.A. (2008). Early Childhood Teachers' Views of Nature of Science: the influence of intellectual levels, cultural values, and explicit reflective teaching. *Research in Science Teaching*, vol. 45, n. 6, p. 748-770.

ALMEIDA, G.P. (2007). *Transposição Didática: por onde começar?* São Paulo: Cortez Editora.

AMORIM, A.C.R. (1999). Relações entre ciência/tecnologia/sociedade na formação de professores: contribuições da História e Sociologia da Ciência. *Física y Cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, nº 6.

ANDRADE, B.L e FERRARI, N. (2002). As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. *Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, vol. 2, nº 2, p. 1-11.

ANGOTTI, J.A.P. (2002). Física e Epistemologia Heterodoxas: David Bohm e o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 19, número especial, p. 126-156.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. e MOREIRA, M. A. (2004). Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da cinemática. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, nº 2, p. 179-184.

ASHWEH, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, n. 1, p. 47-63.

ASTOLFI, J.P. e DEVELAY, M. (2008). *A Didática das Ciências*. Campinas: Papirus Editora, 12ª ed..

AYALA, M.M. (2004). Historia de las ciencias y la formación de profesores: un análisis contextual. *Física y Cultura: cuadernos sobre historia e enseñanza de las ciencias*, nº 7.

- BACHELARD, G. (1988). *A Filosofia do Não*. Lisboa: Editorial Presença
- _____. (1973). *Epistemología. Textos escogidos por Dominique Lecourt*. Barcelona: Editorial Anagrama.
- BARBETTA, P.A. (2003). *Estatística aplicada às Ciências Sociais*. Florianópolis: Editora da UFSC, 5ª edição revisada.
- BASTOS, C. L. e CANDIOTTO, K. B. B. (2008). *Filosofia da Ciência*. Petrópolis: Editora Vozes.
- BELL, R.L.; LEDERMAN, N.G. and ABD-EL-KHALICK, F. (1998). Implicit versus Explicit Nature of Science Instruction: An explicit Response to Palmquist and Finley. *Journal of Research in Science Teaching*, vol 35, nº 9, p. 1057-1061.
- BETTANY, L. (1998). David Bohm and the implicate order: a new paradigm for physics teachers. *Physics Education*, vol. 33(6), p. 419-423.
- BLANTON, P. (2001). Lessons learned from Arnold Arons. *The Physics Teacher*, vol. 39, p. 506-507.
- _____. (2003). Constructing knowledge. *The Physics Teacher*, vol. 41, p.125-126.
- _____. (2004). Letter to grandma. *The Physics Teacher*, vol. 42, p.508-509.
- BLIGH, P. (1989). The implications of reductionist physics for human culpability. *Physics Education*, vol. 24, nº 1, p. 9-13.
- BOGDAN, R.C. and BIKLEN, S.K. (1982). *Qualitative Research for Education: an introduction to theory and methods*. Boston: Allyn and Bacon, Inc..
- BOGDAN, R.C. e BIKLEN, S.K. (1994). *Investigação Qualitativa em Educação*. Porto: Porto Editora.
- BOHM, D. (2007). *O Pensamento como um Sistema*. São Paulo: Madras Editora.
- BOHM, D. y PEAT, F.D. (1998). *Ciencia, Orden y Creatividad*. Barcelona: Editorial Kairós, 2ª Edición.
- BOLTZMANN, L.E. tradução de DAHMEN, S.R. (2006). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 3, p. 259-266. Artigo original: A cerca da Mecânica Estatística, publicado em *Populäre Schriften* (Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1905).
- BORGES, O. (2006). Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, nº 2, p. 135-142.
- BRAKE, M. and HOOK, N. (2007). Science, fiction and the age of discovery. *Physics Education*, vol. 42, p. 245-252.

BUEHL, M.M. and ALEXANDER, P.A. (2006). Examining the dual nature of epistemological beliefs. *International Journal of Educational Research*, vol. 45. p. 28-42.

BUFFLER, A.; LUBBEN, F. and IBRAHIM, B. (2009). The relationship between students' views of the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Journal of Science Education*, vol. 31, n. 9, p. 1137-1156.

BUNGE, M. (1960). *La ciencia su método y su filosofía*. Buenos Aires: Ediciones Siglo Veinte.

_____. (1974.a). *Teoria e Realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.

_____. (1974.b). *Semántica I: sentido e referencia*. Barcelona: Gedisa Editorial.

_____. (1980). *Ciência e Desenvolvimento*. Belo Horizonte: coedição da Editora Itatiaia e São Paulo, EDUSP.

_____. (1985). *Epistemología*. Barcelona: Editorial Ariel.

_____. (2000). *Física e Filosofia*. São Paulo: Editora Perspectiva.

_____. (2008). *Semantica I: Sentido e Referencia*. Barcelona: Gedisa Editorial.

CALDERA, A. S. (2007). *Os Filósofos e seus Caminhos*. São Leopoldo: Nova Harmonia, UAM.

CAMPBELL, P. (2004). Seeing and seeing: visual perception in art and science. *Physics Education*, v. 39, p. 473-479.

CARTWRIGHT, N. (2002). *How the laws of Physics lie*. New York: Oxford University Press.

CHALMERS, A.F. (1999). *O que é ciência afinal?* São Paulo: Editora Brasiliense, 1ª ed., 3ª reimpressão.

CHALMERS, A.F. (2006). *La ciencia y cómo se elabora*. México: Siglo Veintiuno Editores, 5ª ed.

CHASSOT, A.I. (1998). Fazendo uma oposição ao presenteísmo com o ensino de filosofia e história da ciência. *Episteme*, Porto Alegre, v. 3. n. 7, p. 97-107.

CHEVALLARD, Y. (1998). *La Transposition Didactique: du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: Editions La Pensée Sauvage.

CLEMINSON, A. (1990). Establishing an epistemological base for science teaching in the light of contemporary notions of the nature of science and of how children learn science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 27, nº 5, p. 429-445.

COSTA NETO, P.L.O. (1977). *Estatística*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda..

COSTA, A. y DOMÈNECH, G. (2002). Distintas lecturas epistemológicas en tecnología y su incidencia en la educación. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), p. 159-165.

COTHAM, J.C. and SMITH, E.L. (1981). Development and validation of the conceptions of scientific theories test. *Journal of Research in Science Teaching*, vol 18, nº 5, p. 387-396.

CUDMANI, L.C. e SANDOVAL, J.S. (1991). Modelo Físico e Realidade: Importância epistemológica de sua adequação quantitativa. Implicações para a Aprendizagem. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 8, nº 3, p. 193-204.

DAHMEN, S. R. (2006). Einstein e a Filosofia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, nº 1, p. 3-7.

DAMÁSIO, F. e STEFFANI, M.H. (2008). A física nas séries iniciais (2ª a 5ª) do ensino fundamental: desenvolvimento e aplicação de um programa visando a qualificação de professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 4, 4503.

DAVSON-GALLE, P. (2004). Philosophy of science, critical thinking and science Education. *Science & Education*, vol. 13, n. 6, p. 503-517.

DEDES, C. and RAVANIS, K. (2009). History of science and conceptual change: the formation of shadows by extended light sources. *Science & Education*, vol. 18, n. 9, p. 1135-1151.

DEMO, P. (1984). *Pesquisa Participante: mito e realidade*. Rio de Janeiro: SENAC/DN.

DIAS, P. M. C. (2001). A (im)pertinência da História ao aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, nº 2, p. 226-235.

DOGAN, N. and ABD-EL-KHALICK, F. (2008). Turkish grade 10 students' and science teachers' conceptions of Nature of Science: a national study. *Journal of research in Science Teaching*, vol. 45, n. 10, p. 1083-1112,

DORNELES, P.F.T, ARAUJO, I.S. e VEIT, E. (2006). Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte I – circuitos elétricos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 28, n. 4, p.487-496.

EL-HANI, C.; TAVARES, E.J.M. e ROCHA, P.L.B. (2004). Concepções epistemológicas de estudantes de Biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. *Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)*, vol. 9, n. 3. Em <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

ERICKSON, F. (1986). *Qualitative Methods in Research on Teaching*. In M.C. Wittrock (Ed), *Handbook of Research on Teaching*, 3rd. edition, New York: Macmillan.

ERKINA, E.; WARREN, A. and GENTILE, M. (2006). The role of models in physics instruction. *The Physics Teacher*, vol. 44, p. 34-39.

ESHACH, H. (2009). The Nobel Prize in the physics class: science, history and glamour. *Science & Education*, vol. 18, n. 10, p. 1377-1393.

ESPINOZA, F. (2005). An analysis of the historical development of ideas about motion and its implications for teaching. *Physics Education*, vol. 40, p. 139-146.

FEYERABEND, P. (1989). *Contra o Método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves.

FLICK, U. e ANGROSINO, M. (2009). *Etnografia e observação participante*. Coleção *Pesquisa Qualitativa*, Porto Alegre, Artmed.

FOUCAULT, M. (2007). *Vigiar e Punir*. Vozes, 280 p.

FREIRE Jr., O. (2003). A story without an ending: the Quantum Physics controversy 1950-1970. *Science & Education*, vol. 12, n. 5-6, p. 573-585.

FREIRE, P. (2009). *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa*, Rio de Janeiro: Edição Especial, Editora Paz e Terra.

FREIRE, P. e SHOR, I. (2006). *Medo e Ousadia: O Cotidiano do Professor*. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 11ª ed..

GIL PÉREZ, D. e VILCHES, A. (2004). Compromisso por uma educação para a sustentabilidade (comunicações). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 21, n.3, p. 411-412.

GOBARA, S.T. e GARCIA, J.R.B. (2007). As licenciaturas em Física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, nº 4, p. 519-525.

GÖDEL, K., tradução de DAHMEN, S.R., (2006), *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 521-524. Texto original: Uma nota acerca das relações entre a teoria da relatividade e a filosofia idealista, in: *Albert Einstein: Scientist-Philosopher*. P.A. Schilpp.

GOETZ, J.P. y LECOMPTE, M.D. (1988). *Etnografia y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid, Ediciones Morata.

GONZALEZ-ESPADA, W.J. (2003). A last chance for getting it right: addressing alternative conceptions in the physical sciences. *The Physics Teacher*, vol. 41, p. 36-38.

GUERRA, A.; REIS, J.C. e BRAGA, M. (2004). Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 21, n. 2, p. 224-248.

GUISASOLA, J. y MORENTIN, M. (2007). Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 6, n. 2, p.246-262. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

GUISASOLA, J., MONTERO, A. y FERNÁNDEZ, M. (2008). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, 1604.

HACKING, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge University Press.

HADAR, L. (2009). Ideal versus school learning: analyzing israeli secondary school students' conceptions of learning. *International Journal of Educational Research*, vol. 48, p. 1-11.

HARRES, J. B. S. (1999.a). Concepções de professores sobre a Natureza da Ciência. 192p. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HARRES, J. B. S. (1999.b). Uma revisão de pesquisas nas concepções de professores sobre a Natureza da Ciência e suas implicações para o ensino. *Investigações em Ensino de Ciências – IENCI*, v. 4(3), pp. 197-211.

HASHWEH, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, n. 1, p. 47-63.

HOFER, B. (2006). Domain specificity of personal epistemology: resolved questions, persistent issues, new models. *International Journal of Educational Research*, vol. 45, p. 85-95.

HOLBROOK, J. and RANNIKMAE, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. *International Journal of Science Education*, vol. 29, n. 11, p. 1347-1362.

HOLT, R. (2002). What's so special about science? *The Physics Teacher*, vol. 40, p. 135.

IBRAHIM, B.; BUFFLER, A. and LUBBEN, F. (2009). Profiles of freshman Physics students' views on the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, n. 3, p. 248-264.

IONA, M. (1999). Weight - an official definition. *The Physics Teacher*, vol. 37, p. 238.

ISLAS, S.M. e PESA, M.A. (2001). Futuros docentes y futuros investigadores se expresan sobre el modelado en Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, n. 3, p. 319-328.

JUSTI, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

KALMAN, C. (2009). The need to emphasize epistemology in teaching and research. *Science & Education*, vol. 18, n. 3-4, p. 325-347.

KHISHFE, R. and ABD-EL-KHALICK, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction: on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 39, n. 7, p. 551-578.

KÖHNLEIN, J.F.K. e PEDUZZI, L.O.Q. (2005). Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 22, n. 1, p. 36-70.

KUHN, T.S. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo, Editora Perspectiva.

_____. (1989). *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. Barcelona: Ediciones Paidós.

_____. (2003). *A Estrutura das Revoluções Científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva. 8ª Ed..

KYLE JR., W.C. (1980). Should "scientific" creation and the science of evolution be taught with equal emphasis? *Journal of Research in Science Teaching*, vol 17, nº 6, p. 519-527.

LAKATOS, I. (1993). *Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Madrid: Alianza.

LATOUR, B. e WOOLGAR, S. (1997). *A vida de laboratório: a produção dos fatos científicos*. Rio de Janeiro: Relume Dumará.

LAUDAN, L. (1977). *El Progreso y sus Problemas*. Madrid: Encuentro Ediciones.

LAWSON, A.E. (2003). Allchin's shoehorn, or why science is hypothetico-deductive. *Science & Education*, vol. 12, p. 331-337.

LEDERMAN, N. and DRUGER, M. (1985). Classroom factors related to changes in students' conceptions of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, nº 7, p. 649/662.

LEDERMAN, N.G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 331-359.

LEDERMAN, N.G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 8, 916-929.

LEDERMAN, N. G.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.L. and SCHWARTZ, R.S. (2002). Views of nature os science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, nº 6, p-497-521.

LEDERMAN, L.M. (2005). Physics first? *The Physics Teacher*, vol. 43, nº 1, p. 6-7.

LEFF, E. (2002). *Epistemologia Ambiental*. São Paulo: Editora Cortez, 2. ed..

- LENOIR, T. (2003). *Instituindo a Ciência*. São Leopoldo: Editora Unisinos.
- LIN, H. and CHEN, C. (2002). Promoting preservice chemistry teachers' understanding about the nature of science through History. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 39, nº 9, p-773-792.
- LIN, C.C. and TSAI, C.C. (2008). Exploring the structural relationships between high school students' scientific epistemological views and their utilization of information commitments toward online science information. *International Journal of Science Education*, vol. 30, n. 15, p. 2001-2022.
- LIU, S.Y. and TSAI, C.C. (2008). Differences in the scientific epistemological views of undergraduate students. *International Journal of Science Education*, vol. 30, n. 8, p. 1055-1073.
- LOPES, A.R.C. (1996). Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*), vol. 13, nº 3. p.248-273.
- MACHADO, D.I. e NARDI, R. (2006). Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com suporte da hipermídia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 473-485.
- MAGALHÃES, J.B. (1996). *A idéia de progresso de Thomas Kuhn*. Porto: Contraponto.
- MARINELI, F. e PACCA, J.L.A. (2006). Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 28, n. 4, p.497-505.
- MARSH, D.D. and WANG, H.A. (2002). Science instruction with a humanistic twist: teacher's perception and practice in using the History of Science in their classrooms. *Science & Education*, vol. 11, p. 169-189.
- MARSHALL, R. (2007). How do we know that we know what we know? *Physics Education*, vol. 42, p. 238-244.
- MARTINS, A.F.P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 1, p. 112-131.
- MARTINS, R.A. (2000). Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas? *Episteme*, n. 10, p. 39-56.
- MASON, L.; BOLDRIN, A. and ZURLO, G. (2006). Epistemological understanding in different judgment domains: relationships with gender, grade level, and curriculum. *International Journal of Educational Research*, vol. 45, p. 43-56.
- MASSONI, N.T. (2005). *Estudo de Caso Etnográfico sobre a Contribuição de Diferentes Visões Epistemológicas Contemporâneas na Formação de Professores de Física*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física, UFRGS.

MASSONI, N.T. e MOREIRA, M.A. (2007.a). O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuros professores de Física. *IENCI*, vol. 12, nº 1, p.7-54. Em <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.

MASSONI, N.T. e MOREIRA, M.A. (2007.b). Um estudo exploratório sobre a contribuição de visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores de física atuantes. *Tecné, Episteme y Didaxis*, nº 22, p. 5-31, Bogotá.

MOREIRA, M.A., MASSONI, N.T. e OSTERMANN, F. (2007). História e Epistemologia da Física na licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, nº 1, p. 127-134.

MASSONI, N.T. (2009). Laboratório de supercondutividade e magnetismo: um enfoque epistemológico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2.

MASSONI, N.T. y MOREIRA, M.A. (2010). Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la física: una contribución para el aprendizaje significativo de la física, con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 9, nº 2, p. 283-309. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

MATTHEWS, M.R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 12, nº. 3, p. 164-214.

MATTHEWS, M.R. (2009.a). Science, worldviews and education: an introduction. *Science & Education*, vol. 18, n. 6-7, p. 641-666.

MATTHEWS, M.R. (2009.b). Teaching the philosophical and worldview components of science. *Science & Education*, vol. 18, n. 6-7, p. 697-728.

MATURANA, H. R. (2001). *Ciência, Cognição e Vida Cotidiana*. Belo Horizonte: Editora da UFMG.

MAYR, E. (2005). *Biologia, Ciência Única*. São Paulo: Companhia das Letras.

_____. (1998). *O Desenvolvimento do Pensamento Biológico: diversidade, evolução e herança*. Brasília: Editora da Unb.

McADAM, J. E. (1990). The persistent stereotype: children's images of scientists. *Physics Education*, vol. 25, nº 2, p. 102-105.

McBRIDE, J.W. *et al.* (2004). Using inquiry approach to teach science to secondary school science teachers. *Physics Education*, v. 39, p. 434-439.

McCLELLAND, G. (1983). The limits to a physics teacher's responsibility. *Physics Education*, vol. 18, nº 3, p. 114/116.

MEDEIROS, A. (2007). Eric Rogers e o ensino de física moderna. *Física na Escola*, v. 8, n. 1, p. 40-42.

MEDEIROS, A. e MONTEIRO, M.A. (2002). A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 19, nº 1, p. 29-52.

MEICHTRY, Y.J. (1993). The impact of science curricula on students views about the nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, nº 5, p. 429-443.

MELLADO JIMÉNEZ, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), p. 343-358.

MELO, A.C.S e PEDUZZI, L.O.Q. (2007). Contribuições da epistemologia bachelardiana no estudo da História da Óptica. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 99-126.

MESQUITA, N.A.S. e SOARES, M.H.F.B. (2008). Visões da ciência em desenhos animados: uma alternativa para o debate sobre a construção do conhecimento científico em sala de aula. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 3, p. 417-29.

MESTRE, J.P. (2001). Implications of research on learning for the education of prospective science and physics teachers. *Physics Education*, vol. 36, nº 1, p. 44-51.

MOREIRA, M.A. e OSTERMANN, F. (1993). Sobre o ensino do método científico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.10, n.2, p.108-117.

MOREIRA, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: E.P.U., 195 p.

MOREIRA, M.A., MASSONI, N.T. e OSTERMANN, F. (2007). História e Epistemologia da Física na licenciatura em Física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, nº 1.

MOREIRA, M. A. (2006). *Mapas Conceituais & Diagramas V*. Porto Alegre: Ed. do autor, 103 p.

MOREIRA, M.A. (2007). A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29, n. 2. p. 161-173.

MORENO GONZALES, (2006). A. Historia e Epistemologia das ciências. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 24 (3), p. 411-428.

MORRISON, J.A.; RAAB, F. and INGRAM, D. (2009). Factors influencing elementary and secondary teachers' views on the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 46, nº 4, p. 384-403.

MOURA, R. e CANALLE, J.B.G. (2001). Os mitos dos cientistas e suas controvérsias. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 23, nº. 2, p. 238-251.

MUÑOZ BELLO, R. y BERTOLOMEU SÁNCHEZ, J.R. (2003). La historia de la ciencia y los libros de texto: la(s) hipótesis de Avogadro. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), p. 147-159.

NEVES, M.C.D. (1998). A História da ciência no ensino de Física. *Revista Ciência & Educação*, vol. 5 (1), p.73-81.

NEVES, M.C.D. (1992). O resgate de uma história para o ensino de física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Vol. 9, nº. 3, p. 215-224.

ANIAZ, M. and RODRÍGUEZ, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversies in 20th century physics. *Physics Education*, vol. 37, nº 1, p.59/63.

NORRIS, S. P. (1985). The philosophical basis of observation in science and science education. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, nº 9, p. 817-833.

NUSSBAUM, E.M.; SINATRA, G.M. and POLIQUIN, A. (2008). Role of epistemic beliefs and scientific argumentation in science learning, *International Journal of Science Education*, vol. 30, nº 15, p. 1977-1999.

OGUNNIYI, M.B. (1982). An analysis of prospective science teachers' understanding of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 19, nº 1, p. 25-32.

OLAFSON, L. and SCHRAW, G. (2006). Teachers' beliefs and practices within and across domains. *International Journal of Educational Research*, vol. 45, p. 71-84.

OLIVEIRA, F.F., VIANNA, D.M. e GERBASSI, R.S. (2007). Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p.447-454.

OROZCO CRUZ, J.C. (1996). La Dimension histórico-filosófica y la enseñanza de las ciencias. *Física y Cultura: cuadernos sobre historia y enseñanza de las ciencias*, nº 2.

OSTERMANN, F. (1996). A Epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*), vol. 13, n. 3, p.184-196.

OSTERMANN, F. e PUREUR, P. (2005). *Supercondutividade*. São Paulo: Editora Livraria da Física, Soc. Bras. de Física, 1ª edição.

PARUELO, J. (2003). Enseñanza de las ciencias y filosofía. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), p. 329-335.

PAULA, H.F. e BORGES, A.T. (2008). A compreensão dos estudantes sobre o papel da imaginação na produção das ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, p. 478-506.

PEME-ARENGA *et al.*, (2009). La interacción entre concepciones y la práctica de una profesora de Física de nivel secundario: estudio longitudinal de desarrollo profesional basado en el proceso de reflexión orientada colaborativa. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol.8, n.1. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

PENA, F.L. e RIBEIRO FILHO, A. (2009). O uso didático da história da ciência após a implantação dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM): um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas publicadas em periódicos nacionais

especializados em Ensino de Física (2000-2006). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 1, p. 48-65.

PEREIRA, A.I. e AMADOR, F. (2007). A História da Ciência em manuais escolares de ciências da natureza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 6, n.1. Em <http://www.saum.uvigo.es/reec>.

PETRUCCI, D. y DIBAR URE, M.C. (2001). Imagen de la ciencia en alumnos universitarios: una revisión y resultados. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), p. 217-229.

PLEITEZ, V. (2008). A física de partículas elementares e o Prêmio Nobel de Física 2008. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 4, 4301.

POPPER, K. (1982). *Conjecturas e Refutações*. Brasília: Ed. UNB.

_____. (2000). *A Lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: Editora Cultrix, 6ª ed..

PRADO, F. (1989). Experiências curriculares: com História e Filosofia da Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 6, Caderno Especial, p. 9-17.

PRAIA, J. y CACHAPUZ, F. (1994). Un Análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), p. 350-354.

PRIGOGINE, I. (1996). *O Fim das Certezas: Tempo, Caos e Leis da Natureza*. São Paulo: Editora UNESP.

_____. (2002). *As Leis do Caos*. São Paulo: Editora UNESP.

_____. (2006). *El Nacimiento del Tiempo*. Buenos Aires: Tusquets Editores.

PROSSER, M.; WALKER, P. and MILLAR, R. (1996). Differences in students' perceptions of learning physics. *Physics Education*, vol 31, nº 1, p. 43-48.

PUREUR, P. Notas de aula e polígrafos preparados para a disciplina de Física Moderna (módulo de Supercondutividade) lecionada no Curso de Mestrado Profissionalizante/IF da UFRGS, 1º Semestre de 2007.

REGNER, A.C.K.P. (1996). Feyerabend e o pluralismo metodológico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*), vol. 13, nº 3. p. 231-246.

RENN, J. (2004). A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, n. 27, n. 1, p. 27-36.

RICARDO, E.C. e FREIRE, J.C.A. (2007). A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n.2, p. 251-266.

RICARDO, E.C., CUSTÓDIO, J.F. e REZENDE Jr. (2008). Comentários sobre as Orientações Curriculares de 2006 para o ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, 2401.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. e FERRAZ, G. (2009). Ensino-aprendizagem de física no nível médio: o estado da arte da produção acadêmica no século XXI. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, 1402.

RONAN, C.A. (2001). *História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge*. Rio de Janeiro, vol. 4, Jorge Zahar Ed..

ROSA, K. e MARTINS, M.C. (2007). A inserção de História e Filosofia da Ciência no currículo de licenciatura em Física da Universidade Federal da Bahia: uma visão de professores universitários. *Investigações em Ensino de Ciências – IENCI*, v. 12(3), pp.321-337.

ROSA, M.V.F.P.C. e ARNOLDO, M.A.G.C. (2008). *A Entrevista na Pesquisa Qualitativa: mecanismos para validação dos resultados*. Belo Horizonte: 1ª. ed., 1ª. reimpressão, Autêntica.

RYDER, J.; LEACH, J. and DRIVER, R. (1999). Undergraduate science students' images of science. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, nº 2, p. 201-219.

RYDER, J. and LEACH, J. (2008). Teaching about the epistemology of science in upper secondary schools: an analysis of teachers' classroom talk. *Science & Education*, vol. 17, nº 2-3, p. 289-315.

SALVADOR, A. D. (1980). *Métodos e técnicas de pesquisas bibliográfica: elaboração de trabalhos científicos*. Porto Alegre: 8. ed., Sulina.

SANDOVAL, J.S.; CUDMANI, L.C. y MADOZZO, M.J. (1995). Las concepciones epistemológicas de los docentes en la enseñanza de las ciencias fácticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 17, n. 1, p. 55/61.

SAWYER, R.D. (2002). Situating teacher development: the view from two teachers' perspectives. *International Journal of Educational Research*, vol. 37, p. 733-753.

SCHEID, N.M.J.; FERRARI, N. e DELIZOICOV, D. (2007). Concepções sobre a natureza da ciência num curso de ciências biológicas: imagens que dificultam a educação científica. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 12 (2), pp.157-181.

SCHROEDER, C. (2007). A importância da física nas quatro primeiras séries do ensino fundamental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 89-94.

SHEPPARD, K. and ROBBINS, D. M.. (2003). Physics was once first and was once for all. *The Physics Teacher*, vol. 41, p. 420-423.

SHEPPARD, K. and ROBBINS, D. M. (2009). The "First Physics First" Movement, 1880-1920. *The Physics Teacher*, vol. 47, Issue 1, p. 46-50.

- SHIBLEY, I.A. JR. (2003). Using newspapers to examine the nature of science. *Science & Education*, vol. 12, p.691-702.
- SILVA, F.W.O. (2007). A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 149-159.
- SILVA, M.F.F. (2007). Esclarecendo o significado de “cor” em física. *A Física na Escola*, vol. 8, n. 1.
- SILVA, E.M.D. (2008). A Virtude do Erro: uma visão construtiva da avaliação. *Estudos em Avaliação Educacional*, v. 19, n. 39, 2008.
- SILVA, C.C. e MOURA, B.A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, 1602.
- SILVA, L.F. e CARVALHO, L.M. (2009). Professores de Física em formação inicial: o ensino de Física, a abordagem CTS e os temas controversos. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 14 (1), p. 135-148.
- SILVEIRA, F. L. (1996). A Filosofia da Ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*), vol. 13, nº 3. p.197-218.
- SILVEIRA, F.L. (1996). A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*), vol. 13, nº 3. p. 219-230.
- SILVEIRA, F.L. e PEDUZZI, L.O.Q. (2006). Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 23, n. 1, p. 27-55.
- SILVEIRA, F.L. e MEDEIROS, A. (2009). O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 273-294.
- SIQUEIRA-BATISTA, R.; SIQUEIRA-BATISTA, R. e SCHRAMM, F.R. (2005). A ciência, a verdade e o real: variações sobre o anarquismo epistemológico de Paul Feyerabend. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 22, n. 2, p-240-262.
- SOLBES, J. y TRAVER, M. (2001). Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las clases de Física e Química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (1) , p. 151-162.
- SOLOMON, J.; DUVEEN, J. and SCOT, L. (1992). Teaching about the nature of science through history: action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 29, nº 4, p. 409-421.
- SOUZA, C.E.R.; NEVES, J.R. e MURAMATSU, M. (2007). Fotografando com câmara escura de orifício: a óptica e o processo fotográfico na sala de aula. *A Física na Escola*, vol. 8, n.2.

STEINBER, R.N. and DONELLY, K. (2002). PER-Based Reform at a Multicultural Institution. *The Physics Teacher*, vol. 40, p.108-114.

STRAUSS, A. e CORBIN, J. (2009). *Pesquisa Qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de Teoria Fundamentada*, Porto Alegre: Artmed, 2ª ed., reimpressão.

TABER, K.S.; TRAFFORD, T. and QUAIL, T. (2006). Conceptual resources for constructing the concepts of electricity: the role of models, analogies and imagination. *Physics Education*, v. 41, p. 155-160.

TEIXEIRA, E.S.; EL-HANI, C.N. e FREIRE Jr., (2001). O. Concepções de estudantes de Física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual de ensino de Ciências. *Revista da ABRAPEC*, vol.1, nº 3, p. 111.

TOULMIN, S. (1977). *La Comprensión Humana*. Madrid: Alianza Editorial.

TROCCHIO, F. (2005). *Las mentiras de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

VÍLCHEZ-GONZÁLEZ, J.M. and PALACIOS, J.P. (2006). Image of science in cartoons and its relationship with the image in comics, *Physics Education*, vol. 41, p. 240-249.

VILLANI, A. *et al.* (1997). Filosofia da Ciência, História da Ciência e Psicanálise: analogias para o ensino de ciências. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 14, n. 1, p. 37-55.

ZANOTELLO, M. e ALMEIDA, M.J.P.M. (2007). Produção de sentidos e possibilidades de mediação na física do ensino médio: leitura de um livro sobre Isaac Newton. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 437-446.

ZIMMERMANN, E. e BERTANI, J.A. (2003). Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 20, nº 1, p. 43-62.

ZYLBERSZTAJN, A. (2006). Reduccionismo: uma abordagem epistemológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p. 288-290.

WILLIAMS, W.F. (1983). The responsibility of scientists. *Physics Education*, vol. 18, nº 3, p. 110/114.