

LUIZ HENRIQUE MARTINS ARTHURY

**A COSMOLOGIA MODERNA À LUZ DOS ELEMENTOS DA
EPISTEMOLOGIA DE LAKATOS**

**FLORIANÓPOLIS
2010**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

**CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA
CURSO DE MESTRADO**

**A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia
De Lakatos**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO
REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM EDUCAÇÃO
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA.

ORIENTADOR: LUIZ O.Q. PEDUZZI

LUIZ HENRIQUE MARTINS ARTHURY

**FLORIANÓPOLIS
2009**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“A COSMOLOGIA MODERNA À LUZ DOS ELEMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE LAKATOS”

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 06/11/2009

Dr. Luiz Orlando de Quadro Peduzzi (Orientador)

Dr. Jeferson de Lima Tomazelli (Examinador)

Dr. Demétrio Delizoicov Neto (Examinador)

Dr^a. Sonia Maria Silva Corrêa de Souza Cruz (Suplente)

Dr^a. Suzani Cassiani de Souza
Coordenadora do PPGECT

Luiz Henrique Martins Arthury
Florianópolis, Santa Catarina, novembro de 2009.

AGRADECIMENTOS

À minha família, Marla Merck Wagner e Julia Wagner Arthury.

Aos meus pais, Luiz Augusto Lopes Arthury e Maria de Fátima Martins Arthury.

Aos meus irmãos, Luiz Gustavo Martins Arthury e Luiz Satrian Martins Arthury.

Ao Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi, pela orientação precisa e pelas tantas leituras e sugestões que não deixaram passar um único parágrafo impune.

À nação brasileira, por financiar esta pesquisa por meio do CNPq.

Aos professores, funcionários e colegas do PPGECT por toda a prestação e companhia.

RESUMO

A partir da constatação de que os processos de obtenção de conhecimento científico são muitas vezes abordados de forma inadequada mesmo no ensino de ciências, este trabalho procurou discutir sobre a formação de professores de física e de futuros cientistas, sobretudo a contribuição da história e filosofia da ciência neste processo. Elaborou-se na seqüência um material educativo constituído por um texto e uma apresentação eletrônica que procuraram aproximar aspectos históricos e filosóficos da ciência ao ensino de física. O texto elaborado, *A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos*, buscou reconstruir a história da cosmologia neste último século com um olhar dirigido às questões epistemológicas delineadas por Lakatos, objetivando-se uma estrutura didática que possibilitasse seu uso, discussão e avaliação junto aos alunos da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, do curso de Física da UFSC . Para orientar os objetivos com o material produzido, utilizou-se elementos da teoria educacional de Bob Gowin, particularmente as funções do material educativo delineadas nesta teoria. Procurou-se utilizar estas funções na discussão da unidade de ensino aplicada aos alunos participantes, tecendo-se um quadro positivo em relação à sua aceitação geral.

Palavras-chave: Ensino de Ciências, Cosmologia, Teoria do Big Bang, Programa de Pesquisa, Ensino de Física Moderna.

ABSTRACT

After noting that the process of obtaining scientific knowledge are often inadequately addressed even in science education, this study sought to discuss the training of teachers of Physics and future scientists, in particular the contribution of history and philosophy of science in this process. Elaborated in the sequence one educational material consists of a text and an electronic presentation that sought to bring historical and philosophical aspects of science in Physics teaching. The text produced, *The Modern Cosmology in the Light of Elements of the Epistemology of Lakatos*, sought to reconstruct the history of cosmology in the last century with a view to the epistemological issues outlined by Lakatos, aiming a didactics structure that would enable its use, discussion and evaluation with the students of *Evolution of Concepts of Physics*, in the Physics course of UFSC. To guide the goals with the material produced, we used elements of educational theory of Bob Gowin, particularly the functions of educational material outlined in this theory. Tried to use these functions in the discussion of teaching unit applied to the participating students, constructing a positive picture in relation to its general acceptance.

Keywords: Teaching of Science, Cosmology, Big Bang Theory, Research Program, Teaching of Modern Physics.

SUMÁRIO

Introdução.....	9
1.0 A Filosofia, a História e o Ensino de Ciências.....	16
1.1 A importância da história e filosofia para o ensino de ciência.....	17
1.2 Alguns contrapontos.....	25
1.3 A história e a filosofia da ciência na formação do professor.....	28
2.0 O Referencial Epistemológico.....	32
2.1 A Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica.....	33
2.2 Núcleo, Cinturão e Heurísticas.....	34
2.3 Derrotas e Vitórias.....	37
2.4 Lakatos no ensino.....	41
3.0 O Referencial Educacional	
3.1 A teoria educacional de Bob Gowin.....	46
3.2 As funções do material educativo.....	49
3.3 O material educativo – A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos.....	51
4.0 A Natureza Metodológica da Pesquisa	
4.1 Metodologia de pesquisa – aspectos gerais.....	56
4.2 Plano geral da intervenção didática.....	57
4.3 Sobre a apresentação eletrônica.....	58

4.4 Instrumentos de coleta de dados.....	59
--	----

5.0 A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos

5.1 Introdução.....	63
5.2 A Metodologia dos Programas de Pesquisa e a Cosmologia.....	65
5.3 O excedente de conteúdo da Relatividade Geral e o Big Bang.....	70
5.4 O Big Bang e seu principal rival.....	73
5.5 Então, o ruído.....	77
5.6 O ruído, novamente.....	79
5.7 O reforço da teoria.....	80
5.8 Epílogo.....	85

6.0 A Intervenção Didática e a Discussão dos Resultados

6.1 Uma aplicação piloto.....	94
6.2 A intervenção didática.....	95
6.3 Discussão dos resultados.....	96

7.0 Considerações Finais.....

115

Referências bibliográficas.....

122

ANEXO A.....

130

ANEXO B.....

132

Introdução

“A educação científica não é apenas uma questão de democracia, mas de sanidade social”¹

Apesar dos imensos problemas que a educação científica encontra neste país (OECD, 2006), existem alguns indicadores, como veremos, que apontam para soluções tangíveis e procedimentos exequíveis que podem otimizar o ensino de ciências, a partir de uma preocupação maior com as questões concernentes à natureza da atividade científica.

Não obstante a educação em ciências mostrar uma crescente diversificação em suas linhas de pesquisa (Cachapuz et al., 2008), perduram alguns problemas que, a despeito dos trabalhos compromissados com a melhoria do ensino, fazem urgir uma reação por parte dos professores e pesquisadores. Por exemplo, um problema constatado se refere ao distanciamento entre a pesquisa em educação e seus resultados efetivos em sala de aula. Os parques incentivos destinados a melhorias na educação, por meio de pesquisas na área, acabam não tendo o impacto desejado, devido às conseqüências pouco exploradas de seus resultados. Algo que podemos começar a fazer em direção a uma melhoria neste sentido é, segundo Delizoicov (2004), destinar um espaço, em todas as publicações, para apontar possíveis “impactos” para a educação em geral. Ou seja, sugestões sobre “motivações, pretensões, implicações dos resultados das investigações nas práticas educativas” (Delizoicov, 2004, p. 170).

Outra importante sugestão se refere à atuação do professor com as pesquisas em educação. Como agente ligado diretamente à vicissitude em sala de aula, o professor pode aproveitar esta experiência para conduzir pesquisas efetivamente compromissadas com resultados mais imediatos ao que se pretende. Apesar de o professor já dispor de seu nicho profissional, tendo normalmente pouco tempo para atividades de pesquisa, ele está “em uma boa posição, talvez a melhor possível, para registrar certos eventos educativos que se constituem em objeto de estudo da pesquisa em educação em ciências” (Moreira, 2003, p. 10). Para isto ele não poderá prescindir de uma metodologia adequada, e sua formação será capital para a atividade de professor pesquisador. “Pesquisar é muito mais do que registrar eventos. É produzir conhecimento dentro de um marco teórico, epistemológico e metodológico” (Moreira, 2003, p. 10). Assim, e com este cuidado, o professor pode trabalhar melhor a ponte

¹ Holton, 2006, p. 322.

entre pesquisa e ensino, fazendo com que os resultados daquela possam interagir mais de perto com este. Mas o professor-pesquisador em ensino de ciência não poderá fazer muito sozinho, para além dos efeitos localizados de sua disciplina ministrada:

É preciso uma atuação orgânica do corpo docente do curso para que ações formadoras incluam rotineiramente resultados de pesquisa em ensino. Em outros termos, a inclusão de tais resultados depende de um projeto político-pedagógico, que vá além dos interesses e iniciativas de alguns docentes (Delizoicov, 2005, p. 373).

Mas um bom passo inicial é, certamente, a formação de professores com boa sintonia entre o estado da arte das pesquisas em ensino e sua própria atividade docente, que modifique lenta e gradualmente a mentalidade geral do professorado. Isto é essencial para o sucesso da profissão, devido à formação mais compromissada com a natureza da ciência e às práticas educativas provenientes das pesquisas especializadas, e pela simples riqueza cultural adquirida pela leitura de seus pares, que possibilita ao professor ultrapassar a mera transposição do livro para o caderno do aluno. É claro, sua formação é que está aqui em jogo, e a presente pesquisa se projeta como um recurso a mais nesta direção. Como veremos, mais do que simplesmente saber ciência, o professor deve saber ensinar ciência.

Ainda que seja necessário suprir lacunas no conhecimento em Física de professores que pretendem lecioná-la, e para isso esforços devem ser feitos, o problema da mudança da prática docente desses professores não fica resolvido com a superação das suas lacunas em conhecimentos específicos (Delizoicov, 2005, p. 374).

As preocupações com a natureza da ciência, como veremos, podem otimizar sobremaneira o ensino da mesma, sendo também de grande importância ao cientista em formação, que passa a dispor de uma imagem mais visceral da pesquisa científica, como discutiremos mais tarde.

Seguindo as sugestões citadas anteriormente, a presente pesquisa visa contribuir para a formação de um conjunto maior de subsídios ao ensino de ciências, particularmente o papel desenvolvido pelas questões históricas e filosóficas neste sentido. Para isso, propomos uma intervenção didática aportada em um texto cuja elaboração figura como um dos elementos capitais de nossa pesquisa, através do resgate dos principais eventos históricos referentes à evolução da cosmologia moderna. Esta intervenção é composta, ainda, por uma apresentação eletrônica, que contém os elementos principais do texto juntamente com trechos de documentários a respeito. Em seguida, promovemos uma avaliação de sua aplicação por meio de uma interação direta com alunos de graduação em física, para saber em que medida esta

opção de ensino foi bem recebida. Após, realizamos uma discussão sobre os possíveis impactos para o ensino de ciências e atividades futuras relacionadas com o efetivo usufruto das considerações tecidas com nossa pesquisa.

Já alertamos da importância de se saber mais que apenas o conteúdo científico. Em contrapartida, é claro que este não pode ser negligenciado. Sobre as pesquisas na área de ensino de ciências, Moreira aponta que costuma haver uma marginalização do conteúdo científico:

Há pesquisadores na área que relegam o conteúdo científico a um plano bem inferior em suas pesquisas. Há pesquisas em “educação em ciências” nas quais o conteúdo científico é irrelevante. A educação em ciências é um campo interdisciplinar de estudos. Como tal, as pesquisas nesse campo implicam, necessariamente, contribuições de diversas áreas de conhecimento, mas daí a deixar fora a própria ciência parece-me uma descaracterização da área, uma fragilidade séria (Moreira, 2003, p. 9).

Atento a esta advertência, o texto elaborado, “A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos”, busca aproximar tanto a ciência moderna quanto a natureza da própria ciência, da formação do professor de física e também do futuro cientista. Veremos como estas questões podem otimizar a formação de ambos os profissionais, de modo a termos cientistas cada vez mais conscientes do alcance de sua disciplina e mais seguros em relação à sua construção, e professores mais bem preparados em sua importante função de mantenedores e propaladores do conhecimento.

O referencial epistemológico adotado no texto, a filosofia de Imre Lakatos, permite uma aproximação adequada ao que se pretende, uma vez que sua *Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica* abarca características bastante ilustrativas de como a ciência se desenvolve. Pela natureza da pesquisa em cosmologia moderna, onde modelos teóricos e constatações empíricas são, cada um em seu tempo, essenciais para formar o que hoje se denomina *modelo padrão da cosmologia*, os elementos da epistemologia de Lakatos são de grande valia, como veremos, para estabelecer uma base onde podemos fundamentar a vicissitude das pesquisas neste último século.

Lakatos propõe que o filósofo da ciência pode e deve aprender com a história da ciência, e “o historiador da ciência deve, em contrapartida, prestar séria atenção à filosofia da ciência e decidir em qual metodologia ele irá fundamentar sua história interna” (Lakatos, 1978, p. 138). Assim, história e filosofia da ciência formam um *continuum* essencial para se compreender efetivamente a atividade científica, como é nossa intenção com o texto elaborado sobre a cosmologia moderna. Sua estrutura visa

recuperar a noção de que a física é um processo onde o confronto de idéias está sempre presente. É nesse sentido que o estudo da história da física e da sua epistemologia são mais do que prementes: no estudo combinado destas duas disciplinas repousa a possibilidade de se compreender o processo de construção do conhecimento (Robilotta, 1988, p. 17).

Para nortear os intentos da pesquisa propriamente dita e subsidiar a análise dos resultados, traremos o aporte teórico de D. Bob Gowin, professor emérito da Universidade de Cornell, para um olhar dirigido em relação às questões educacionais.

“Educar é mudar o significado da experiência humana” (Gowin, 1981, p. 39). É com esta definição que Gowin constrói sua teoria da educação, onde diferentes elementos trabalharão juntos para permitir que o aluno “agarre” o conhecimento.

A interação entre professor, material educativo e aluno constitui um evento de singular importância. Ao atentar para esta relação tríade e à importância do aluno enquanto indivíduo que efetivamente constrói seu conhecimento, Gowin produz uma teoria educacional que traz o devido respeito à pessoa em processo de educação. “Quando estamos trabalhando com seres humanos, nós devemos constantemente estar alerta às nossas responsabilidades, aos direitos dos outros, e às razões que justificam as ações” (Gowin, 1981, p. 61).

O conhecimento específico a ser ensinado ao aluno precisa ser adequadamente transformado, ou *reconstruído* para propósitos educativos. Gowin sugere que cabe ao professor esta tarefa. Ainda, coloca que os professores “precisam entender e usar a epistemologia de suas áreas como base para propósitos de reconstrução” (Gowin, 1981, p. 64). A presente pesquisa visa justamente uma reconstrução deste tipo, subsidiada, como já frisado, por elementos epistemológicos.

Gowin alerta para o perigo tão comum de se tornar central, na educação, apenas o conhecimento específico a ser ensinado. O aluno chega quase a ser esquecido no processo, o que redundaria nos tradicionais erros de se avaliar o ensino pela capacidade do aluno em repetir frases prontas, mas sem um *sentimento de significância* (Gowin, 1981). Este sentimento está, segundo Gowin, entre os principais objetivos da educação. A efetiva compreensão de um conceito, de uma relação, de uma teoria, está diretamente associada a uma aprendizagem significativa, onde um novo conhecimento, devidamente ancorado e relacionado com o que já se sabia (Moreira, 1982), leva o aluno a construir uma rede de significados que ultrapassam as definições pontuais. Esta aprendizagem significativa, em outras palavras, culmina em um sentimento de significância, um sentimento de que as novas idéias formam um todo coerente com o arcabouço intelectual do aluno. Este sentimento de compreensão é seu próprio e real

conhecimento, sendo que o aluno perde em muito quando não *sente* que compreendeu. “Um estudante de matemática que não sente a elegância e a beleza de uma prova bem trabalhada está perdendo uma parte importante da matemática” (Gowin, 1981, p. 132).

O *compartilhamento de significados* promovidos pelos eventos educativos dar-se-á tão bem quanto à capacidade do professor em gerenciar adequadamente aquilo que o aluno já sabe e suas expectativas e real interesse pelo que será ensinado (Moreira, 1982). Assim, todo material construído com o intuito de se ensinar algo deverá, deste modo, atentar para algumas funções básicas que estarão no cerne dos bons resultados que se espera. Estas funções serão descritas na seqüência do texto, e constituem, em parte, uma base para se avaliar a intervenção didática pretendida.

Com o cuidado histórico e epistemológico com o texto elaborado e o cuidado com seu caráter educativo, esperamos produzir uma atividade de ensino que realmente atinja o esperado sentimento de significância no aluno, de modo que este perceba a ciência não como uma metodologia de perscrutação empedernida e infalível, mas como uma atividade humana rica em situações de controvérsia, de debate e, fundamentalmente, de beleza ímpar na história de nossa escalada pelo conhecimento.

Podemos, assim, colocar como nossa *questão de pesquisa*:

Qual a contribuição do estudo da evolução da cosmologia moderna, aportado em questões históricas e epistemológicas, para a obtenção do sentimento de significância do aluno em relação à natureza da atividade científica como um todo?

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Contribuir com maiores subsídios ao ensino *de* e *sobre* ciências através de uma abordagem histórica e filosófica da cosmologia moderna.

Objetivos Específicos

- Elaborar um material educativo constituído por:
 - a) um texto sobre o desenvolvimento da cosmologia moderna aportado em questões históricas e filosóficas;
 - b) uma apresentação eletrônica para ilustrar e subsidiar sua aplicação.
- Utilizar o material produzido em uma intervenção didática com alunos de graduação em física.
- Avaliar a atividade realizada junto aos alunos participantes: suas influências e sua aceitação geral.
- Apontar os possíveis impactos para a educação científica em geral, por meio de indicativos para outras atividades de ensino relacionadas.

No **capítulo 1** discorreremos sobre a importância da história e filosofia da ciência para a formação de cientistas e professores. Veremos suas potencialidades, tanto para a formação de cientistas mais conscientes do operar da ciência, quanto para a formação de professores mais capacitados para levar, ao aluno, não só os aspectos específicos de sua disciplina, mas também elementos que caracterizem a própria atividade científica, através de abordagens históricas e epistemológicas.

O referencial epistemológico é discutido no **capítulo 2**, onde apresentamos a filosofia de Imre Lakatos, essencialmente as concepções a respeito dos modos de operar da ciência com sua *Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica*. Trazemos, ainda neste capítulo, as potencialidades da epistemologia de Lakatos para o ensino de ciência.

Para nortear os objetivos com o texto elaborado, sua conseqüente aplicação aos alunos e posterior discussão dos resultados, desenvolveremos no **capítulo 3** as funções gerais pretendidas para o material educativo, parte do delineamento do referencial educacional adotado, diga-se, a teoria educacional de Bob Gowin.

A metodologia da pesquisa é apresentada no **capítulo 4**, onde discutimos também sobre a apresentação eletrônica utilizada. Ainda, traçamos um esboço da intervenção didática pretendida, juntamente com os instrumentos para coleta de dados.

O texto “A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos” é apresentado no **capítulo 5**.

No **capítulo 6** fazemos então um relato das atividades realizadas, e uma discussão a partir do retorno obtido com os alunos, esboçando, com o subsídio dos parâmetros delineados na teoria educacional de Gowin, um quadro geral de sua aceitação em relação à intervenção didática proposta. Estes parâmetros compõem-se das funções pretendidas para o material educativo, conforme discutido no capítulo 3.

Com o **capítulo 7** encerramos, mas não esgotamos, as discussões sobre o que foi conseguido com a pesquisa: as conclusões possíveis e os caminhos tangíveis para uma educação científica de qualidade.

1.0 A Filosofia, a História e o Ensino de Ciências

Mesmo nos casos onde não há uma associação explícita, o ensino de ciências é influenciado por visões de ciência de filósofos, cientistas e professores. E, em muitos casos, visões míopes são propaladas inadvertidamente (Fernández et al. 2002). Dos organizadores de grandes projetos educacionais aos professores na sala de aula, as concepções a respeito da natureza da ciência são fatores relevantes no modo pelo qual a educação é arquitetada. Ignorar esta influência na educação é um passo perigoso rumo a uma metodologia de ensino pueril, quando não pernicioso.

Nossa preocupação inicial maior será com o professor, entendendo que este tem um papel essencial na construção de novas formas de pensar do aluno. Ainda, relativamente à transposição das pesquisas em ensino de ciência para a prática no contexto escolar, “os fatores inerentes à formação do professor são os principais entraves [...], o que implica em ações, no âmbito da graduação e da pós-graduação, que favoreçam a relação entre a pesquisa em Ensino de Física e a prática docente” (Pena e Filho 2008, p. 435).

A responsabilidade do professor no processo de educação exige que as questões de ordem filosófica sejam mais bem trabalhadas, uma vez que elas serão levadas adiante, de um modo ou de outro. E, é claro, esperamos que seja do melhor modo. O professor é uma ponte entre o círculo esotérico constituído pelos especialistas que produziram o conhecimento a ser ensinado, e o círculo exotérico, formado pela comunidade de não especialistas (Fleck, 1986). Ele é responsável diretamente pela criação e mudança de *estilos de pensamento* que irão moldar a imagem pública de ciência, e seria leviano achar que suas concepções não afetam o modo pelo qual a ciência é apresentada aos alunos (Silveira, 1996).

Se documentos que estabelecem diretrizes, teóricos líderes em educação, currículos e livros-texto incorporam e divulgam, sem qualquer crítica, certas posições filosóficas, não é de surpreender que os professores de ciências façam o mesmo em sala de aula (Matthews 1995, p. 187).

É assim que a idéia de se ensinar ciência, levando o estudante a ser um cientista mirim, como queriam vários projetos curriculares do início da década de sessenta, “seria admirável se os professores e aqueles que criavam os currículos tivessem uma noção razoável do que significa ser cientista” (Matthews 1995, p. 187). Pois bem, acreditamos que a história e a filosofia da ciência podem fornecer ao professor uma “noção razoável” do que significa ser

cientista, do que significa ciência e do que significa ensinar ciência, contribuindo para a formação do estudante seja ele um futuro cientista ou não.

1.1 A importância da história e filosofia para o ensino de ciência

A proposta de se ensinar ciência com um olhar dirigido, também, para a própria natureza científica, ou seja, os modos de operar da própria ciência e os critérios de validação das teorias pela comunidade científica, tem se mantido como uma das principais linhas de pesquisa em ensino de ciências na última década (Cachapuz et al., 2008). Não obstante, é algo ainda tímido para além dos educadores e pesquisadores desta área, ou seja, seus resultados acabam não chegando à sala de aula (Peduzzi et al., 1992, Delizoicov, 2004 e 2005, Rezende e Ostermann, 2005, Pena e Filho, 2008).

Já a história da ciência parece estar presente de um modo mais efetivo, mas esta é uma aparência bastante enganosa. Em nossa prática de professor de física, ao compartilhar experiências de sala de aula, temos percebido que o que muitos professores chamam de história é, em verdade, arremedos de história jocosos e sem importância do ponto de vista educacional, como o famoso “eureka!” de Arquimedes, ao descobrir o empuxo tomando banho em uma banheira, ou a célebre queda da maçã na cabeça de Newton, que teria desencadeado a teoria da Gravitação Universal na mente do grande gênio. Este uso indiscriminado da história “é melhor, *talvez*², do que o uso de piadas, como se faz em cursinhos, para manter a atenção dos alunos; mas pode apresentar uma visão distorcida e mistificada da ciência e dos cientistas” (Martins, 1990, pg. 4). Definitivamente, não é o que propomos quando defendemos um ensino aportado em questões epistemológicas - a natureza da ciência - e históricas - os exemplos esclarecedores da evolução dos conceitos científicos. O que propomos é um uso efetivo da história e da filosofia da ciência como aporte essencial no estratagema de ensino, de tal modo a constituir uma teia de relações que ultrapassem seu mero uso casual. Que sirva ao propósito de “desenvolver uma seqüência de idéias organicamente relacionadas, cujo estudo leva o aluno a um ponto de vista mais elevado, uma visão mais geral da natureza funcional, do estilo de vida do cientista e do poder da mente humana” (Holton,

² Itálico nosso. Enfatizamos o “talvez” porque, efetivamente, acreditamos que mesmo nos casos onde há apenas uma breve citação de algum feito relacionado a um célebre cientista, esta deva seguir um mínimo de veracidade e compromisso.

1979, p. 255). Enfim, um ensino onde as questões sobre a natureza da ciência sejam um eixo paralelo, quando não de través, aos conteúdos científicos específicos.

O professor, ao trabalhar estas questões, estará propiciando ao aluno um ambiente muito mais favorável à apreensão dos conceitos envolvidos, não só pelo maior número de relações cognitivas oferecidas a ele, mas também porque, ao se conhecer o processo, os resultados ficam mais coerentes. Martins (1990, p. 4) coloca que “geralmente, os resultados científicos atualmente aceitos são pouco intuitivos e óbvios, tendo resultado de uma longa evolução e discussão. O ensino dessa evolução facilita a compreensão dos resultados finais e de seu real significado”.

Um estudo realizado na Espanha, a respeito da introdução da história da ciência nos cursos de física e química de diversas escolas de B.U.P. (Bachillerato Unificado Polivalente, curso escolar equivalente ao nosso Ensino Médio), mostrou que o grupo de estudantes onde foi aplicada uma estratégia de ensino aportada em questões históricas apresentou uma diferença significativa concernente à imagem de ciência, em relação ao grupo de controle. Os autores concluíram, em relação aos alunos que entraram em contato com a história da ciência, que

é possível aumentar seu interesse face o estudo da física e da química mediante um tratamento minimamente detido em alguns aspectos históricos introduzidos no processo de aquisição dos diferentes conceitos e teorias científicas, já que assim se pode mostrar uma imagem de ciência mais correta e mais próxima da realidade do trabalho dos cientistas” (Solbes & Traver, 2001, p. 159)

Ainda, o estudo da história em classes de ciências é uma ferramenta potencialmente motivadora à obtenção de novos conceitos.

Informações (preferivelmente bem fundamentadas) sobre a vida de cientistas, a evolução de instituições, o ambiente cultural geral de uma época, as concepções alternativas do mesmo período, as controvérsias e dificuldades de aceitação de novas idéias – tudo isso pode contribuir para dar uma nova visão da ciência e dos cientistas, dando maior motivação ao estudo (Martins, 1990, p. 4).

Como veremos na seqüência do texto, a preocupação com a motivação do aluno, além de uma característica, pode ser um objetivo a mais para obter sua atenção sincera à seqüência de discussões de uma relação didática e, conseqüentemente, aumentar os subsídios para que compreenda efetivamente os conteúdos ensinados. Mas os intentos com o ensino da natureza da ciência vão mais além.

Encontramos uma boa síntese das potencialidades de uma maior preocupação com os aspectos históricos e epistemológicos na educação em Matthews (1995, p. 165), que coloca que estes aspectos:

podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aulas de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.

Os profissionais que defendem a história e a filosofia da ciência no ensino, tanto dos alunos em geral, quanto dos futuros cientistas e professores, buscam tentativas mais efetivas de se obter uma educação científica mais abrangente em diversos contextos: “ético, social, histórico, filosófico e tecnológico; o que não deixa de ser um redimensionamento do velho argumento de que o ensino de ciências deveria ser, simultaneamente, *em* e *sobre* ciências”³ (Matthews, 1995, p. 166).

O “velho argumento” se refere a propostas do final do século XIX, onde o físico e filósofo Ernst Mach já defendia a compreensão do desenvolvimento histórico dos conceitos para que teorias sejam melhor compreendidas.

A investigação histórica do desenvolvimento da ciência é extremamente necessária a fim de que os princípios que guarda como tesouros não se tornem um sistema de preceitos apenas parcialmente compreendidos ou, o que é pior, um sistema de pré-conceitos. A investigação histórica não somente promove a compreensão daquilo que existe agora, mas também nos apresenta novas possibilidades (Mach, citado em Matthews, 1995, p. 169).

Embora relativamente antiga, a proposta demoraria a ressoar. Ainda nos anos 40, “Harvard nem considerava a existência da História da Ciência” (Holton, *in* Oliveira e Freire, 2006, p. 324). Segundo Holton, nesta época o único professor que lecionava uma disciplina específica de história da ciência era George Sarton, que nem era pago pela universidade, mas sim por uma fundação.

Gerald Holton foi um dos pioneiros a implementar propostas de ensino mais compromissadas com a natureza da ciência em um projeto que viria ser referência para outros

³ Sublinhados nossos.

na área. O Projeto Harvard de Ensino de Física, na década de 60, promovia abordagens conectivas que não se limitavam ao currículo dos conteúdos desta ciência, mas sim de suas múltiplas relações e mútuas influências com outras áreas do saber, que melhor justificavam e potencializavam o conhecimento científico na sociedade. Holton é contundente ao sugerir que “o público que não tem conhecimento científico suficiente, mesmo que de forma elementar, seja através da educação escolar, seja através de leituras, não é propriamente são. [...] A educação científica não é apenas uma questão de democracia, mas de sanidade social” (Holton, *in* Oliveira e Freire, 2006, p. 322). E, pela importância imputada ao ensino de ciência, Holton defende que abordagens conectivas podem atrair um número maior de alunos para esta disciplina, que costuma ter uma baixa procura pelos estudantes em geral (Holton, 1979). Ao mesmo tempo, defende que: “A escolha entre alternativas deve ser preservada, nos currículos educacionais e em todos os outros aspectos da vida humana democrática” (Holton, 1979, p. 247). Ou seja, a educação científica aportada em questões epistemológicas e históricas deve ser uma opção a ser oferecida ao aluno, e de modo algum a única.

Agora, os resultados obtidos com o Projeto Harvard mostram que esta é uma opção de retorno relevante. “Verificamos que uma abordagem mais humanista da ciência pode ampliar o grupo de estudantes em potencial” (Holton, 1979, p. 252). De fato, o Projeto Harvard, e suas extensões aos níveis mais básicos de educação, chegou a atingir 15% dos alunos de todo os Estados Unidos, elevando as médias dos estudantes em ciências e atraindo um número maior de mulheres para estes cursos (Matthews, 1995). O que não é pouco, para uma proposta preocupada com as dimensões cultural, histórica e filosófica da ciência.

Uma outra questão, de grande relevância para o ensino de ciência, está relacionada com as visões deformadas que este pode propalar. Se uma educação científica de qualidade passa por uma educação, também, *sobre* ciência, então o modo pelo qual esta é apresentada aos alunos fará uma grande diferença em sua compreensão do que venha a ser a atividade científica.

É muito difundida, mesmo por professores de ciência (Fernández et al., 2002), uma visão *empirista* que tende a se tornar um apanágio da pesquisa científica, onde esta se resumiria, basicamente, à observação, experimentação e medição. Estes, após a aplicação do “método científico”, levariam então o cientista a formular suas leis. Ou seja, um papel praticamente nulo é dado à livre construção de hipóteses e teorias pelo cientista que, efetivamente, seria simplesmente um organizador de dados advindos da natureza.

A concepção de que a ciência teria uma metodologia bem definida deve muito a Francis Bacon, para quem a perscrutação científica começaria com a pura observação, livre de

pressupostos e preconceitos. Segundo Bacon, “o intelecto deve ser liberado e expurgado de todos eles, de tal modo que o acesso ao reino do homem, que repousa sobre as ciências, possa parecer-se ao acesso ao reino dos céus, ao qual não se permite entrar senão sob a figura de criança” (Bacon, citado em Silveira e Ostermann, 2002, p. 15). Apesar da eloquência, estas palavras não encontram muito respaldo:

A observação não pode ser o ponto de partida para o novo conhecimento, pois observar implica dirigir a atenção para alguns aspectos da realidade. Desta forma, a observação pressupõe um sistema de expectativas, algo teórico que se antecipa e decide, a priori, em quais aspectos da realidade focar a atenção (Moreira e Ostermann, 1993, p. 114).

Por exemplo, segundo o empirismo, Galileu teria concluído que todos os corpos caem com a mesma aceleração no vácuo, resultado obtido através de uma generalização de experimentos realizados em praça pública⁴, como a célebre história da torre de Pisa. Mas um estudo mais aprofundado mostra que

a *teoria dos movimentos* de Galileu foi fortemente motivada por um *problema teórico*, qual seja o de dar suporte mecânico à *teoria copernicana*; os alegados experimentos, quando ocorreram, tiveram uma função diversa daquela propugnada pela história *empirista* (Silveira e Peduzzi, 2006, p. 36).

Semelhantemente, os resultados negativos dos experimentos realizados por Michelson e Morley, sobre o vento de éter relativo ao movimento da Terra, costumam ser citados como decisivos para o descarte do éter e para os fundamentos da relatividade restrita (Silveira e Peduzzi 2006). Mas Einstein, que nem mesmo cita estes experimentos em seu artigo de 1905, onde são desenvolvidas as bases da relatividade restrita, adota a constância da velocidade da luz (supostamente obtida a partir dos experimentos de Michelson e Morley) como um postulado necessário à manutenção das leis do eletromagnetismo e da mecânica para diferentes referenciais. Ainda, para Einstein,

as bases axiomáticas da física não podem ser obtidas a partir da experiência, pois nenhum caminho lógico pode conduzir das *percepções* aos *princípios* de uma teoria. Os fundamentos de uma teoria científica são livres criações do espírito humano (Silveira e Peduzzi 2006, p. 40).

⁴ Esta visão é originária de escritos do primeiro biógrafo de Galileu, Viviane (Silveira e Peduzzi 2006).

É curioso que Michelson jamais tenha abandonado a hipótese do éter, apegando-se à idéia de que mesmo os resultados negativos de seus experimentos não tinham refutado sua existência. É digno de nota que, novamente,

a teoria da relatividade restrita foi motivada por um problema teórico: resolver uma inconsistência entre a mecânica e o eletromagnetismo. Os resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley, apesar de justificados teoricamente pela teoria de Einstein, não foram cruciais para a física clássica e, particularmente para Michelson (bem como para outros cientistas), não se constituíram em uma refutação da hipótese do éter (Silveira e Peduzzi 2006, p. 41).

Segundo Lakatos, cuja filosofia da ciência discutiremos no próximo capítulo, a relatividade restrita “predisse” e explicou os resultados dos experimentos de Michelson e Morley, não sendo obtida a partir destes. “Só então, vinte e cinco anos depois, veio a experiência de Michelson e Morley a ser encarada como “a maior experiência negativa da história da ciência”” (Lakatos 1979, p. 200). A visão empirista não é só difundida pelos professores: “esta visão de ciência vinculada ao aluno por autores e professores não é só deles: vem da própria ciência. Os cientistas, em geral, pensam que o conhecimento é tirado da natureza” (Moreira e Ostermann, 1993, p. 113). O que é resumido na provocativa sugestão de Lakatos de que “a maioria dos cientistas tende a entender um pouco mais de ciência do que os peixes de hidrodinâmica” (1979, pg. 182). Naturalmente, esta colocação precisa ser racionalizada com cuidado.

Percebemos, então, como fica fácil perpetuar os mitos da história da ciência, não dando a devida atenção ao seu caráter epistemológico. É irônico que cada uma das principais características da atividade científica propaladas nos livros didáticos sejam altamente discutíveis. Segundo Moreira e Ostermann (1993, p. 113), são elas:

1. o método científico começa na observação;
2. o método científico é um procedimento lógico, algorítmico, rígido; seguindo-se rigorosamente as etapas do método científico chega-se, necessariamente, ao conhecimento científico;
3. o método científico é indutivo;
4. a produção do conhecimento científico é cumulativa; linear;
5. o conhecimento científico é definitivo.

Como vimos, o processo de obtenção do conhecimento científico não começa pura e simplesmente com a observação livre de preconceitos. “Nem o mais puro, ou o mais ingênuo cientista, observa algo sem ter a cabeça cheia de conceitos, princípios, teorias, os quais direcionam a observação. O relato da observação também está impregnado de teoria” (Moreira e Ostermann, 1993, p. 113). Esse processo também não apresenta uma série de estágios pontualmente definidos, nem um conjunto fixo de regras de procedimento.

“Fazer ciência é uma atividade humana, com todos os defeitos e virtudes que o ser humano tem, e com muita teoria que ele tem na cabeça. Conceber o método científico como uma seqüência rigorosa de passos que o cientista segue disciplinadamente é conceber de maneira errônea a atividade científica” (Moreira e Ostermann, 1993, p. 114).

O processo de produção do conhecimento científico também não permite obter conhecimento simplesmente a partir de induções, uma vez que estas não validam enunciados universais. Todos os cisnes vistos podem ser brancos, mas isto não nos garante a brancura de todos os cisnes que existem (Popper, 1982). Ademais, observações de laboratório, que tão freqüentemente são usadas como símbolo da perscrutação científica, não permitem a obtenção de *uma* lei científica, uma vez que “um mesmo conjunto de pontos é compatível com um número infinito de funções” (Silveira e Ostermann, 2002, p. 23). As leis científicas são obtidas hipoteticamente com explicações muito mais abrangentes que a mera adequação com os dados de uma tabela. O processo de produção do conhecimento científico também não é cumulativo, no sentido de que o átomo atual não é uma simples evolução natural do átomo de Demócrito, e de que nosso universo atualmente conhecido é bastante diferente daquele pensado por Ptolomeu. Não houve um simples acúmulo de fatos, e sim uma constante alteração destes frente às novas explicações. “O conhecimento científico cresce e evolui não por mera acumulação, mas principalmente por reformulação do conhecimento prévio” (Moreira e Ostermann, 1993, p. 115). Finalmente, o conhecimento científico não é definitivo, como as considerações anteriores sugerem. “O conhecimento científico que temos hoje está baseado em modelos e teorias inventados e que podem estar equivocados ou apenas parcialmente corretos” (Moreira e Ostermann, 1993, p. 115).

E o que seria o método científico? Talvez a melhor resposta a esta questão seja: não existe um *método* científico, e sim *procedimentos* científicos (Moreira e Ostermann, 1993). E estes são fonte de inúmeras controvérsias. Mas, apenas lembrando, “toda nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil - e, no entanto, é a coisa mais preciosa que

temos” (Einstein, citado em Sagan, 1996). Uma interessante caracterização do processo de produção do conhecimento científico é sintetizada por Moreira e Ostermann (1993, p. 116):

A produção do conhecimento humano se caracteriza por uma permanente interação entre pensar, sentir e fazer. Qualquer tipo de conhecimento produzido pelo homem é fruto desta interação. O ser humano é um ser que se caracteriza por pensar, sentir e fazer. Na produção do conhecimento científico o pensar se refere ao domínio conceitual da pesquisa, a sua fundamentação teórica, sendo guia da determinação dos acontecimentos a serem estudados e orientação para as observações a serem feitas. O fazer corresponde ao domínio metodológico da investigação. [...] O sentir é o aspecto mais negligenciado, ao se falar de produção do conhecimento científico. Os meios de comunicação, os livros de texto, os professores falam como se o conhecimento científico fosse produzido por gênios alheios ao mundo real. [...] Por outro lado, talvez eles estejam transmitindo uma visão gerada e reforçada em instituições onde se faz pesquisa.

Uma caracterização mais pormenorizada dos domínios conceitual e metodológico poderá ser encontrada nos textos de epistemólogos como Popper (1993), Kuhn (1970) e Lakatos (1979), este último com sua epistemologia discutida na seqüência do texto.

A história e a filosofia da ciência têm, assim, um importante lugar na construção de uma imagem de ciência mais próxima do seu verdadeiro desenvolvimento, pelo menos segundo à “outra história” (Silveira e Peduzzi 2006) que procura desmistificar o modo pelo qual o conhecimento é engendrado. Paradoxalmente, o ensino fortemente voltado apenas aos conteúdos científicos acaba prestando um desserviço à compreensão da própria ciência. “Muitas experiências pedagógicas demonstram que na maior parte dos casos analisados o ensino de ciências não dá bons resultados, os alunos não aprendem, ou aprendem parcialmente os conhecimentos científicos que a escola trata de transmitir-lhes” (Gagliardi, 1988, p. 292). Pois bem, já tarda uma reação neste sentido uma vez que ainda nos dias de hoje estas experiências pedagógicas negativas não são muito diferentes, mesmo com as tentativas de aproximação entre epistemologia, pesquisa e ensino, ocorridas nas últimas décadas (Delizoicov, 2005). “A escola já não é o lugar onde se aprende ciência, senão o lugar onde se transforma o sistema cognitivo para [o aluno] poder aprender ciência” (Gagliardi, 1988, p. 292).

Na seção 2.4 veremos com mais pormenores como um ensino voltado a estas questões pode ser de fato conduzido, com o aporte direto da filosofia e da história da ciência.

1.2 Alguns contrapontos

Naturalmente, temos alguns argumentos que foram colocados que, longe de apenas serem uma crítica às propostas “contextualistas” de educação científica, aportadas nos domínios históricos e filosóficos dos conhecimentos científicos, são questões que devem ser constantemente lembradas para que, efetivamente, todo o potencial desta proposta possa ser aproveitado. Algumas críticas clássicas às metodologias de ensino que procuram trazer a natureza da ciência para a sala de aula podem ser encontradas em autores como Martin Klein e Thomas Kuhn (Matthews, 1995).

Klein (1972) coloca, basicamente, que todo recorte histórico que se possa fazer objetivando a educação em ciência será, necessariamente, uma história de má qualidade e, portanto, é preferível não usá-la. Ora, concordamos que, para ser abordada em atividades de ensino de ciências, a história deverá ser inevitavelmente simplificada, mas de modo algum isto significa que esta história será obrigatoriamente de má qualidade, assim como as simplificações naturais no conteúdo de mecânica, estudado pelo aluno de física, não faz dela uma física de má qualidade. “Existem níveis educativos em que, creio, ensinar é mentir um pouco” (Sánchez Ron, 1988). Evidentemente, desde que racionalizemos a função e o nível desta “mentira”.

Na pedagogia, como na maioria das coisas, muitas vezes a matéria tem que ser simplificada. E isto é tão verdadeiro para a história da ciência quanto o é para: a economia, ou para a própria ciência. Porém o fato de que a história da ciência seja simplificada não se torna um argumento decisivo contra ela. A tarefa da pedagogia é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre a matéria, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico. (Matthews, 1995, p. 177).

Já a caracterização da ciência feita por Kuhn lida de perto com a maneira pela qual o cientista é formado, onde não há muito lugar para a crítica das bases do que é ensinado. Pelo contrário, a educação do cientista “semeia o que a comunidade científica, com dificuldade, alcançou até aí – uma *adesão profunda*⁵ a uma maneira particular de ver o mundo e praticar ciência” (Kuhn, 1979, p. 55). Segundo sua descrição da ciência, ao longo da maior parte do tempo as atividades produzidas se fundamentam em alguma teoria pré-concebida e paradigmática, sendo raro o surgimento de idéias realmente novas. Neste período, conhecido como *ciência normal*, onde a atividade científica é caracterizada pela resolução de quebra-

⁵ Grifo nosso.

cabeças dentro de um modelo estabelecido e largamente difundido - o *paradigma*⁶ -, é também instituída qual ciência será ensinada. Este ensino, por sua vez, estará aportado na noção de *exemplares*, onde os conhecimentos do aluno serão exercitados por meio de situações semelhantes àquelas vistas nos conteúdos estudados. Por exemplares, “Kuhn entende um conjunto de problemas e de soluções-padrão, que materializam o consenso da comunidade científica, guiando sua prática num período de ciência normal e que são transmitidos pelos manuais durante a formação dos cientistas” (Abrantes, 1998, p. 3).

Os estudantes são introduzidos num novo campo, por exposição a “exemplos compartilhados” de soluções para problemas. O estudante aprende a servir-se de toda a bagagem conceitual de uma tradição científica pelo estudo desses exemplares. A aprendizagem tem sucesso se os estudantes são capazes de resolver novos problemas, “similares” a esses exemplares (Abrantes, 1998, p. 3).

A iniciação científica do aluno, baseada nos exemplares, em moldes rígidos e não discutíveis, seria necessária, segundo Kuhn, uma vez que é ela que garante ao aluno um foco de estudos que define o sucesso da ciência moderna em um nível nunca antes atingido, quando este tipo de educação não existia (Kuhn, 1970). Nesta linha de raciocínio, uma educação científica que trouxesse ao aluno discussões críticas da natureza da ciência poderia solapar suas convicções, desestimulando-o em sua formação. Embora a preocupação pareça legítima, “não há evidências de que tais abordagens diminuam o entendimento científico; elas podem abalar uma certa convicção pseudo-científica, o que não é de todo mal” (Matthews, 1995).

Diversos autores têm apontado resultados positivos com abordagens históricas e filosóficas (Holton, 1979, Martins, 1990, Matthews, 1995, Villani, 2001, Silveira, 2006, Peduzzi, 1992, Peduzzi e Basso, 2005, Gil-Pérez, 2002, Freire Jr., 2002, Moreira, 2007, Gagliardi, 1988, Teixeira et al., 2001, Massoni e Moreira, 2007) sendo que desde o sucesso do Projeto Harvard já tínhamos este indicativo. “O sucesso do Projeto de Física de Harvard é um exemplo de peso contra as preocupações manifestadas [anteriormente]” (Matthews, 1995).

Mas, ao contrário do que parece sugerir os contra-argumentos que colocamos às críticas de Klein e Kuhn, a situação não se encerra tão facilmente. Como vimos anteriormente, Ernst Mach defendia a história como poderosa ferramenta inclusive para se aprender conceitos científicos. Ainda, sugeria que quem conhecesse a história poderia julgar mais livremente e mais corretamente o desenvolver da ciência, tomando melhores decisões

⁶ O *paradigma*, palavra amplamente empregada a partir de Kuhn, é mais tarde substituída por este pela noção de *matriz disciplinar*, que englobaria os diversos sentidos em que *paradigma* foi utilizado antes (Abrantes, 1998). Entre estes, temos a noção de *exemplar*, comentado na seqüência.

(Sánchez Ron, 1988). Mas Sánchez Ron, físico teórico da universidade de Madrid, agudamente lembra que “o próprio exemplo de Mach, com seus erros, juízos e valorações acerca das idéias atomistas na física que com grande sucesso desbancaram suas “análises das sensações”, demonstra o quão otimistas e triviais são estes tipos de argumentos” (Sánchez Ron, 1988).

Embora não concordemos que os argumentos de Mach sejam triviais (otimistas sim), um cuidado maior deve ser tomado em nossas justificativas. Como já citado, há, sim, bons indícios das potencialidades positivas de uma educação científica mais comprometida com a natureza da ciência, mas há também quem defenda uma maior cautela. Um dos pontos se refere ao nível de complexidade das atividades metacognitivas (pensar sobre o pensar) que podemos transmitir aos alunos: as discussões a respeito da própria atividade científica em alguns níveis escolares.

Não se deve pretender reproduzir na escola este tipo de reflexão metacognitiva, nem tampouco entrar nos complexos problemas que ainda estão por resolver; o objetivo a perseguir não é formar filósofos nem sociólogos da ciência, mas ajudar a compreender melhor a ciência e a tecnologia contemporâneas (Acevedo et al., 2005, p. 2).

Definitivamente concordamos que o objetivo não é formar filósofos da ciência⁷. Como vimos, certamente deve haver um compromisso com simplificações sóbrias e adequadas. “A simplificação deve levar em consideração a faixa etária dos alunos e todo o currículo a ser desenvolvido. História e ciência podem tornar-se mais e mais complexas à medida que assim o exija a situação educacional” (Matthews, 1995, p. 177).

Acevedo sugere que os especialistas em Didática das Ciências frequentemente ignoram “as provas científicas que a investigação desenvolvida pela própria Didática das Ciências proporciona” (Acevedo et al., 2005, p. 8), referindo-se à falta de bases suficientes para efetivamente defender o ensino da natureza da ciência como algo peremptoriamente positivo. Apesar de esta colocação ser um pouco estranha do ponto de vista científico (“provas” científicas?), faz-nos lembrar que não temos, nas mãos, garantias inequívocas de nosso sucesso. Mas como poderia ser diferente?

A presente pesquisa é mais uma contribuição no sentido de obter um retorno em relação a estas questões, contribuindo para sua discussão.

⁷ Ainda que intencionalmente corramos o risco de estimular uma procura maior por esta área.

1.3 A história e a filosofia da ciência na formação do professor

Se por um lado existem algumas preocupações e questões a serem discutidas em relação ao estudo da natureza da ciência no ensino de ciências, parece haver um certo consenso de que, na formação do professor, estas questões são mais prementes. Se para o aluno as questões históricas e epistemológicas devem ser tratadas com cuidado, uma vez que está em jogo toda sua compreensão do que venha a ser a atividade científica, para o professor estas questões são muito mais urgentes, uma vez que são elas que lhe possibilita uma visão abrangente das coisas de modo a melhor conduzir o aluno com os referidos cuidados.

O professor, para além do historiador, filósofo ou cientista, tem um papel que visa a transposição, não só do conhecimento científico, como das diferentes particularidades da ciência que, longe de serem hegemônicas, cobrem todo um espectro de diferentes concepções, de diferentes pensadores, que a define.

Se, ao filósofo e historiador, é difícil a adoção de uma postura eclética, o educador científico pode, e deve, valer-se do pluralismo de versões, mostrando como cada uma delas revela diferentes facetas do conhecimento científico. Este posicionamento é particularmente necessário no que diz respeito à formação de professores de física, tanto para o curso secundário como para a universidade (Zylbersztajn, 1988, p. 46).

O professor é um dos grandes responsáveis em construir (ou “consertar”) a idéia de ciência que pulula na sociedade, sendo que as questões referentes à natureza da ciência, sua história, podem ser muito úteis neste sentido:

O professor de uma dada ciência não transmite aos seus alunos apenas os conteúdos (resultados) dessa ciência, mas também (consciente ou inconscientemente) uma concepção sobre o que é Ciência. Ora, o conhecimento sobre a natureza da pesquisa científica só pode ser adquirido de duas formas: ou pela prática da pesquisa e contato com cientistas (isto é, pela vivência direta) ou pelo estudo da História da Ciência (Martins, 1990, pg.4).

Como vimos anteriormente, visões equivocadas de ciência têm sido transmitidas pelo ensino. Some-se a isto professores sem uma formação adequada na área, e teremos a tendência de se repetir, no ensino, uma quase-história, ou seja, um conjunto de arremedos largamente difundidos por documentos e artigos cujos conteúdos não podem, devido às lacunas formativas do professor, ser selecionados criteriosamente para seu uso na educação. Assim, uma melhor formação na área de história e filosofia da ciência pode ainda permitir ao professor melhores opções didáticas.

Um bom professor de uma disciplina científica deve combinar uma competência científica (dominar o conteúdo que vai lecionar) com uma competência didática. A História da Ciência pode contribuir para esses dois aspectos da formação de um professor, de modo significativo (Martins, 1990, pg.4).

Uma formação acadêmica mais voltada às questões de ordem histórica e filosófica pode contribuir para uma visão de ciência mais próxima do que conhecemos hoje sobre sua natureza, permitindo ao futuro professor evadir-se das histórias apócrifas e das visões distorcidas perpetuadoras de uma imagem inadequada de ciência. Um estudo, realizado com alunos do curso de licenciatura em física da UFRGS contemplados com uma disciplina voltada à história e epistemologia da física, mostrou que suas concepções a respeito da natureza da ciência eram, em sua maioria,

inadequadas em relação às visões epistemológicas contemporâneas e fortemente associadas a visões empiristas/indutivistas. Com raras exceções, os estudantes pareciam acreditar que a Física se desenvolvia e se sustentava, ao longo da história, sobre bases sólidas porque era assentada na observação e experimentação e, por isso mesmo, dando origem a leis e teorias fixas, verdadeiras e imutáveis (Massoni e Moreira, 2007, p. 50).

Vimos como o empirismo exacerbado normalmente é propalado mesmo pelos círculos que deveriam primar por um maior compromisso com a real construção da ciência, sendo que nada mais natural atacar o problema direto na fonte, ou seja, a formação do professor. Em relação aos alunos de licenciatura citados acima, Moreira et al. apontam que

a apresentação e discussão das principais visões epistemológicas contemporâneas de forma direta e utilizando amplamente os aspectos históricos de construção da física contribuiu de forma positiva na evolução das visões da natureza da ciência do grupo de estudantes (Moreira et al., 2007, p. 133).

Isto sinaliza que grupos de professores em formação podem ser mais bem trabalhados, para se evitar que visões empiristas sejam levadas adiante. Isto pode se dar por meios diferentes. Por exemplo, pode-se realizar uma apresentação inicial clara e direta das visões epistemológicas contemporâneas, como foi o caso citado acima, ou de um modo mais perscrutador, através de discussões baseadas em textos originais históricos e epistemológicos, para identificar as concepções iniciais dos alunos e para uma futura discussão epistemológica calcada nos preceitos contemporâneos (Teixeira, El-Hani e Freire Jr., 2001).

Uma formação mais abrangente que contemple as características da ciência para além de seu conteúdo específico, permite ainda ao professor uma oportunidade de compreender melhor os próprios elementos de seu discurso.

Seria, no mínimo, esquisito imaginar um bom professor de literatura que não tivesse conhecimento dos elementos da crítica literária: a tradição que discute o que tem, ou não, valor literário, como a literatura se relaciona com a sociedade, a história dos gêneros literários, etc. Da mesma forma, também deve ser estranho imaginar um bom professor de ciências que não detenha um conhecimento razoavelmente sólido da terminologia de sua própria disciplina – “causa”, “lei”, “explicação”, “modelo”, “teoria”, “fato” -; ou nenhum conhecimento dos objetivos muitas vezes conflitantes de sua própria disciplina – descrever, controlar, compreender -; ou mesmo nenhum conhecimento da dimensão cultural e histórica de sua disciplina (Matthews, 1995, p. 188).

Parece-nos que um professor sem uma formação que contemple a natureza da ciência nos moldes discutidos estará terminantemente atrelado ao treinamento científico, e não ao ensino de ciências.

O treinamento é obtido transmitindo-se a habilidade mais eficientemente para um propósito científico. A educação é alcançada transmitindo-se um ponto de vista que permite a generalização e aplicação numa grande variedade de circunstâncias, em nossa vida posterior (Holton, 1979, p. 258).

O primeiro caso pode até ser relevante do ponto de vista acadêmico, específico de uma área do conhecimento, e, ainda assim, com importantes ressalvas⁸. É um tipo linear e desatualizado de se ensinar ciência, mais fácil, trazendo um ônus menor para o professor. Mas não é adequado para classes abrangentes de alunos interessados no poder e no significado da ciência, mas que não pretendem se tornar cientistas (Holton, 1979). Pelo contrário, é quase um desrespeito ao aluno. Como o professor pode ser ceifado, em sua formação, em relação ao que se presta o ensino de ciências para a população?

O Projeto Harvard, apesar de seus resultados positivos já citados, apresentou um problema. Embora seu currículo fosse altamente compromissado com uma maior e efetiva compreensão da natureza da atividade científica, houve dificuldades em levar sua proposta “ao conhecimento dos professores para que pudessem lidar com o currículo de maneira aberta e crítica” (Matthews, 1995, p. 171). O que nos leva, novamente, à questão da formação do professor. A qualidade desta tem uma urgência, talvez, maior que a preocupação com currículos mais compromissados com a natureza da ciência. “Os professores bem

⁸ “O cientista “normal” (...) é uma pessoa da qual devemos ter pena. (...) foi mal ensinado (...) foi ensinado com espírito dogmático: é uma vítima da doutrinação” (Popper, 1979).

(in)formados nesta área podem recuperar um mau currículo e professores com graves deficiências de formação podem matar um bom currículo” (Praia, Cachapuz & Gil-Pérez, 2002, p. 140). A qualidade do ensino está, assim, atrelada muito de perto com a qualidade dos professores que formamos.

Um país não se desenvolve sem educação e educação passa necessariamente pelos professores. A conscientização da importância da perspectiva histórica e epistemológica e das implicações sociais da ciência e da tecnologia resultante, em particular da Física, se faz necessária não apenas para tornar as aulas mais atrativas, para contextualizar as controvérsias ocorridas na época da propositura de teorias importantes, para despertar a reflexão e a crítica dos alunos, mas essencialmente porque é preciso construir uma nova visão para podermos compreender (e ensinar) uma Física cada vez mais aberta e em permanente construção (Massoni e Moreira, 2007, p. 50).

Como sugeriu Holton, a educação científica deve ser uma opção ao aluno. O que defendemos é que é uma excelente opção.

2.0 O Referencial Epistemológico

Nascido na Hungria, Imre Lakatos (1922-1974) foi um importante filósofo da ciência, exercendo grande influência na área da epistemologia. Debateu intensamente sobre a natureza da ciência com pensadores como Thomas Kuhn e Paul Feyerabend, ambos grandes filósofos da ciência com sólida formação científica. Influenciado por Karl Popper, Lakatos figura como um racionalista, que não admite uma ciência baseada na conversão religiosa, mas sim no progresso racional, onde elementos objetivos de decisão são usados a favor da escolha entre uma ou outra proposta explicativa (Silveira, 1996). Com formação em matemática, física e filosofia, Lakatos adquiriu uma ampla percepção da atividade científica, levando-o a engendrar sua Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica.

Parafraseando Kant, Lakatos sugere que “filosofia da ciência sem história da ciência é vazia; história da ciência sem filosofia da ciência é cega” (Lakatos, 1978, p. 102). Para Lakatos, a história e a filosofia da ciência devem aprender uma com a outra, de modo inextricável. Quando a história da ciência é construída, ou *reconstruída*, como prefere Lakatos, o observador desta mantém, consciente ou inconscientemente, um olhar epistemológico que guia a união de fatos históricos de modo a formar um todo coerente, ou seja, “a história não se apresenta simplesmente aos olhos do espectador; ela tem que ser fabricada” (Matthews 1995, p. 174). Se não fosse assim, haveria apenas um amontoado de farrapos remendados que, certamente, seria muito pobre de um ponto de vista heurístico. Pode-se dizer que “a filosofia da ciência fornece metodologias normativas em termos de qual reconstrução histórica [...] provê uma explanação racional do crescimento do conhecimento objetivo” (Lakatos, 1978, p. 102).

Com sua Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica, Imre Lakatos fornece subsídios epistemológicos para uma reconstrução histórica da ciência, conforme desejamos com o material educativo produzido nesta pesquisa, que possibilita identificar as características do crescimento das teorias científicas que, como veremos na seqüência, são mais bem identificadas como *programas de pesquisa*. A filosofia da ciência de Lakatos caracteriza em boa medida a atividade científica, e seus elementos básicos são discutidos a seguir.

2.1 A Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica

Embora o termo *teoria científica* seja largamente empregado para designar o que se entende por um conjunto de leis e enunciados que definem o conhecimento científico, na prática, o que temos, segundo Lakatos, são séries de teorias que podemos associar a um *programa de pesquisa*. De fato, as mais importantes teorias científicas de que dispomos

são caracterizadas por uma certa continuidade que conecta seus membros. Esta continuidade se desenvolve a partir de um genuíno programa de pesquisa esboçado desde o início. O programa consiste de regras metodológicas: algumas nos dizem quais caminhos de pesquisa evitar (heurística negativa), e outras quais caminhos prosseguir (heurística positiva) (Lakatos, 1978, p. 47).

As heurísticas negativa e positiva, como veremos na seqüência, são instrumentos que atuam diretamente na preservação e gerência dos conceitos mais caros ao programa, ou seja, seus fundamentos que norteiam a pesquisa.

Exemplificando, podemos nos referir à física quântica. Esta se constitui em um emaranhado de teorias que foram, ao longo da primeira metade do século XX, sendo sistematizadas até se chegar no que conhecemos por mecânica quântica. Antes de ocorrer esta sistematização, diferentes frentes de trabalho e diferentes elementos explicativos foram surgindo e se suportando mutuamente. Entre estes, é digno de nota os primórdios da quantização a partir dos estudos sobre o corpo negro, de Planck, e seu desenvolvimento posterior por Einstein, o estabelecimento da moderna teoria atômica, com Rutherford, Bohr e Sommerfeld, e o conceito de dualidade onda-partícula, primeiramente com os estudos de Einstein e posteriormente generalizado por Louis de Broglie. Para sistematizar os conhecimentos até então obtidos, tivemos as teorias desenvolvidas por Dirac, Heisenberg e Schrödinger, que só um pouco mais tarde foram dadas como equivalentes (Segrè, 1987). Surgiu, assim, a mecânica quântica. Ou seja, esta “teoria” fica melhor caracterizada como uma série de teorias, formando assim um *programa de pesquisa*. Neste caso, especificamente, talvez o mais intrincado programa desenvolvido até hoje. Ainda, segundo Lakatos (1979, p. 162), “a própria ciência como um todo pode ser considerada um imenso programa de pesquisa com a suprema regra heurística de Popper: “arquitetar conjeturas que tenham maior conteúdo empírico do que as predecessoras”.

Assim, na terminologia de Lakatos, podemos nos referir ao programa newtoniano ou ao programa einsteniano em relação à gravitação universal (Teoria da Gravitação Universal, no primeiro caso, e Teoria Geral da Relatividade, no segundo).

Os programas de pesquisa possuem elementos que formam uma estrutura heurística que possibilita o entendimento da dinâmica da ciência. Mas quais elementos são ubíquos em todos os programas? Afinal, quais são as características de um programa de pesquisa? De um modo geral, podemos dizer que um programa de pesquisa é caracterizado por um *núcleo firme*, um *cinturão protetor*, e *heurísticas* associadas à manutenção destes.

2.2 Núcleo, Cinturão e Heurísticas

Um programa de pesquisa, além de suas “regras metodológicas”, possui um conhecimento de base, um *núcleo firme* que é preservado ao máximo no sentido de tê-lo como o mais caro conceito que sustenta o programa. No caso da física quântica, por exemplo, o próprio conceito de quantização (que batiza a teoria), ou seja, de que grandezas físicas como a energia assumem valores discretos, pode ser eleito como núcleo firme do programa⁹. A mecânica quântica tem este conceito como cerne que originará suas outras questões. Acabar com a noção de quantização por certo colapsaria o programa, e por isso os cientistas que trabalham com este último, ao se depararem com dificuldades explicativas produzidas com ele, irão se lançar em novas conjecturas e hipóteses para evitar um ataque direto ao núcleo do programa. Esta forma de operar está diretamente associada à noção de *cinturão protetor*, conceito que trataremos na seqüência.

Similarmente, e seguindo com os mesmos exemplos anteriores, podemos nos referir à Lei da Gravitação Universal e às três leis de Newton como núcleo firme de toda a mecânica newtoniana, e aos postulados referentes à constância da velocidade da luz e do princípio da equivalência das leis físicas como núcleo firme da relatividade einsteniana.

Naturalmente, ao longo do desenvolvimento de um programa de pesquisa surgem anomalias, inadequações entre a previsão teórica e a constatação empírica, que colocam em cheque o núcleo do programa. Mas este será protegido de um ataque direto através de hipóteses auxiliares que procurarão compatibilizar o programa com as anomalias constatadas. Estas hipóteses auxiliares formam então um *cinturão protetor*, um conjunto de estratégias de proteção ao núcleo firme.

⁹ Poderíamos acrescentar a este núcleo a noção de *incerteza*, advinda de contradições originárias da natureza dualística das partículas, e a questão da *probabilidade* intrínseca à teoria, ao menos segundo a interpretação corrente da mecânica quântica. Lembremo-nos de que Einstein, por exemplo, não aceitava a probabilidade como algo intrínseco à natureza, de acordo com sua conhecida frase “deus não joga dados”.

Esse “núcleo” é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas: as anomalias só devem conduzir a mudanças no “cinturão protetor” da hipótese auxiliar, “observacional” e das “condições iniciais” (Lakatos, 1979, pg. 163).

Para que o cinturão protetor exerça efetivamente esta proteção, ele não pode ser algo estático. Pelo contrário, ele é constantemente modificado, expandido e sofisticado conforme as necessidades. Um dos pontos chave da filosofia de Lakatos é justamente esta proteção, que sugere que um programa deve ser salvo de uma refutação prematura por meio de um ataque direto ao seu núcleo. A procura de explicações para as anomalias, preservando, deste modo, o núcleo firme, é um recurso fundamental que permite que o programa sobreviva pelo tempo necessário para mostrar seu possível valor heurístico, sua capacidade de explicar e prever novos eventos.

Se a característica básica da ciência fosse descartar as teorias que prontamente demonstram anomalias, então boa parte de nossas teorias não existiria, uma vez que todas elas passaram por crises deste tipo (Lakatos, 1979). O cinturão protetor mostra-se, assim, um recurso heurístico essencial para o crescimento do programa de pesquisa. Por exemplo, no séc. XIX foi constatada uma discordância entre as previsões da gravitação newtoniana para a órbita do planeta Urano e a efetiva observação desta. Mas os newtonianos não consideraram que a mecânica newtoniana estivesse refutada.

Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno – e, portanto, não levado em consideração na órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta (Silveira, 1996, p. 221).

A hipótese de Adams e Leverrier não só proporcionou a manutenção do programa, como também permitiu que ele progredisse ao prever a existência de algo novo, posteriormente ratificado. Com o dado empírico corroborando a previsão teórica, vem também a constatação de que a hipótese auxiliar tornou o programa *progressivo*, ou seja, com uma maior capacidade explicativa e preditiva. Este recurso objetivando-se a preservação do núcleo firme é conhecido, na epistemologia de Lakatos, como *heurística negativa*. O esforço para se alterar e refinar o cinturão protetor é associado à *heurística positiva*, que permite ainda identificar quais elementos estão sujeitos a refutações.

A heurística negativa especifica o “núcleo” do programa, que é “irrefutável” por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e

desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável” (Lakatos, 1979, p. 165).

Naturalmente, um programa de pesquisa pode chegar em um ponto onde não consegue manter sua progressão, havendo, assim, sua *degeneração* ou *regressão*, ou seja, suas hipóteses auxiliares não resultam em predições empiricamente corroboradas. Usando mais uma vez o exemplo da gravitação newtoniana, ainda no séc. XIX foram constatadas anomalias sutis na órbita do planeta Mercúrio, mas suficientes para colocar o programa novamente em cheque. Da mesma forma que anteriormente, chegou-se a especular a existência de um planeta em suas vizinhanças, mas este planeta nunca foi encontrado. A referida anomalia, uma pequena diferença entre o periélio previsto para Mercúrio e o periélio realmente observado, só foi resolvida por um programa de maior sucesso explicativo, no caso a Teoria Geral da Relatividade¹⁰.

A característica progressiva ou regressiva de um programa pode então ser usada na escolha racional entre teorias concorrentes, escolhendo-se o programa progressivo em detrimento do regressivo. Isto vai de encontro à noção comum de que uma teoria é refutada através da experimentação. De fato, “uma das coisas mais importantes que se aprendem estudando os programas de pesquisa é que relativamente poucas experiências são de fato importantes” (Lakatos, 1979, p. 186). Mesmo Einstein parece ter percebido a limitada importância do experimento ao sugerir que “uma teoria deve ser testada pela experiência, mas não é possível construir uma teoria partindo da experiência” (Einstein, citado em Simon, 2005, p. 143), ao se referir às suas equações do campo gravitacional. A experimentação é essencial para se avaliar o programa e verificar até que ponto ele se mantém progressivo, mas o que irá definir seu abandono será a existência de um outro programa com maior capacidade explicativa e preditiva. Ou seja, só um programa pode fazer com que outro seja abandonado. “Não se trata de propormos uma teoria e a Natureza poder gritar NÃO; trata-se de propormos um emaranhado de teorias, e a Natureza poder gritar INCOMPATÍVEIS” (Lakatos, 1979, pg. 159). Ao “gritar incompatíveis”, a Natureza estará, portanto, indicando caminhos para uma escolha entre os programas.

¹⁰ A Teoria Geral da Relatividade, naturalmente, não foi desenvolvida com este propósito. “As anomalias do periélio do planeta Mercúrio não desempenharam nenhum papel na construção da teoria, não obstante terem sido incorporadas e determinadas por ela com uma precisão extraordinária” (Simon, 2005, p. 137).

2.3 Derrotas e Vitórias

Quando um programa é incipiente, investir fortemente em elementos refutadores – heurística positiva – é, geralmente, algo precipitado e mesmo pernicioso ao programa. Afinal, será sua força heurística que mostrará novos elementos até então desconhecidos e, por mais paradoxal que pareça, isto poderá se dar a partir de fundamentos inconsistentes, que acabariam com o programa caso suas anomalias iniciais fossem dadas como refutações. O programa de pesquisa de Bohr ilustra bem estes pontos, sugerindo que não existe uma *racionalidade instantânea* no sentido de se enumerar prontamente os elementos que fazem com que um programa seja peremptoriamente derrotado em função da vitória de outro (Lakatos, 1979, p. 200).

O programa de Bohr surgiu basicamente com a necessidade de se explicar a estabilidade atômica no modelo de Rutherford, postulando, entre outros, que não havia emissão contínua de radiação nos átomos, senão quando da passagem do sistema de um estado para outro (níveis atômicos). Uma primeira vitória do programa de Bohr foi a predição teórica dos comprimentos de onda das linhas do espectro do hidrogênio. Alguns destes comprimentos de onda já eram então conhecidos (séries de Balmer e Paschen), mas o programa de Bohr predisse novas séries só mais tarde descobertas, representando, assim, uma fantástica corroboração de seu conteúdo. O programa apresentava, assim, enorme *força heurística*, o que Lakatos associa diretamente a uma “ciência madura”:

A ciência madura consiste em programas de pesquisa em que se antecipam não só fatos novos mas também, num sentido importante, novas teorias auxiliares; a ciência madura – à diferença do ensaio-e-erro corriqueiro – tem “força heurística” (Lakatos, 1979, p. 217).

Mas nem todo o conteúdo do programa inicial de Bohr foi corroborado. Era também conhecida experimentalmente uma série, a série ultravioleta de Pickering-Fowler, supostamente válida para o hidrogênio onde o programa dizia não haver nenhuma. Isto poderia representar uma refutação e, portanto, uma potencial derrota para o programa de Bohr, uma vez que uma (falta de) predição sua parecia degenerar o programa em função da constatação empírica. Mas ao estender seu modelo para o hélio ionizado, Bohr conseguiu “prever” o espectro anômalo, não explicado pelo modelo inicial para o hidrogênio. O seu modelo estendido continha alterações que o faziam um rival para o primeiro modelo, para o hidrogênio. Bohr sugeriu então um “experimento crucial”, no qual um tubo cheio de uma

mistura de hélio e cloro produziria a série anômala, possivelmente com linhas até mais fortes que as conhecidas. E sem mesmo olhar para os experimentos que produziam a referida série não explicada por seu primeiro modelo, Bohr conseguiu então explicar, mediante seu modelo para o hélio ionizado, a famigerada série de Pickering-Fowler: era um ataque direto à *teoria observacional* dos referidos pesquisadores. E Bohr estava certo. Como Lakatos gosta de dizer, mais uma vez um experimentador recebeu uma lição de um teórico (Lakatos, 1979). Assim, a primeira derrota aparente do programa de Bohr converteu-se em vitória, mostrando claramente o papel das anomalias em um programa de pesquisa e, fundamentalmente, a importância das hipóteses auxiliares – o cinturão protetor – em sua progressão.

Mas, mesmo reconhecendo que sua série era de hélio e não de hidrogênio, em seguida Fowler objetou que os comprimentos de onda diferiam dos valores preditos pelo segundo modelo de Bohr. Este, por sua vez, deixou claro como conhecia o operar de uma teoria. Admitiu prontamente que fizera simplificações, como o cálculo baseado no elétron descrevendo uma órbita ao redor de um ponto fixo e a questão da massa reduzida para problemas de dois corpos. Com estes e outros cuidados, Bohr produziu um programa ainda mais refinado, com resultados ainda melhores, levando Fowler a aceitar, mais uma vez, a vitória de Bohr.

Os sucessivos modelos de Bohr objetivando-se a explicação de um modelo atômico consistente mostram dramaticamente o poder heurístico de um programa de pesquisa, que pode progredir mesmo com elementos inconsistentes e sem apoio direto na observação! Representando os sucessivos modelos de Bohr como M_1 , M_2 , M_3 , etc., Lakatos diz:

A aparente refutação de M_2 converteu-se numa vitória para M_3 ; e era claro que M_2 e M_3 teriam sido desenvolvidos dentro do programa de pesquisa – talvez até M_{17} ou M_{20} – sem nenhum estímulo da observação ou da experiência (Lakatos, 1979, p. 183).

Mas mesmo um grande programa como o de Bohr chega em seu momento de degeneração. Um programa se mostra progressivo enquanto houver um *aumento de conteúdo*, resultado de sua força heurística. Mas quando se multiplicam as hipóteses *ad-hoc*, e quando estas não são corroboradas, é sinal de que o programa está perdendo força.

O programa de Bohr começou a apresentar inconsistências incontornáveis, como a previsão de uma fórmula para moléculas diatômicas posteriormente refutada. Cada vez mais se teve que formular hipóteses completamente *ad-hoc* para adequar o programa ao conjunto também cada vez maior de constatações empíricas. Logo apareceu um programa rival com

melhores explicações para as “anomalias” do programa então em degeneração. “A mecânica ondulatória não tardou a alcançar, vencer e substituir o programa de Bohr” (Lakatos, 1979, p. 190). Este evento ilustra bem o critério objetivo, segundo Lakatos, para a escolha entre programas rivais, diga-se, o de se escolher o “programa de pesquisa rival que explica o êxito anterior de seu rival e o suplanta por uma demonstração adicional de *força heurística*” (Lakatos, 1979, p. 191).

Mas Lakatos alerta para o fato de que a força heurística de um programa depende muito do modo pelo qual os novos “fatos” são interpretados. Estes, muitas vezes, só são considerados cruciais depois de algum tempo, o que reforça o que já dissemos anteriormente, de que não existe uma racionalidade instantânea. Por exemplo, “de um modo geral, as elipses de Kepler só foram admitidas como prova crucial a favor de Newton e contra Descartes uns cem anos depois da reivindicação de Newton” (Lakatos, 1979, p. 195). Semelhantemente, o experimento de Michelson e Morley, relativo ao vento de éter, só passou a ser considerado crucial cerca de vinte e cinco anos depois de ser realizado. Ainda, particularmente interessante foi a importante tese de de Broglie sobre o comportamento ondulatório dos elétrons. Mesmo com um tempo de aceitação mais curto em relação aos exemplos anteriores, ninguém conseguiu, inicialmente, avaliar a tese de de Broglie.

Langevin, o amigo de Marie Curie e de Einstein, mostrou-se impressionado e enviou uma cópia dos trabalhos de de Broglie a Einstein, tendo recebido uma resposta bastante positiva: segundo Einstein, o documento continha descobertas muito importantes (Segrè, 1987, p. 157)

Só depois a tese de de Broglie foi considerada revolucionária. Resumidamente, podemos dizer que “só um processo extremamente difícil e indefinidamente longo pode estabelecer um programa de pesquisa capaz de suplantar o seu rival” (Lakatos, 1979, p. 201). Ainda,

um cientista precipitado pode *afirmar* que sua experiência derrotou um programa, e partes da comunidade científica podem até, precipitadamente, aceitar-lhe a afirmativa. Mas se um cientista do campo “derrotado” apresentar, alguns anos depois, uma explicação científica da pretensa “experiência crucial” no programa pretensamente derrotado, *o título honorífico pode ser retirado e a “experiência crucial” pode converter-se, de uma derrota, numa nova vitória para o programa* (Lakatos, 1979, p. 215).

Foi o que aconteceu com experimentos no século XVIII que, à época, foram amplamente aceitos como evidência contra a lei da queda livre de Galileu e a teoria da gravitação de Newton (Lakatos, 1979). Apesar das objeções, estas teorias mostraram-se

vitoriosas na seqüência. Também são notórias as tentativas de se refutar, no século XIX, a teoria corpuscular da luz, uma vez que os experimentos mostravam claramente seu caráter ondulatório. Lembrando, com Einstein o litígio foi resolvido.

Deste modo, fica claro a intenção de Lakatos em relação à reconstrução racional da história da ciência, no sentido de que o sucesso de um programa de pesquisa em detrimento de outro, juntamente com os experimentos cruciais que compuseram a disputa, só são tomados como tal *a posteriori*, após uma lenta decisão majoritária da comunidade científica, que muitas vezes envolve paixões e contendas cujos pormenores fogem de nosso escopo. O que nos leva, portanto, à sugestão de que mesmo a racionalidade requerida por Lakatos envolve características sutis que transcendem a ideal objetividade científica. Popper parecia estar ciente destas complicações, abstendo-se de maiores discussões sobre o “contexto da descoberta”. Inclusive, coloca que: “Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa de que toda descoberta encerra um “elemento irracional” ou “uma intuição criadora...” (Popper, 1993, pg. 32). Por exemplo, mesmo Einstein, que tinha um talento singular para apreender a fenomenologia das verdades naturais mais recônditas, disse sobre os postulados de Bohr:

Que esse fundamento inseguro e contraditório foi suficiente para permitir, a um homem dotado do instinto e da capacidade de percepção singulares como os de Bohr, a descoberta das grandes leis das linhas espectrais e das camadas de elétrons do átomo, bem como seu significado para a química, pareceu-me um milagre e ainda hoje me parece um milagre. Essa é mais elevada forma de musicalidade na esfera do pensamento” (Einstein, citado em Segrè, 1987, p. 127).

Percebemos que mesmo a racionalidade científica, cujos modos de proceder envolveriam decisões metodológicas objetivas, segundo Lakatos, mostra-se mais intrincada do que normalmente se admite. Em relação ao terreno arenoso da gênese científica e a racionalidade requerida por esta, Popper comenta:

Na medida em que o cientista aprecie criticamente, altere ou rejeite sua própria inspiração, poderemos, se o desejarmos, encarar a análise metodológica levada a efeito como um tipo de “reconstrução racional” dos correspondentes processos mentais. Sem embargo, essa reconstrução não apresentaria tais processos como realmente ocorrem – ela pode apenas dar um esqueleto lógico do processo de prova. Contudo, talvez seja isso o que pretendem dizer aqueles que falam de uma “reconstrução racional” das maneiras pelas quais adquirimos conhecimento (Popper, 1993, pg. 32).

De um modo ou de outro, concordamos que a heurística construída por Lakatos é um estratagema de grande valia para se representar, tão próximo da realidade quanto isto possa ser possível, os modos de operar da ciência.

2.4 Lakatos no ensino

A filosofia de Lakatos é claramente um importante recurso no ensino de ciência voltado às questões históricas e epistemológicas. Sua discussão sobre o operar da ciência pode servir de modelo para textos e materiais que visem um maior compromisso com a natureza da ciência, como é o caso de nossa pesquisa. À semelhança da reconstrução racional da história, de Lakatos, é possível promover uma *reconstrução racional didática* (RRD), onde a história e a filosofia da ciência passam a ser um recurso de base ao desenvolvimento de atividades didáticas (Silva et al. 2008). Segundo Silva, Nardi e Laburú (2008), a RRD possui os seguintes aspectos:

- A presença de duas ou mais teorias num mesmo campo científico, cujo corpo de conhecimentos será validado, ao longo da atividade didática, como superior ao outro mediante os critérios de racionalidade já discutidos na filosofia de Lakatos;
- Caracterização de seus respectivos núcleos, apresentados como difíceis de serem refutados;
- Contra-exemplos das dificuldades teóricas, mas mantendo-se intacto seu núcleo firme (exercício do cinturão protetor);
- Avaliação entre as duas teorias e a experiência, e não entre uma teoria e a experiência.

É assim que, aproveitando a análise feita por Lakatos do programa de Bohr, Peduzzi e Basso (2005) sugerem um texto para professores do ensino médio que objetiva “contextualizar historicamente o átomo de Bohr, desenvolver o seu conteúdo matemático e contrapor-se à abordagem empirista que normalmente é conferida a esse assunto pelos livros didáticos” (Peduzzi e Basso 2005, p. 547). Uma avaliação do texto junto a professores de física do ensino médio mostrou sua potencialidade para o professor reconhecer a insuficiência da concepção empírico-indutivista, presente nos textos didáticos em geral, para a abordagem do átomo de Bohr com os alunos do ensino médio. Evidentemente alguns itens devem ser tratados com cautela e atenção, uma vez que o texto, ao incursionar pelos pormenores que levaram ao modelo de Bohr (estudos de Planck, efeito fotoelétrico, modelo de Rutherford, séries de Balmer e Paschen), exige uma boa formação por parte do professor (alguns se queixaram do nível do texto, muito “pesado”) que deve, com seus conhecimentos, fazer a correta transposição dos assuntos tratados, do modo que melhor convir com os alunos.

A filosofia de Lakatos é potencialmente útil na análise de vários outros episódios da história da ciência, como a cosmologia, por exemplo – nosso interesse com a presente

pesquisa – mas seu uso não se restringe apenas à caracterização científica. Segundo Villani (2001), existe uma analogia entre o trabalho de alguns filósofos da ciência e alguns movimentos na área de ensino de ciência. Assim,

o resgate das idéias alternativas dos alunos e da necessidade de superá-las parece ecoar os esforços de Popper na promoção das idéias falsificacionistas, assim como a proposta do Modelo de Mudança Conceitual reconhece explicitamente a inspiração nas teses de Lakatos. Analogamente, as críticas ao modelo e as novas propostas apresentam fortes ressonâncias com algumas das teses de Kuhn e Feyerabend (Villani, 2001, p. 176).

Portanto, assim como a filosofia da ciência de outros epistemólogos (Thomas Kuhn - Posner et al., 1982, Zylbersztajn, 1991; Karl Popper – Silveira, 2004; Gaston Bachelard – Lopes, 1996; Paul Feyerabend – Terra, 2002, Laburú e Carvalho, 2005), a filosofia de Lakatos pode servir de aporte direto à educação no sentido de se planejar e analisar o processo educacional do aluno a partir dos elementos da epistemologia discutidos nos capítulos anteriores. Embora não seja nossa intenção com a presente pesquisa, uma vez que usamos a filosofia de Lakatos para aportar a (re) construção racional de um episódio da ciência, e não seu uso na possível análise do aprendizado do aluno, mostramos aqui suas potencialidades também neste sentido.

Existe uma similitude entre o operar da ciência, nos moldes descritos por Lakatos, e as idiosincrasias do aluno enquanto educando, que permite uma análise lakatosiana dos processos inerentes à sua obtenção de conhecimento.

Da mesma forma que as teorias científicas podem ser imaginadas, dispondo-se em programas de pesquisa, as concepções alternativas dos alunos, por exemplo, têm a possibilidade de virem a ser tratadas como se fizessem parte de um “programa” em que métodos, conceitos, valores e pressupostos epistemológicos e ontológicos diferenciam-no do programa científico que se quer ensinar (Laburú, 2003, p. 14).

Isto também já tinha sido apontado por Silveira (1996). Entendendo as concepções alternativas como concepções que os alunos possuem com significados errôneos, não compartilhados pela comunidade científica, mas que possuem um certo grau de validade para o aluno, Silveira (1996, p. 228) sugere a possibilidade de uma estratégia de ensino aportada em Lakatos com as seguintes principais etapas:

- 1 – Exposição clara e precisa das concepções alternativas, notando que elas possuem um conteúdo de verdade;
- 2 – Crítica das concepções alternativas;

- 3 – Apresentação da concepção ou teoria científica, enfatizando os antagonismos conceituais com as concepções alternativas;
- 4 – Demonstração das vantagens da teoria científica sobre as concepções alternativas.

Ao ser testada com alunos universitários, uma estratégia como a descrita acima com o objetivo de promover mudanças nas concepções alternativas relativas à força e movimento, e também sobre corrente elétrica, demonstrou resultados que “corroboraram a pretendida eficiência da estratégia na promoção da mudança conceitual” (Silveira 1996, p. 228).

Porém, uma associação entre a filosofia de Lakatos e as concepções dos alunos só será adequada em determinadas situações, e deixando claro que se trata de uma aproximação, uma analogia que não implica em “uma transferência automática da dinâmica dos programas de pesquisa das ciências empíricas para a dinâmica do pensamento dos alunos em ambiente de aprendizagem” (Laburú, 2003, p. 15). Diferentemente do ensino tradicional baseado na transmissão verbal e na passividade do aluno no processo educacional, uma análise lakatosiana se tornará possível em um ambiente onde o aluno seja constantemente ouvido no processo, juntamente com a proposta de situações onde ele seja levado a explicitar seu pensamento na explicação de eventos desafiadores e de controvérsia. Ou seja, eventos calcados em um ensino construtivista sócio-interacionista. Para isso, o professor deve estar atento às dificuldades do aluno com o próprio processo de ensino proposto, uma vez que ele normalmente está habituado com aulas expositivas tradicionais, podendo ficar inseguro diante de qualquer outra dinâmica (Massoni e Moreira, 2007).

Com as ressalvas feitas anteriormente, o cinturão protetor pode, desta maneira, ser associado às “criativas reflexões [dos alunos] com o objetivo de digerir as objeções do programa científico pretendido pelo professor, conservando, com isso, as representações fundamentadas nas concepções alternativas” (Laburú, 2003, p. 15). Do mesmo modo, o núcleo firme pode ser associado às crenças metafísicas, valores e compromissos epistemológicos recalcitrantes que atuam na necessidade do aluno em obter inteligibilidade, plausibilidade e satisfação (Laburú, 2003).

Exemplificando, quando confrontados com o problema das velocidades diferentes para pontos diferentes de um mesmo objeto em rotação (cinemática angular), alguns alunos tendem a considerá-las como improcedentes. Afinal, se o objeto é o mesmo, as velocidades também devem o ser, pensam eles. Podemos associar este pensamento a um programa alternativo, em detrimento do programa científico, que o professor quer ensinar (Laburú, 2003). Naturalmente, o programa alternativo terá dificuldades em manter o argumento do “mesmo

objeto, mesmas velocidades” ao enfrentar problemas associados a diferentes sistemas de referência. Os discursos de alguns alunos caracterizam-se, assim, “por um núcleo de concepções mais arraigadas, protegido por um cinturão de idéias” (Laburú, 2003, p. 21). Alguns alunos encontram-se, ainda, em uma fase transitória, onde vêem coerência em ambos os programas. É fácil perceber que os problemas explicativos tenderão a serem resolvidos¹¹ com uma melhor discussão sobre as velocidades angular e linear, onde, então, haverá a degeneração do chamado programa alternativo.

A analogia proposta serve como um instrumento de análise. Como já frisado, trata-se de uma associação exequível e mesmo potencialmente útil ao professor que, “de posse deste instrumento analítico, poderá, “*in loco*”, ter melhores chances de entender o espectro nuclear de conceitos que os alunos trazem para a sala de aula, promotores de dificuldades para a aprendizagem dos conceitos curriculares (Laburú, 2003, p. 24). Ou seja, atividades com este viés podem dar uma boa experiência para o professor, de grande valia no reconhecimento prévio das possíveis dificuldades que os alunos enfrentam em seu aprendizado. Em um trabalho mais antigo, Laburú et al. sintetizam esta idéia:

O professor, preparado para previamente conhecer os prováveis núcleos do “*programa alternativo*” dos alunos, estará numa condição mais favorável para enfrentar as nuances do *cinturão protetor* do “*programa alternativo*” e, conseqüentemente, estará encaminhando um processo mais efetivo de ensino (e de aprendizagem) do “*programa científico*”, em relação aos seus alunos. Assim como os *programas de pesquisa* competem entre si, acreditamos ser um estímulo e acima de tudo um desafio pedagógico para o professor encarar o “*programa científico*” como estando envolvido num processo competitivo com o rival “*programa alternativo*” (1998, p. 35).

Deste modo, percebe-se a filosofia de Lakatos também como uma frutífera abordagem de interessantes implicações no ensino de ciência. É preciso ratificar que não será uma associação forte, de correspondência absoluta entre os elementos da filosofia de Lakatos e as características da situação didática. Esta associação, ou analogia, tem seus pontos fracos. Por exemplo,

experiências realizadas em classe podem se aproximar muito mais de experiências cruciais em que Lakatos especifica a ocorrência de modelos monoteóricos do que o que ele propõe como modelos pluralísticos de teste, em que várias teorias, mais ou menos dedutivamente organizadas, estão soldadas umas nas outras (Silva et al. 2008, p. 14).

¹¹ Assim como no caso dos programas de pesquisa científica, sabemos que uma transição deste tipo não é imediata. No caso do aluno, concepções mais arraigadas ainda podem permanecer por algum tempo, ou até mesmo indefinidamente (Mortimer, 1996).

A metodologia dos programas de pesquisa científica coloca que as experiências cruciais são tidas como tal somente por meio de uma longa visão retrospectiva. Em situações de sala de aula, evidentemente este tempo pode ser consideravelmente encurtado, o que pode se refletir como algo didaticamente positivo em relação ao aprendizado do conteúdo específico, diante dos problemas relacionados ao tempo escolar. Mas, como Silva et al. sugere, isto acaba se distanciando da epistemologia de Lakatos, ao possibilitar ao aluno uma interpretação errônea da dinâmica da ciência, onde experimentos cruciais seriam, de fato, os elementos imediatamente decisórios entre as teorias rivais. Evidentemente, cabe ao professor um alerta constante neste sentido e a correta gerência da atividade de ensino.

Finalizando, convém lembrar que um ensino construído de modo a não levar o aluno em uma via de mão única em direção a uma conclusão supostamente unânime e incontestável, o obriga a uma posição de maior responsabilidade em seu aprendizado. Devidamente subsidiado pelo professor, o aluno passa a participar mais ativamente do processo educativo:

O reconhecimento da existência de soluções alternativas a um dado problema promove o desenvolvimento de uma postura crítica, porque leva a pessoa a optar. Para optar, é preciso haver critérios. A não unicidade de critérios leva cada um a se posicionar, forçando uma postura menos passiva frente ao conhecimento (Robilotta, 1988, p. 18).

Logo, se objetivamos efetivamente educar, e não doutrinar, como alerta Holton, temos em Lakatos uma boa oportunidade de desenvolvermos ferramentas heurísticas que auxiliem estratégias de ensino preocupadas com a efetiva construção do conhecimento pelo aluno.

3.0 O Referencial Educacional

3.1 A teoria educacional de Bob Gowin

Quando se propõe uma situação didática, ou seja, aquela onde há a intenção deliberada de promover o ensino de algum conteúdo (Brousseau, 1986), devemos ter sempre em mente o que desejamos com os subsídios produzidos para este fim. Uma teoria educacional que sirva de aporte de modo a definir e caracterizar melhor nossos objetivos com a referida situação, pode auxiliar sobremaneira nas escolhas didáticas do professor, além de possibilitar um critério de excelência que permita categorizar mais eficientemente seus intentos (Gowin, 1981).

D. Bob Gowin, professor emérito da Universidade de Cornell, desenvolveu uma teoria educacional que, por abarcar elementos associados à nossa pesquisa, usamos aqui como referencial. Elaborou também um dispositivo heurístico útil na análise crítica de uma pesquisa, um diagrama em “V” que ficou conhecido como “V” epistemológico de Gowin ou, simplesmente, “V” de Gowin.

É lugar comum o papel desempenhado pelo professor na relação de ensino, e também do aluno como sujeito que está apreendendo novos significados e relações¹². Não menos importante é o papel do material educativo elaborado para este fim, cujos conteúdos e sua apresentação exercem, certamente, uma grande influência nas características e resultados da atividade proposta.

No contexto sugerido por Gowin, o material educativo passa a ser um componente indissociável da relação de ensino. Resumidamente, podemos dizer que na educação, em geral, “o evento chave é um professor ensinando materiais significativos para um estudante que irá compreender o significado dos materiais sob condições humanas de controle social” (Gowin, 1981, p. 28).

Assim, torna-se mister identificarmos a posição do material educativo produzido em uma relação de ensino-aprendizagem. Basicamente, podemos dizer que é ele que irá propiciar toda a base onde o professor e o aluno irão se apoiar para efetivamente promover o episódio de ensino. O material “guia a interação professor-aluno” (Gowin, 1981, p. 75). O ensino, entendido como um processo rico de situações didáticas,

¹² Referimo-nos a uma concepção construtivista e sócio-interacionista de ensino.

“ muda o significado da experiência humana pela intervenção na vida das pessoas através de materiais significativos¹³, para desenvolver pensamentos, sentimentos, e atos como disposições habituais de modo a trazer sentido à experiência humana usando o critério de excelência apropriado” (Gowin, 1981, p. 36).

Educar, neste contexto descrito por Gowin, é mudar o significado da experiência humana. Este, certamente, é um dos propósitos mais explícitos e laudáveis da educação, que leva a um outro: o de permitir, ao aluno, através de situações didáticas controladas, uma independência intelectual cada vez maior de modo a necessitar cada vez menos de situações didáticas. Ou seja, a meta final da educação seria a auto-educação, onde o sujeito estaria apto, então, a resolver seus próprios problemas, e procurar ele mesmo as melhores fontes para tal na medida em que surgem em situações não-didáticas, diga-se, em sua vida cotidiana.

Para isso os conteúdos a ensinar devem ser tratados de modo a produzir, no aluno, não só sua apreensão, mas o claro *sentimento de significância*, que pode ser entendido como o aumento de conexões significativas na experiência (Gowin, 1981, p. 43). Sua importância reside no entendimento de outras relações que justificam, caracterizam e clarificam o significado do conteúdo ensinado. Isto vai também ao encontro da teoria de David Ausubel, que sugere ainda que uma aprendizagem significativa está relacionada com os subsunçores presentes no aluno, que devem ser relevados e/ou modificados de modo a comportar novas relações entre aquilo que já se sabe e aquilo que se está aprendendo (Moreira, 1982).

Para Gowin, o sentimento de significância está ligado diretamente à efetiva compreensão do que se está aprendendo. O que motiva o aprendizado, inclusive, seria justamente este sentimento. Sem a apreensão da importância daquilo que se está estudando, também fica prejudicada a justificativa que faz com que o aluno queira efetivamente aprender. A escola parece relegar a um segundo plano, quando não ignorar completamente, os sentimentos do aluno envolvidos na educação.

Sentimentos são muito importantes para aprender. Eles têm um significado especial quando nós consideramos o aprendizado no contexto do ensino [dirigido]. [...] Alguns eventos se destacam porque provocam e expressam nossos sentimentos. Eles prendem nossa atenção porque nós sentimos que eles são significantes. E por vezes ocorre que a apreensão do significado e sentimentos elevados ocorrem juntos (Gowin, 1981, p. 132).

¹³ Um material significativo, na teoria de Gowin, é aquele que atenta para algumas importantes funções, descritas no próximo item.

Neste sentido, fica evidente que, para avaliarmos em que medida um material educativo atinge o esperado sentimento de significância, o aluno precisa ser ouvido no processo. Precisamos atentar para suas impressões, suas dúvidas, suas angústias em relação a pontos não compreendidos. “Um momento poderoso na educação ocorre quando o entendimento e o sentimento de significância aparecem juntos” (Gowin, 1981, p. 43), assim como uma piada só se mostra engraçada, ou seja, é compreendida, quando vem acompanhada do sentimento associado a esta compreensão – no caso, a risada (Gowin, 1981, p. 132). Em relação a um material construído com o objetivo de promover o aprendizado, a compreensão e o sentimento de significância poderão ocorrer apenas se este material atentar para estes eventos, ou seja, cuidar com que possa, efetivamente, ser inteligível, compreendido com a atual situação didática do aluno.

Nestes termos, é importante lembrar que o material educativo produzido neste trabalho se intercala em uma seqüência didática (disciplina de Evolução dos Conceitos da Física) onde o aluno já está pré-ocupado com as questões de base da cosmologia desenvolvida no texto elaborado. Isto sugere que os subsunçores mínimos já devem estar presentes no aluno, que passa então a engendrar um conjunto cada vez mais completo de conceitos cosmológicos, a fim de possibilitar sua apreensão e análise dos modelos tratados. Por exemplo, seu estudo prévio das diferentes concepções a respeito do universo, até chegar à gravitação de Newton e sua previsão de novos planetas, otimiza a discussão subsequente sobre o alcance das teorias e em quais situações começam a ser exigidas intervenções de modo a retificar, agregar novos elementos, e até mesmo promover possíveis substituições teóricas. Ainda, os conceitos relacionados à gravidade, espaço, tempo e massa (clássicos e relativísticos), entre outros, adquirem um maior grau de significados quando sua evolução é relevada, para além das definições isoladas. E o material educativo proposto serve justamente à intenção de promover uma seqüência que torne factível este crescimento de significados e relações, que culminem em novas experiências, em novos eventos cognitivos para o aluno. “Materiais educativos podem ser vistos como uma seqüência de eventos primeiros que podem ser usados pelos seres humanos para promover novos eventos” (Gowin, 1981, p. 55).

Mas o material educativo é um dos elementos da relação didática. O professor por certo ocupa um lugar de destaque, uma vez que é ele quem detém os pressupostos educacionais para promover efetivamente o ensino proposto, além de construir o material a partir destes pressupostos.

Ensinar requer uma autoridade em relação ao conteúdo a ser ensinado, no sentido de haver o domínio, por parte do professor, dos elementos necessários às melhores escolhas

didáticas de tal modo a propiciar, ao aluno, a construção de seu conhecimento. Ou seja, um domínio não apenas em relação ao conteúdo específico a ser construído pelo aluno, mas em relação ao conhecimento de como ensiná-lo, para permitir, efetivamente, esta construção. Isto se reflete na função do professor enquanto agente determinante na elaboração do material educativo. “O conhecimento especializado e o valor associado às disciplinas devem ser reestruturados para o uso no ensino. A autoridade do professor é baseada na reformulação dos materiais XYZ requeridos pedagogicamente” (Gowin, 1981, p. 64). Dito de uma outra maneira, é tarefa do professor ““desempacotar” o conhecimento documentado a fim de torná-lo adequado para fins instrucionais” (Moreira, 1990, p. 72). Estas idéias encontram um paralelo em Yves Chevallard (1997), com a noção de transposição didática, onde o saber sábio, aquele originalmente produzido pelo cientista, é selecionado (saber a ensinar) e modificado de modo a melhor adaptá-lo ao ensino.

A transposição didática implica em uma descontextualização daquilo que se deseja ensinar, de modo que só os resultados, e não os meios pelos quais foram obtidos, são ensinados ao aluno (Chevallard, 1997). E aqui surge uma ressalva importante: nosso objetivo, com este trabalho, não é limitado ao ensino de alguns conceitos científicos estanques, onde certamente os instrumentos descritos por Chevallard tomam lugar, e sim o de promover um estudo histórico contextualizado. Assim, embora certamente algumas simplificações sejam inevitáveis, há aqui o compromisso de se manter, tanto quanto possível, a historicidade do tema.

Nosso objetivo, como alertava Gowin, é estar, a cada passo, com nosso interlocutor - o aluno - em mente. A referida autoridade do professor também assume, então, o caráter de não perder de vista o que se deseja, diga-se, compartilhar significados com o aluno, o que resulta em um maior cuidado com os instrumentos preparados para tal. “Visões clássicas de ensino tomam o conhecimento da disciplina específica como central. Tão central, de fato, que o estudante é quase totalmente esquecido” (Gowin, 1981, pg. 64). Um material educativo que atente para isto fará, pelo aluno, certamente muito mais que um simples relato explicativo de conceitos e situações.

3.2 As funções do material educativo

Vamos agora especificar melhor o papel do material educativo em uma relação didática. Segundo Gowin, os materiais educativos, como elementos importantes na educação, têm algumas funções básicas (1981, p. 112). São elas:

Como veículos do critério de excelência. Materiais educativos são instrumentos calibrados para o uso no ensino e aprendizagem. Para que sejam uma referência básica na educação como um todo, precisam passar por dois grandes testes: precisam estar devidamente articulados em relação ao campo específico de conhecimento, e também em relação aos critérios principais da educação. Desta forma, os materiais também são uma autoridade no sentido de servir ao aluno como fonte de consulta confiável, inclusive nos casos onde há conflitos e discordâncias entre o professor e o aluno. Isto, é claro, se o material estiver estritamente de acordo com os testes referidos acima. Assim, os materiais educativos servem, ainda, *como organizadores conceituais* que permitem sua consulta, tanto pelo aluno como pelo professor, sempre que houver necessidade de lembrar ou analisar algum ponto de seu conteúdo.

Como registro de eventos primários usados para promover novos eventos. Servem ao propósito de permitir um crescimento cognitivo cada vez maior, com a meta final de possibilitar que o aluno necessite cada vez menos de seu auxílio, assim como alguém que está aprendendo a andar de bicicleta necessita cada vez menos das rodinhas de apoio (Gowin, 1981, p. 113). Mas, contrariamente ao que acontece com a analogia, o material antigo não perde o seu propósito. Pode certamente ser reutilizado em outras situações didáticas futuras, integralmente ou com adaptações e acréscimos adequados a esta nova situação.

Multiplicadores de idéias e significados. É indiscutível sua importância como aporte na obtenção de conhecimento sem que o sujeito precise repetir todos os passos para se chegar àquele. Como Popper (1975) sugere em sua teoria do mundo 3, o conhecimento obtido e registrado pela humanidade forma um mundo de idéias que permite que o conhecimento humano exista objetivamente, o que possibilita que cada geração consiga alcançar novos feitos, novas conquistas intelectuais, sem a necessidade de refazer todo o caminho.

Gostaríamos de acrescentar, às funções já descritas, o caráter chamativo e motivador do material educativo, o que poderíamos associar a uma função de *instigador à aprendizagem*. Embora possamos identificá-lo como característica do material, acreditamos que esta também pode ser uma função desejada. O aluno estará em melhores condições de apreender novos significados se for atraído para tal. Um bom material certamente jogará com o pendor do aluno em direção ao que se pretende, fazendo-se as melhores escolhas e caminhos possíveis na obtenção de questões que o motivem na busca do conhecimento.

O sentimento de que algo é significativo, que tange suas curiosidades, é o primeiro passo para que o aluno seja aportado a mundos ulteriores ao seu. “A experiência de sentimentos significativos no contexto do ensino dá aos estudantes razões para escolherem

aprender” (Gowin, 1981, p. 132). Quando isto ocorre, o conhecimento passa a ser sua recompensa intrínseca (Gowin, 1981, p. 133). Ao constatar que o conhecimento permite compreender cada vez mais com cada vez menos, o aluno chega em um ponto crucial de sua educação. Pois compreende a importância de sua compreensão.

3.3 O Material Educativo - A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos

O texto elaborado para a presente pesquisa, A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos, busca ofertar ao aluno uma seqüência didática que o possibilite entrar em contato com um estratagema de ensino mais comprometido com a natureza da ciência: sua filosofia, e seus exemplos históricos ilustrativos de como ela opera. Com este objetivo, a estrutura do texto visa estabelecer, ainda, um conjunto de funções que, como discutido anteriormente, norteiem a relação didática entre o aluno e o professor.

A cosmologia moderna foi escolhida por poucos e importantes motivos, resumidos nas prementes propostas de inserção da Física Moderna nas escolas. Digno de nota é sua importância enquanto fonte de problemas atuais e desafiadores para a ciência, como a energia escura, associada à fantástica constatação de que o universo está em expansão acelerada. Edward Witten, considerado por muitos cientistas como o maior físico teórico da atualidade (Greene, 2001, p. 176), coloca que “há apenas duas ou três evidências importantes que emergiram nos últimos 15 anos. Uma das maiores é a aceleração da expansão do universo” (Witten, 2007, p. 8). Isto certamente contribui para trazer ao aluno aspectos atuais da atividade científica, diminuindo a distância normalmente grande entre os conteúdos escolares e a pesquisa científica. Praticamente toda a física trabalhada no ensino médio ocupa um curto intervalo da história que, embora essencial, não oferece uma imagem abrangente desta ciência.

Na verdade, a prática escolar usual exclui tanto o nascimento da ciência, como a entendemos, a partir da Grécia Antiga, como as grandes mudanças no pensamento científico ocorridas na virada deste século [XX] e as teorias daí decorrentes. A grande concentração de tópicos se dá na física desenvolvida aproximadamente entre 1600 e 1850 (Terrazzan, 1992, p. 209).

Em contrapartida, os alunos costumam apresentar um grande interesse por questões atuais da física, sendo que um levantamento feito com estudantes universitários “mostrou que

é a Física Moderna – relatividade restrita, partículas elementares, teoria quântica, astrofísica – que mais os influencia na decisão de escolher Física como carreira” (Ostermann & Moreira, 2000, p. 24). Não é mais admissível, portanto, que os professores sejam privados de uma formação que contemple estes assuntos, uma vez que eles possuem um grande potencial de motivação, além de serem virtualmente necessários para a compreensão efetiva dos fenômenos e tecnologias que circundam o aluno. “Aparelhos e artefatos atuais, bem como fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande, somente são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir da virada deste século [XX] forem utilizados” (Terrazzan, 1992, p. 210).

Ostermann e Moreira, ao pesquisar os assuntos consensuais entre físicos, pesquisadores em ensino de física e professores de física do ensino médio, que deveriam ser abordados na escola, chegaram à seguinte lista:

Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular, fibras ópticas (Ostermann e Moreira, 2000, p. 43).

Pois bem, a cosmologia moderna contempla um bom número destes assuntos, além de ser uma boa oportunidade para se discutir alguns elementos da natureza da pesquisa científica, sendo um tópico de grande valia para o professor de física, e também ao cientista em formação.

O texto e suas funções

A estrutura do texto “A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos” é sintetizada abaixo.

<ul style="list-style-type: none"> ● Introdução - Plano geral da proposta e informação inicial sobre o referencial epistemológico. ● A Metodologia dos Programas de Pesquisa e a Cosmologia - Caracterização da epistemologia de Imre Lakatos. ● O excedente de conteúdo da Relatividade Geral e o Big Bang - Apontamento das origens teóricas de um 	<ul style="list-style-type: none"> ● O ruído, novamente - A “estrutura fina” do ruído. ● O reforço de teoria - Constatação da “estrutura fina”, e a corroboração da teoria. ● Epílogo - Extensão da discussão epistemológica e considerações finais.
--	--

<p>universo em expansão.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● O Big Bang e seu principal rival - Descrição do surgimento da teoria do Big Bang e colocações de seus rivais. ● Então, o ruído - Constatação empírica de previsões da teoria (ruído cósmico de fundo). 	
--	--

Pela própria natureza didática do texto, não iremos fazer uma descrição detalhada de seu conteúdo, mas certamente é imprescindível que saibamos como ele se aproxima das funções descritas por Gowin.

O aluno da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física tem a oportunidade de conhecer um pouco mais a fundo como os conhecimentos de sua disciplina se consolidaram, por meio de eventos históricos que definiram nossa moderna ciência, juntamente com discussões a respeito da natureza da pesquisa científica. Ao tomar conhecimento da evolução histórica, e também de algumas primeiras reflexões a respeito da natureza da ciência, o aluno está aumentando as relações entre os conceitos que melhor os definem, ao mesmo tempo em que presencia um pouco mais de perto o construir da ciência: os fatos, os problemas, as controvérsias, e o caráter hipotético-dedutivo que formam o que conhecemos por metodologia científica, pelo menos até o ponto onde isto é cognoscível (vide capítulo 1).

Mas não é com uma simples seqüência cronológica de eventos na história da ciência que iremos construir uma imagem fidedigna da pesquisa científica, sendo necessário se discutir as controvérsias que pululam o tema, ao mesmo tempo em que se discute episódios específicos da evolução dos conceitos científicos, como cosmologia, mecânica, luz, eletricidade e eletromagnetismo, calor, energia e estrutura da matéria.

É assim que, ao chegar o momento de entrar em contato com o material sobre a cosmologia moderna, o aluno já está pré-ocupado com os temas de base do que será trabalhado. Entre estes, podemos destacar a gravitação universal de Newton, juntamente com o início da gravitação de Einstein, que ocasionará uma ruptura conceitual com os elementos daquela, como a mudança de significado do “espaço” e do “tempo”. Isto, passando por conhecimentos sobre as visões de universo (Sol, planetas, estrelas e universo observável como um todo) desde os filósofos pré-socráticos até os conceitos mais elaborados de Galileu, Kepler, Descartes, Newton e Einstein. Estes conhecimentos serão fundamentais para dar continuidade até o surgimento das concepções de um universo em expansão. Com a

Relatividade Geral de Einstein chegamos, então, em um ponto capital para a cosmologia moderna, uma vez que esta teoria será a base explicativa, inclusive com importantes elementos de previsão ou, na terminologia de Lakatos que iremos destacar na seqüência, com um excesso de conteúdo que, uma vez corroborado, legitima e potencializa a teoria.

Os contrapontos ao que o aluno já conhece, o que poderíamos identificar como uma mudança de perfil conceitual (Mortimer, 1996), são subsídios essenciais para uma progressão em relação à ciência apreendida por ele até a discussão da cosmologia moderna, o que não seria possível sem relevar o momento em que o aluno se encontra. A noção de perfil conceitual está relacionada proximamente às pretensões do texto sobre a cosmologia, ao sugerir que o aluno deve acompanhar a evolução dos conceitos científicos para efetivamente construir uma teia de relações e conceitos para além das definições estanques e isoladas umas das outras. Ainda:

Essa noção permite entender a evolução das idéias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição de idéias alternativas por idéias científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que as novas idéias científicas no processo de ensino-aprendizagem passam a conviver com as idéias anteriores, sendo que cada uma delas pode ser empregada no contexto conveniente (Mortimer, 1996).

É assim que o texto se apresenta como uma possível continuação àquilo que o aluno já estudou, levando-o a construir novas conexões, ratificando sua função de *multiplicador de idéias e significados*. Como um caso ilustrativo, podemos citar a observação de raias espectrais com desvio para o vermelho, como fonte de informação indireta (ou, sob um outro ponto de vista, bem direta) concernente à recessão das galáxias. O aluno, aqui, percebe melhor como aquilo que é estudado geralmente de modo separado passa a compor um quadro mais amplo, onde física atômica (linhas de emissão e absorção), ótica (difração para diferentes comprimentos de onda) e astrofísica (recessão das galáxias) se combinam em campos conceituais mais abrangentes, favorecendo um maior número de relações entre os fenômenos que ajudam a construir uma visão mais sistêmica do conhecimento científico.

O mesmo pode ser dito sobre a natureza do “espaço”, da “massa”, do “tempo”, enfim, do universo como um todo, onde novos elementos são agregados, formando também uma estrutura que ultrapassa as definições pontuais. Deste modo, o texto exibe a clara função de servir como um *registro de eventos primários usados para promover novos eventos*, o que está diretamente relacionado com a característica quase definidora de um material educativo, a saber, promover *mudanças de significados* (Gowin, 1981, p. 36), onde sua estrutura permite

ainda ao aluno progressivas conexões significativas que otimizam seu campo conceitual (Moreira, 2002).

Como *veículo do critério de excelência*, o conteúdo sobre a cosmologia é aportado em um bom número de diferentes fontes, entre livros e artigos de pesquisadores envolvidos diretamente com pesquisas na área. Isto sugere que o texto está devidamente articulado com o campo específico de conhecimento, servindo como um *organizador conceitual* deste campo.

Além das funções descritas anteriormente, o texto foi construído objetivando-se, ainda, a função de *instigador à aprendizagem*, por meio de discussões filosóficas e ilustrações históricas mescladas ao longo de todo o texto, que buscam a motivação do aluno através de uma seqüência de pontos pouco conhecidos e bastante ilustrativos da cosmologia moderna.

Teremos uma melhor oportunidade de avaliar em que medida estas funções produziram os efeitos desejados em uma relação didática, após a aplicação e posterior avaliação da atividade com os alunos, o que será descrito no capítulo 6.

4.0 A Natureza Metodológica da Pesquisa

4.1 Metodologia de pesquisa – aspectos gerais

A pesquisa realizada se enquadra como qualitativa, um termo que tem sido usado para designar várias abordagens, tais como pesquisa etnográfica, participativa observacional, estudo de caso, fenomenológica, construtivista, interpretativa, antropológica cognitivista (Moreira, 1990). De um modo geral, podemos dizer que

a pesquisa qualitativa pode ser caracterizada como a tentativa de uma compreensão detalhada dos significados e características situacionais apresentadas pelos entrevistados, em lugar da produção de medidas quantitativas de características ou comportamentos (Richardson, 1999, p. 90).

Segundo Bogdan e Biklen (2003), a pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador como seu principal instrumento. Os dados coletados são predominantemente descritivos, sendo que a preocupação com o processo é muito maior do que com o produto. O significado que as pessoas dão às coisas e à sua vida são focos de atenção especial pelo pesquisador, e a análise dos dados tende a seguir um processo indutivo.

A pesquisa qualitativa, e mais especificamente a pesquisa educacional qualitativa, surgiu com a necessidade de desenvolver uma metodologia de pesquisa para se estudar fenômenos e processos onde abordagens positivistas de experimentação, quantificação e imparcialidade não são adequadas. Isto não significa, claro, que uma pesquisa qualitativa deva prescindir de uma fundamentação teórica adequada, o que, infelizmente, parece muitas vezes acontecer. Embora a adoção de um quadro teórico não seja, *a priori*, aceita consensualmente por pesquisadores qualitativos (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002), “contar com um esquema conceitual anteriormente à coleta de dados é de grande utilidade para a identificação de aspectos relevantes e relações significativas nos eventos observados” (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002, p. 158).

Moreira (1990, p. 47) coloca que “[...] a ausência de fundamentação teórica é um mal que permeia a pesquisa educacional e muito contribui para a crítica feita por pesquisadores de outras áreas”. Este autor (e nós também) sugere que “[...] o pesquisador em ensino não pode prescindir de referenciais teóricos, sob pena de estar fazendo um trabalho às cegas (Moreira, 1990, p. 51).

Como a presente pesquisa é aportada em um material educativo, composto por um texto e apresentação eletrônica, usaremos como norteador os subsídios teóricos sugeridos por Bob Gowin, por enfatizar a relação tríade entre professor, material educativo e aluno, como vimos no capítulo 3.

4.2 Plano geral da intervenção didática

A aplicação da unidade de ensino pretendida será precedida por um período de observação, entendendo que este é importante, não só para se esboçar um perfil da turma a ser trabalhada, como também na constituição de um ambiente favorável à posterior apresentação e discussão do conteúdo, uma vez que os alunos estarão mais acostumados com a presença do professor-pesquisador.

Quando do momento da aplicação da unidade de ensino, os alunos receberão o texto, *A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos*, para uma leitura prévia, antes do dia da apresentação. Esta leitura constitui a base onde se fundamentará a apresentação propriamente dita, possibilitando ao aluno, ainda, obter os conhecimentos (e também as dúvidas e questões sobre estes), por meio das funções pretendidas para o material educativo já discutidas no capítulo 3. A apresentação da unidade se dará por meio de uma projeção via Data Show, cuja apresentação eletrônica está contida no anexo A. Discutiremos um pouco mais sobre esta apresentação eletrônica no próximo item.

Na apresentação propriamente dita, serão discutidos os elementos referentes à caracterização da pesquisa científica de Lakatos e os pormenores do surgimento da Teoria do Big Bang, e também do Estado Estacionário. Após a apresentação e discussão, pretende-se fornecer aos alunos um questionário semi-aberto cujos pormenores são descritos no item 4.4. Este questionário subsidiará, além de um retorno referente à receptividade do aluno em relação à unidade de ensino, também a escolha de um grupo representativo de alunos para uma entrevista, também comentada no item 4.4. Esta escolha também será feita com base na participação dos alunos durante a aplicação da unidade de ensino. Naturalmente, um relato mais detalhado desta coleta de dados, juntamente com os pormenores da aplicação da unidade de ensino como um todo, será discutido no capítulo 6.

Importante mencionar que já foi realizada uma aplicação preliminar da unidade de ensino, com algumas diferenças. Esta aplicação foi feita em um único dia, sem o propósito de se aplicar um questionário, e com a exibição parcial do documentário já citado. O resultado de

sua aplicação, por meio da simples observação, interação direta com os alunos e uma conversa posterior com os mesmos, revelou que houve um retorno positivo em relação à dinâmica de apresentação, e relevância dos conteúdos tratados. O assunto geral da unidade de ensino, cosmologia, mostrou-se de um grande potencial na obtenção da atenção dos alunos, certamente de grande valia na discussão, também, dos tópicos relacionados à filosofia da ciência. No capítulo 6, voltamos a comentar sobre esta aplicação preliminar.

4.3 Sobre a apresentação eletrônica

O texto elaborado, A Cosmologia Moderna à Luz dos Elementos da Epistemologia de Lakatos, foi desenvolvido para levar o aluno a compreender em boa medida a evolução da cosmologia ao longo do último século. A discussão pretendida com os temas ali abordados depende, também, de uma apresentação adequada de suas idéias, cujo formato escolhido foi uma apresentação eletrônica (PowerPoint) e Data-Show.

Este formato, além de contribuir para a função pretendida de *instigador à aprendizagem*, permite que os principais elementos para discussão sejam explicitados e sintetizados de maneira visual e direta, juntamente com ilustrações esclarecedoras e imagens dos principais cientistas personagens da história da cosmologia moderna. Além de importantes elementos do texto, esta apresentação (anexo A) traz, ainda, pequenos vídeos e trechos de documentários que potencializam grandemente a extensão das idéias contidas naquele, como uma breve entrevista com Fred Hoyle, extraída do documentário da BBC “Lost Horizons - The Big Bang” (Al-Khalili, 2008). Fred Hoyle é uma figura central na chamada Teoria do Universo Estacionário, nascida praticamente junto com a Teoria do Big Bang.

Importante destacar a dificuldade em se obter estes documentários, em função da pouca abertura, em nossa cultura, para trabalhos de grande importância para o estado da arte da ciência. É o caso, também, do LHC (Large Hadron Collider), cuja importância técnica e científica parece não produzir o impacto que deveria, sendo que documentários a respeito só são obtidos, e felizmente o são, via internet. A propósito, a apresentação eletrônica também traz um curto trecho do documentário “The Big Bang Machine” (Cox, 2008), referente às pesquisas com o LHC que buscam pistas de importantes elementos da Teoria do Big Bang, como a matéria escura e a detecção do Bóson de Higgs, importante partícula prevista pelo modelo padrão, relacionada também com aquela teoria.

A incorporação destes trechos de documentários ao corpo da apresentação eletrônica exigiu boa quantidade de trabalho, entre conversão e edição de vídeos, e tradução das legendas para o português. Tudo para levar ao aluno um produto final de fácil assimilação, e bastante informativo. Juntamente com o texto principal, a apresentação eletrônica forma uma unidade de ensino potencialmente geradora de questões para sua discussão entre os alunos, como veremos no capítulo 6.

4.4 Instrumentos de coleta de dados

Para um retorno dos alunos em relação às questões pretendidas para a pesquisa, foi escolhido, inicialmente, um questionário contendo perguntas abertas e semi-abertas, apresentadas no anexo B. Este questionário foi validado por meio de uma aplicação para alguns alunos que já tinham participado de uma apresentação preliminar da unidade de ensino, e também para colegas de pós-graduação, onde se avaliou se as respostas obtidas estavam dentro do esperado com o pretendido para cada questão. Depois de ajustes para contemplar algumas sugestões destes alunos e também para melhorar a clareza do objetivo com cada questão, o questionário foi então aplicado. Estas considerações estão descritas no capítulo 6.

O questionário é um instrumento bastante prático para uma sondagem inicial da receptividade do aluno em relação à unidade de ensino, possibilitando ao professor conhecer, ainda, o ponto de vista de alunos pouco ou nada participativos, mas que, certamente, podem contribuir com a atividade como um todo. Dentre as vantagens do uso de um questionário, podemos citar: demanda pouco tempo do pesquisador e do aluno, envolve um maior número de pessoas simultaneamente, e deixa o aluno mais confortável para efetivamente elaborar sua resposta, uma vez que não está sob influência direta do pesquisador (Lakatos e Marconi, 1985). Naturalmente, também podem ocorrer alguns elementos indesejados, como perguntas sem resposta ou respostas frívolas e interpretações equivocadas pelo aluno, sem que o professor tome conhecimento. Assim, deve o professor ficar sempre alerta na análise das respostas obtidas.

O propósito de cada questão se relaciona de perto com as funções pretendidas para o material educativo, como visto no capítulo 3, juntamente com a compreensão do aluno em relação aos conteúdos discutidos. Veremos mais a respeito no capítulo 6, onde procuraremos discutir em que medida os objetivos com cada questão foram alcançados, usando a teoria

educacional de Gowin como aporte nas categorias de análise, sendo estas também compostas por elementos específicos sobre a receptividade do aluno em relação às atividades realizadas.

Um segundo momento de coleta de dados envolve uma entrevista, com um conjunto de alunos selecionados a partir de suas respostas ao questionário e também de suas participações durante a apresentação. Esta seleção está associada com o grau de contribuição que o aluno demonstra querer oferecer, e pela relevância de seus argumentos, seja a favor ou, muito importante, contra os conteúdos discutidos. Esta entrevista é caracterizada como semi-estruturada, entendida como

aquela que parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante (Triviños, 1987, p. 146).

Dito de outra maneira, na entrevista semi-estruturada “o entrevistador faz perguntas específicas, mas também deixa que o entrevistado responda em seus próprios termos” (Mazzotti e Gewandsznajder, 2002, p. 168).

Para que a entrevista transcorra de modo ótimo, seguimos algumas recomendações. Basicamente, aquela é aplicada de modo a não se estender muito, uma vez que “uma entrevista que se prolongue muito além de trinta minutos se torna repetitiva e se empobrece consideravelmente” (Triviños, 1987, p. 147). A entrevista é marcada segundo um horário adequado para o entrevistado, de modo que este possa se dedicar confortavelmente ao tempo de questionamento. A entrevista deve ser iniciada, e também mantida, com uma atenção em relação aos “elementos humanos que permitam um clima de simpatia, de confiança, de lealdade, de harmonia entre ele e o entrevistado” (Triviños, 1987, p. 149). Não existem receitas infalíveis e universais neste sentido, mas “a modéstia, e não a arrogância, contribui de maneira singela para que se estabeleça o ambiente que permite a mais ampla expressão de naturalidade, de espontaneidade” (Triviños, 1987, p. 149). De modo geral, “as boas entrevistas caracterizam-se pelo fato de os sujeitos estarem à vontade e falarem livremente sobre seus pontos de vista” (Bogdan e Biklen, 2003, pg. 136). Ou seja, fazer com que o entrevistado sinta sua importância para a atividade de pesquisa, ao mesmo tempo em que se constrói uma simpatia recíproca:

Quando se tem alcançado esse nível de simpatia recíproca, de confiança mútua, entre informante e pesquisador, podemos dizer que os dados fornecidos pelo entrevistado são vitais para a pesquisa, porque o informante marca presença também

com verdadeiro interesse, isto é, está participando ativamente no desenrolar da investigação (Triviños, 1987, p. 150).

Em uma entrevista, as perguntas não devem influenciar as respostas de modo tendencioso. Por exemplo, ao invés de perguntar “era bom aluno na escola primária?”, é preferível o fazer deste modo: “diga-me que tipo de aluno era quando estava na escola primária”. Isto permite que o entrevistado possa responder a questão com mais abertura. O entrevistador pode pedir clarificações para que o entrevistado explique melhor o que pretende dizer, sempre lembrando do caráter amigável no processo, e com o cuidado de não interromper excessivamente o entrevistado. Ainda, deve o pesquisador se abster de tecer comentários de juízo sobre as questões respondidas.

Mesmo se, por exemplo, os comentários racistas do professor sobre os seus alunos o perturbarem, terá de controlar as suas reações, recordando que o objeto da investigação é a compreensão das diferentes perspectivas pessoais e não uma lição aos sujeitos” (Bogdan e Biklen, 2003, pg. 138).

A entrevista é uma das principais técnicas de trabalho em quase todos os tipos de pesquisa utilizados nas ciências sociais (Lüdke e André, 1986), mas pode apresentar algumas limitações. De um modo geral:

Requer bastante tempo e energia, podendo ser dispendioso para o pesquisador; seu sucesso está na dependência da disposição do entrevistado para informar e de sua capacidade para informar com precisão; é influenciado por tensões, forças e outros fatores, que afetam seja o entrevistador, o entrevistado ou ambos; é influenciado pela “predisposição” emocional do entrevistado – por seu auto-interesse ou autopiedade, pelo seu desejo de aparecer com considerável superioridade, sua hesitação em relatar fatos pouco lisonjeiros para si mesmo, seu impulso de agradecer ou antagonizar o entrevistador (Rummel, 1972, pg. 100).

E, por mais expectativa que o entrevistador guarde em relação à fidedignidade das questões respondidas, “em alguma medida, qualquer entrevistado vai falsear e deformar os fatos que revela” (Rummel, 1972, pg. 100). Esta assertiva desafiadora nos alerta para o fato de que o entrevistador sempre estará sujeito a obter respostas pouco sinceras, o que pode ser minimizado com um grupo maior de entrevistados para se traçar um esboço mais perto do real pensamento destes. Muito importante neste sentido, e também para obtermos um conjunto mais rico de informações, é um cuidado denominado “atenção flutuante”. Durante uma entrevista, certamente muito se perderá se for dada atenção apenas às palavras pronunciadas pelo entrevistado. A atenção flutuante é o olhar dirigido, também, para outros aspectos comunicativos do entrevistado.

Há toda uma gama de gestos, expressões, entonações, sinais não-verbais, hesitações, alterações de ritmo, enfim, toda uma comunicação não verbal cuja captação é muito importante para a compreensão e a validação do que foi efetivamente dito (Lüdke e André, 1986, p. 36)

Assim, é importante que o entrevistador faça um relato tão logo quanto possível do que foi observado na entrevista, para que esta gama de comportamentos não seja perdida. Este é um dos riscos que se corre, por exemplo, quando da utilização de um gravador, apenas, para gravar a entrevista. Neste sentido, uma entrevista bem conduzida deve levar em consideração as vantagens e desvantagens do registro com um gravador, anotação direta ou uma combinação de ambos. O gravador possui a limitação de só registrar o que foi dito oralmente. Por outro lado, deixa o entrevistador mais livre para prestar atenção ao entrevistado como um todo. Esta opção também trará um maior tempo para compilar a entrevista, uma vez que normalmente exigirá sua transcrição para o papel, e pode trazer, ainda, um pouco de desconforto para o entrevistado. Já o registro através de notas durante a entrevista, embora possa deixar de cobrir muitas coisas ditas, vai solicitar a atenção e o esforço do entrevistador para já se fazer uma seleção e interpretação das informações emitidas. Novamente, em relação ao relato adicional ao término da entrevista, “uma regra geral sobre quando devem ser feitas as anotações é que, quanto mais próximo do momento de observação, maior sua acuidade” (Lüdke e André, 1986, p. 32). Ou seja, o que não for anotado será facilmente perdido para a futura discussão dos resultados.

Os pormenores das atividades de coleta de informações, juntamente com uma discussão dos resultados obtidos serão descritos no capítulo 6.

5.0 A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos

Introdução

O céu tem um papel especial na história do conhecimento humano. Em épocas remotas servia de palco para todos os deuses, que traziam o Sol, o trovão, a chuva que inundava as terras tão vitais para os povos antigos. Hoje precisamos de menos deuses para explicar as bases da natureza, mas a cosmologia tem sido um campo de disputas científicas e filosóficas. Derivada da palavra grega *kosmos* (universo), a cosmologia, entendida hoje como o estudo da origem, estrutura e evolução do universo, foi precursora de toda nossa filosofia, uma vez que foi olhando para o céu que o homem passou a indagar sobre sua própria existência. Muitos destes questionamentos levaram às religiões e também à nossa ciência.

Mas, ao mesmo tempo em que é fonte prolífica de pesquisas em nossos dias, a cosmologia ainda é pouco discutida, mesmo nos cursos regulares de graduação. Se os pré-requisitos específicos para sua efetiva compreensão são muitos, acreditamos que uma discussão fenomenológica, histórica e filosófica desse tema está ao alcance de todos os que buscam saber mais sobre como chegamos aonde chegamos. E, talvez ainda mais importante, como sabemos que o que sabemos está “correto” ou, melhor, validado pela comunidade de pesquisadores. Esses e outros questionamentos podem ser bastante esclarecedores do nível de incerteza a que estamos todos sujeitos, e ilustrativos de como a atividade científica, mesmo sem operar com certezas, pode produzir tantos resultados significativos. Para isso, temos que pensar um pouco melhor nas questões epistemológicas, nos processos de obtenção e validação do conhecimento científico.

Mais do que fornecer meras respostas e fatos, queremos contribuir para uma maior reflexão da atividade científica. Trazer elementos que façam concordarmos e também discordarmos sobre o que é ou o que pensamos ser a origem do cosmos. A teoria do Big Bang faz suas apostas, ao propor um início explosivo para o universo acerca de 15 bilhões de anos atrás, mas não é a única. Pelo menos atualmente, é a teoria cosmológica mais citada nos meios científicos, com fortes argumentos ao seu favor, embora frequentemente remeta o estudante a errôneas concepções sobre sua natureza, a começar pela difundida idéia de que se trata de uma explosão que se expande através do espaço. Ainda, pela falta de elementos históricos sobre a questão, a teoria faz surgir questionamentos do tipo “e como é que você sabe? Você estava lá para ver?”. Isto é ilustrativo do quanto é surreal, para a maioria das pessoas, pretender saber algo como a “origem do universo”. Ainda mais quando dizemos que

conhecemos como ele era, e as evidências que ele nos deixou disto. E evidências constatadas ou, como um entusiasta menos informado sobre a natureza da ciência gostaria de dizer, *provadas!* Para entendermos efetivamente como o Big Bang ultrapassa, em muito, a mera conjectura tantas vezes recebida com descrédito, precisamos entender o porquê de nossas concepções a seu respeito. Em suma, conhecer o que nos levou à sua proposição:

Ao nos aproximarmos do final do milênio, a cosmologia vive um maravilhoso período de criatividade, uma idade do ouro em que novas observações e novas teorias estão ampliando espantosamente nosso entendimento – e perplexidade – do universo. *Mas essa idade do ouro atual só pode ser bem entendida à luz do que aconteceu antes*¹⁴ (Smoot, 1995, pg. 12).

Por isso é tão importante que abordemos a questão de uma maneira evolutiva, no sentido de compreender como nosso olhar sobre o universo foi se alterando frente às novas teorizações que tinham como objetivo sua explicação. Mas, e isto é muito importante, precisamos compreender que uma teoria só se mostra eficaz quando admite mais conseqüências passíveis de verificação do que meras explicações de fatos já conhecidos. Daí a importância em acompanhar os fatos com uma lanterna epistemológica, para percebermos que nosso entendimento do Big Bang não é uma tentativa, entre muitas, de apenas interpretar o que observamos. É, muito antes disto, um programa de pesquisa grávido de previsões empiricamente constatadas, e com um grande grau de explicação e coerência interna, sendo uma conseqüência direta de duas das teorias de maior sucesso explicativo já produzidas pelo homem, diga-se, a Teoria Geral da Relatividade e a Mecânica Quântica. Mas outras possibilidades foram sugeridas para o universo, e ao pensar sobre as possíveis alternativas, acreditamos que o aluno estará mais próximo da rica atividade científica.

Ao discorrermos sobre a natureza da pesquisa científica e a saudável competição entre teorias ou conjunto de idéias rivais, usaremos a filosofia de Imre Lakatos (1922-1974) como aporte teórico. Nascido na Hungria, Lakatos estudou matemática e física, doutorando-se posteriormente em filosofia pela universidade de Cambridge. Debateu a natureza da pesquisa científica com os mais importantes filósofos da ciência de sua época, entre eles Thomas S. Kuhn (1922 - 1996) e Paul Feyerabend (1924 - 1994), ambos doutores em física. A pesquisa científica ou, no jargão de Lakatos, o *programa de pesquisa científica*, oculta características sutis sobre o desenvolvimento das teorias que merecem uma discussão potencialmente esclarecedora de como opera a ciência. Se é difícil defini-la categoricamente, pelo menos podemos delimitar sua atuação e caracterizar seus intentos. E esta é uma das grandes

¹⁴ Grifo nosso.

características da filosofia da ciência que se pretende abordar aqui, diga-se, servir de aporte à construção racional da atividade do cientista, com o constante cuidado de não se perder de vista a historicidade (Lakatos, 1979).

A Metodologia dos Programas de Pesquisa e a Cosmologia

“(...)a construção – bem planejada – de compartimentos há de prosseguir muito mais depressa do que o registro de fatos que devem ser guardados neles”¹⁵

A epígrafe acima ilustra uma característica da teoria científica que, embora bem conhecida pelos filósofos da ciência, ainda se mostra tímida para o aluno e até mesmo para muitos cientistas. De modo provocativo, Lakatos já tinha sugerido que “a maioria dos cientistas tende a entender um pouco mais de ciência do que os peixes de hidrodinâmica” (1979, pg. 182).

A teoria, ou série de teorias, como veremos, deve exceder em conteúdo o que sabemos empiricamente, de tal modo que a experimentação, em princípio, não é o que nos traz novo conhecimento, mas sim o que nos diz qual conhecimento conjectural *pré-existente* deve ser relevado em detrimento de outro. E ao realizar o experimento o cientista deve, ou deveria, tratar a questão com ceticismo. Sintetizando o pensamento de Popper, epistemólogo cujas idéias também serão discutidas adiante, Lakatos coloca: “A honestidade intelectual consiste antes em tentar especificar precisamente as condições em que uma pessoa está disposta a renunciar à sua posição” (Lakatos, 1979, pg. 111). George Smoot, um dos cientistas diretamente envolvidos com pesquisas contemporâneas sobre a cosmologia, na Conferência Nobel de 2006 resumiu esta postura na pesquisa com o ruído cósmico de fundo, a principal evidência da Teoria do Big Bang, como veremos, ao sugerir que o cientista pesquisador deve ter duas atitudes frente à questão:

(1) ser cético e testar cuidadosamente para ver se ela não se trata da radiação relíquia do Big Bang e (2) assumir que é a radiação relíquia e tem as propriedades esperadas e procurar pelos pequenos desvios e a informação que pode revelar sobre o universo¹⁶ (Smoot, Nobel Lecture, 2006, pg. 4).

¹⁵ Lakatos, 1979, pg. 234.

¹⁶ Tradução livre da referida leitura Nobel.

George Smoot obteve seu Ph.D. no MIT (Massachusetts Institute of Technology) em 1970, indo trabalhar em seguida como pesquisador em Berkeley ao lado de Luis Alvarez, Nobel de física de 1968. Lecionando nesta mesma instituição, Smoot, como é atualmente também um dos laureados com o Nobel, brinca que agora, talvez, os alunos prestem mais atenção às suas aulas. Mas os caminhos que levam um cientista ao reconhecimento são tortuosos, como bem lembra o conhecido comentário de Einstein de que sucesso só vem antes de suor no dicionário. E o sucesso de uma teoria não existiria sem seu contraponto, ou seja, sem uma dinâmica em que outras concepções científicas opositoras fossem relevadas em determinado momento. Para compreender isto é interessante perceber que mesmo o termo *teoria*, no singular, talvez não seja adequado sob um olhar mais atento da dinâmica da ciência.

Embora geralmente possamos nos referir a uma teoria específica, na prática ela não se apresenta como uma idéia isolada e imutável desde sua proposta inicial. Há, justamente, uma superposição de conceitos que podem preexistir à teoria, encontrando-se então para formar seu corpo central. Mesmo após isto, o que temos é uma série de ajustes, subtrações e acréscimos que, se pode ser chamada no singular de “teoria”, o é em um sentido sintético. A ciência fica mais bem caracterizada por uma série de teorias em sucessão e concorrência, juntamente com hipóteses auxiliares que as complementam e as protegem, e não como teorias fechadas em si mesmas e sem relação umas com as outras.

É uma sucessão de teorias e não uma teoria determinada que se avalia como científica ou pseudocientífica. Mas os elementos dessa série de teorias costumam estar ligados por notável continuidade, que os solda em programas de pesquisa (Lakatos, 1979, pg. 161).

Quando uma nova teoria é proposta, o é baseada em um conjunto de preceitos que são, inicialmente, tomados como não atacáveis. É esta rigidez que propiciará à teoria uma chance de mostrar seu valor, antes que se comece a rever sua estrutura ponto a ponto. De fato, vemos que historicamente grande parte de nossas mais bem sucedidas teorias não teria sobrevivido se as tivéssemos abandonado assim que surgiu uma anomalia, uma inadequação entre o previsto e o constatado. As idéias de Galileu referentes ao sistema solar, por exemplo, foram refutadas com sucesso (para os refutadores da época) diante da impropriedade cometida ao se retirar a Terra do centro do sistema, uma vez que as observações diretas davam respaldo ao geocentrismo¹⁷ (ver, por exemplo, Redondi, 1989). Não fosse Galileu (e Kepler, e Newton...) sustentar a idéia de uma Terra em movimento mesmo diante das evidências tão prontamente

¹⁷ A referida impropriedade não foi apenas de origem científica. Seus críticos também eram fortemente influenciados por razões religiosas (Redondi, 1989).

explicitadas pelo sistema geocêntrico, e teríamos certamente esperado mais algum tempo até o surgimento de um sistema heliocêntrico bem fundamentado.

Este conhecimento tomado como certo *a priori*, o que Lakatos chama de *núcleo firme* de um programa de pesquisa (1979), que não é questionado por decisão metodológica, é o que permite ao cientista uma relativa liberdade de pesquisa, sem que precise a todo instante rever as bases do conhecimento que está sendo construído. Aqui temos a característica da ciência mais prontamente associável ao dogma, uma vez que seu *modus operandi* se reveste de uma natureza inquestionável, mas não deveríamos levar esta característica dogmática longe demais. O cientista, embora possa proceder de uma forma dogmática, o faz temporariamente, apenas enquanto sabe não ser preciso uma maior preocupação com as estruturas de base da sua teoria. Mesmo Thomas Kuhn, um dos responsáveis em caracterizar a ciência como um sistema de adesões mais ou menos subjetivas pelo cientista, coloca que:

Embora a investigação susceptível de ter êxito requeira uma adesão profunda ao status quo, a inovação continua a ocupar uma posição central. Os cientistas são treinados para funcionar como solucionadores de puzzles¹⁸ dentro de regras estabelecidas, mas são também ensinados a considerar-se eles próprios como exploradores e inventores que não conhecem outras regras além das ditadas pela natureza (Kuhn, 1979, p. 78).

O papel do núcleo firme é fundamental no desenvolvimento de um programa de pesquisa, pois permite a investigação dos elementos periféricos e gerais do programa, permitindo um máximo de aproveitamento de suas potencialidades antes de promover um ataque mais sério aos seus fundamentos.

Esse “núcleo” é “irrefutável” por decisão metodológica de seus protagonistas: as anomalias só devem conduzir a mudanças no “cinturão protetor” da hipótese auxiliar, “observacional” e das “condições iniciais” (Lakatos, 1979, pg. 163).

Cinturão protetor, como será melhor explicado mais adiante, refere-se ao conjunto de estratégias que impedem um ataque direto ao núcleo firme. Esta forma de proceder permitiu progressos significativos em nossas teorias, como no caso da mecânica newtoniana aplicada ao sistema solar. Segundo esta teoria, as órbitas dos planetas podiam (e podem) ser determinadas com um excelente grau de precisão, o que foi ratificado pelas observações. Mas Urano apresentava diferenças entre a órbita observada e a prevista pela teoria newtoniana. Pois uma boa maneira de acabar com uma das maiores teorias já produzidas pelo intelecto

¹⁸ Quebra-cabeças. O termo não foi traduzido na fonte citada.

humano seria justamente acreditar que estivesse terminantemente errada por não concordar com os “fatos”:

...quando foi observado pelos newtonianos que a órbita prevista para Urano era discordante com as observações astronômicas, eles não consideraram que a Mecânica Newtoniana estivesse refutada; Adams e Leverrier, por volta de 1845, atribuíram tal discordância à existência de um planeta ainda não conhecido – o planeta Netuno – e, portanto, não levado em consideração na órbita de Urano. Essa hipótese permitiu também calcular a trajetória de Netuno, orientando os astrônomos para a realização de novas observações que, finalmente, confirmaram a existência do novo planeta (Silveira, 1996, p. 221).

Pode parecer estranho em uma primeira leitura, mas seria inclusive leviano descartar de imediato a teoria por sua discordância com o fato observado. O mero dado empírico tem uma importância menor na escolha entre teorias, escolha esta que exige elementos de racionalidade que independam de um único evento, como uma observação. Um conjunto maior de fatores deve estar em questão, que melhor situem a observação, o dado empírico, em relação às teorias concorrentes. No presente caso, a teoria newtoniana já tinha demonstrado seu valor antes, para o caso de outros planetas anteriores a Urano. Por isso as anomalias devem ser estudadas com cautela, para não se abandonar precocemente um programa de pesquisa que pode (como foi o caso) se mostrar muito promissor. A procura dos motivos das anomalias é um processo importante no amadurecimento das teorias, processo este que permite que muitos resultados novos sejam engendrados.

Segundo Lakatos, uma teoria não teria tempo de mostrar seu poder explicativo se fosse descartada logo que surgisse uma anomalia. Esta precisa ser estudada sob o foco norteador do programa de pesquisa vigente, reforçando-o ou contribuindo para o surgimento de uma outra teoria mais bem estruturada e de maior conteúdo de verdade, preferencialmente ao mesmo tempo em que outras teorias seguem o mesmo caminho de forma concomitante.

O processo de “proteção” à teoria em um programa de pesquisa é o que Lakatos (1979) denominou de “cinturão protetor”, um conjunto de hipóteses e teorias auxiliares que permitem que a teoria sobreviva enquanto for possível, através da “heurística negativa”, que proíbe o ataque direto ao núcleo firme. O esforço para se alterar e refinar o cinturão protetor é associado à “heurística positiva”, que permite ainda identificar quais elementos estão sujeitos a refutações. Nas palavras de Lakatos:

A heurística negativa especifica o “núcleo” do programa, que é “irrefutável” por decisão metodológica dos seus protagonistas; a heurística positiva consiste num conjunto parcialmente articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar e

desenvolver as “variantes refutáveis” do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção “refutável” (Lakatos, 1979, p. 165).

Esta dinâmica pode se dar de modo “progressivo”, quando permite um maior conteúdo explicativo e preditivo, ou de modo “regressivo” à teoria em questão. A explicação para a órbita discordante de Urano por meio da sugestão da existência de um outro planeta, Netuno, é um exemplo ilustrativo do alcance e da eficácia do cinturão protetor de um programa de pesquisa que, neste caso, acentuou o caráter progressivo do programa newtoniano.

Mas chega o momento onde o programa não consegue mais se manter progressivo. Por exemplo, ainda sobre a mecânica newtoniana, no final do século dezanove foram constatadas anomalias sutis na órbita do planeta Mercúrio, mas suficientes para colocar a teoria newtoniana novamente em cheque. Da mesma forma que anteriormente, chegou-se a especular a existência de um planeta em suas vizinhanças, mas, infelizmente para os defensores de Newton, este planeta nunca foi encontrado. A referida anomalia, uma pequena diferença entre o periélio previsto para Mercúrio e o periélio realmente observado, só foi resolvida por uma teoria de maior sucesso explicativo, no caso a Teoria Geral da Relatividade.

A progressão ou regressão do programa poderá caracterizar ainda a escolha entre teorias concorrentes e, embora alguns cientistas possam continuar defendendo sua teoria mesmo diante de questões mais bem formuladas e respondidas por outra teoria, a ciência continuará em seu curso inexoravelmente evolutivo. O apego particular do cientista a uma teoria é uma questão humana que certamente ocorrerá algumas vezes, mas:

... Lakatos deixa claro que a preferência de uma teoria sobre outra deve se dar em termos racionais. Assim, em uma situação de concorrência deve ficar evidente o caráter progressivo do ‘novo’ programa (através de sua capacidade explicativa e poder preditivo) e a fase regressiva ou degenerativa de seu rival (onde se acentuam as inconsistências e abundam as explicações ad-hoc) (Peduzzi, 2005, p. 547).

Foi o que aconteceu com o caso de Mercúrio, onde explicações *ad-hoc*¹⁹ fizeram a teoria newtoniana “degenerar”, uma vez que não suportava os novos dados observados, enquanto a teoria einsteiniana da gravitação (Relatividade Geral) apresentou um programa de pesquisa progressivo. É importante lembrar que a teoria einsteiniana não surgiu das observações referentes à citada anomalia, mas sim *posteriormente* foi ratificada por ela, o que

¹⁹ Embora possa ser empregado com mais de um significado, o termo *ad-hoc* é utilizado, neste texto, em seu sentido mais comum que se refere à atitude recorrente, na ciência, de se acrescentar um argumento que reforça o que se quer mostrar, mas *a posteriori* e sem nenhum motivo maior que a simples adequação da teoria com o que se pretende.

está de acordo com os critérios de Lakatos para que um programa de pesquisa supere outro, com a explicação de inconsistências da teoria suplantada.

O excedente de conteúdo da Relatividade Geral e o Big Bang

O novo programa proposto pela relatividade gerou uma consequência recusada mesmo por Einstein, seu proponente, que inclui em sua teoria uma das mais famosas hipóteses *ad-hoc* da ciência. Sua teoria, que havia superado a mecânica newtoniana, *exigia* que o universo não fosse estático, o que ia de encontro aos seus anseios. Uma vez que o universo, segundo a sua teoria, estava sob influência da curvatura do espaço (ver figura 1), deveria então colapsar pela mútua atração gravitacional caso não houvesse uma espécie de força contrária à gravidade.

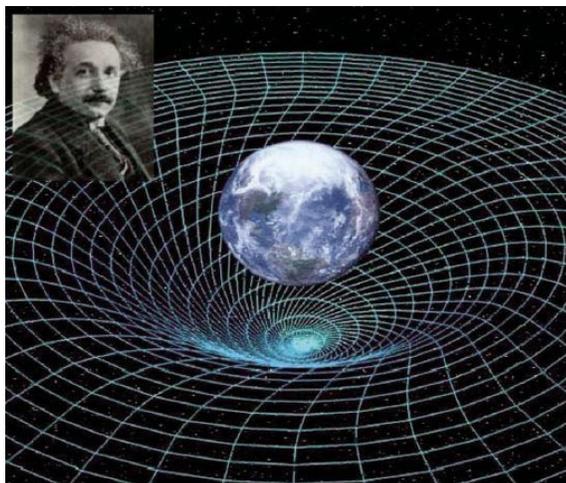


Figura 1 – O espaço curvo.

Segundo a teoria einsteniana da gravitação, a gravidade é o resultado da curvatura do espaço gerada pela presença de massa.

Fonte: science.nasa.gov.

Assim, uma vez que o universo existe (esperamos), claramente deveria haver um termo adicional nas equações da relatividade, que veio a ser conhecido como “constante cosmológica”. Esta constante consistia em uma espécie de “anti-gravidade” que contrabalançava o colapso previsto pela ação da curvatura do espaço, fazendo com que a

estrutura do universo ficasse estática. Aqui temos uma ilustração de como opera o cinturão protetor, que evita ataques diretos à teoria. A introdução desta constante satisfaz a heurística negativa do programa ao manter as coisas como se deseja, impedindo que a teoria seja descartada prontamente. De uma maneira ou de outra, ainda que tenha sido uma hipótese *ad-hoc* com o intuito de salvar uma ideologia, acabou sendo algo positivo à relatividade ao permitir a sobrevivência da teoria mesmo diante de elementos contraditórios.

A ideologia em questão, a necessidade de um universo estático e imutável, não era algo novo. Newton já manifestava o mesmo desejo ao propor um espaço absoluto e eterno. E agora uma criação sua, de Einstein, obtida de forma tão sofrida ao longo de uma década, tão bonita e promissora, dava indícios de um universo em expansão.

Na verdade, as equações também informavam que o Universo poderia estar encolhendo com uma contração uniforme do espaço, mas a única coisa que as equações não permitiam era a possibilidade de um Universo estático, imutável e eterno (Gribbin, 1995, pg. 10).

Pobre Einstein ao perceber que sua teoria, tão bem fundamentada, levava necessariamente a um universo dinâmico! Este era um excesso de conteúdo indesejável, mas fundamental para a teoria no seu futuro.

A ciência não tem problemas com hipóteses *ad-hoc* quando mantêm a teoria progressiva, desde que mais cedo ou mais tarde elas sejam justificadas e explicadas. Mas este não foi o caso aqui. Com o referido excesso de conteúdo (a previsão de um universo dinâmico) oculto na teoria de Einstein, não haveria como promover futuras pesquisas para manter sua progressão. De fato, foi necessário que observações paralelas mostrassem que a referida hipótese *ad-hoc* era degenerativa à teoria, o que aconteceu em 1929, quando Edwin Hubble constatou que as galáxias se afastavam umas das outras segundo uma função matemática hoje conhecida como Lei de Hubble (figura 2).

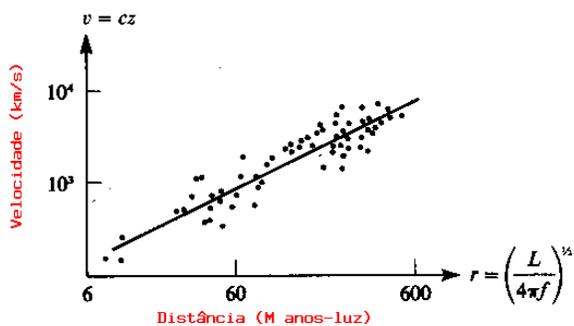


Figura 2 – A lei de Hubble

Segundo suas observações, as galáxias se afastam mutuamente com uma velocidade proporcional à distância entre elas.

Fonte: Instituto de Física, UFRGS.

Quando as galáxias se afastam do observador, sua luz é deslocada para o lado vermelho do espectro eletromagnético (figura 3). Este desvio, conhecido apropriadamente como *redshift* (desvio para o vermelho), é dado pela razão:

$$z = \frac{\lambda_o - \lambda_e}{\lambda_e}$$

onde λ_o é o comprimento de onda observado e λ_e é o comprimento de onda emitido (Longair, 1984, p. 321). A constante de proporcionalidade entre a velocidade e a distância é chamada de constante de Hubble (H_0), dada pela função linear $v = H_0 r$.

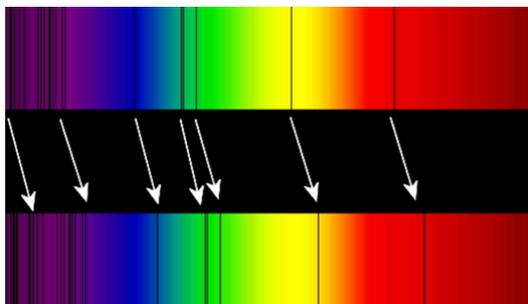


Figura 3 – Desvio para o vermelho

As linhas de emissão (ou absorção) do espectro das galáxias observadas tendem a ser desviadas para o vermelho, ou seja, têm um aumento em seu comprimento de onda.

Fonte: Answers.com.

Como a grande maioria de galáxias observadas apresentava um desvio para o vermelho, Hubble deu à comunidade científica uma evidência de um universo em expansão, que fez Einstein voltar atrás em sua ideologia de um universo estático.

Einstein ficou muito desapontado consigo mesmo quando soube das evidências empíricas de um universo em expansão, por não permitir que isto fosse o resultado de uma previsão de sua teoria, e sim uma conclusão vinda de fora dela. Ele mesmo se referiu à sua constante cosmológica como a maior asneira de sua vida, mas, para sua satisfação, como sua teoria da relatividade *sem* a referida constante estava perfeitamente de acordo com as observações de Hubble, acabou se mostrando um programa de pesquisa de sucesso. Era como se a teoria estivesse sempre correta, não fosse a infeliz intromissão de seu criador.

O Big Bang e seu principal rival

Assim que foi constatada a recessão das galáxias, naturalmente foi sugerido que elas estavam, então, mais próximas umas das outras no passado, mas os detalhes teóricos de um universo em expansão vieram antes disto. Em 1922, Alexander Friedmann estava na direção correta ao obter soluções das equações da relatividade geral para um universo dinâmico, que foram inclusive criticadas por Einstein que, como vimos, não gostava da idéia. No mesmo ano, Einstein chegou a publicar uma nota onde afirmava que o trabalho de Friedmann estava incorreto. “Contudo, um ano depois admitiu seu erro e reconheceu a existência de soluções variáveis no tempo, como defendido no trabalho de Friedmann” (Waga, 2005, p. 159). Mas o trabalho de Friedmann era essencialmente matemático e com propriedades físicas pouco discutidas. “Friedmann descobriu a possibilidade de um universo em expansão, mas não a *expansão do universo*” (Waga, 2005, p. 159).

Mas a idéia de um universo finito no tempo não demorou a surgir, e seu precursor foi o padre e astrônomo Georges Lemaître. Estudante de astronomia em Cambridge e em Harvard, Lemaître estava bem atualizado em relação às implicações da teoria da relatividade de Einstein, e em 1925 obteve, de modo independente²⁰, equações equivalentes às de Friedmann (Waga, 2005). Mas, ao contrário deste, desenvolveu uma teoria física consistente denominada, por ele, de “átomo primordial”, nome provavelmente influenciado pelos recentes estudos da mecânica quântica, teoria que estava na ordem do dia (Smoot, 1995). A partir da

²⁰ Só em 1927, em uma conversa com Einstein, Lemaître tomou conhecimento do trabalho de Friedmann (Waga, 2005).

aceitação de um universo em expansão, a teoria do átomo primordial sustentava que todo o atual universo adveio de um único átomo em um instante no passado.

Mas foi George Gamow²¹ quem levou a teoria do Big Bang ao status de um programa de pesquisa, como veremos na seqüência, ao promover, ao lado de seu colaborador Ralph Alpher, um consistente quadro para a teoria, com minuciosos cálculos que mostravam as características de um suposto universo primevo surgido em um instante definido. Gamow e Alpher publicaram²² seus resultados no final da década de 1940 e, em um artigo subsequente, Alpher e seu colaborador Robert Herman mostraram que a energia existente nos instantes iniciais do universo deixa-lo-ia com uma temperatura de muitos bilhões de graus, sendo gradualmente resfriado com a expansão do espaço. A partir dos estudos de Friedmann com as equações de Einstein, que previam um universo que se expande *não* através de um espaço pré-existente, mas o “esticando” à medida em que se expande conforme a estrutura geométrica do espaço-tempo (ver figura 4) , Alpher e Herman calcularam que a radiação oriunda do processo inicial da formação dos primeiros núcleos atômicos deveria permear todo o atual universo, com uma temperatura de 5K.

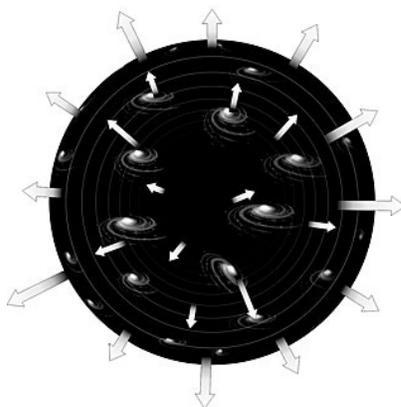


Figura 4 – Espaço em expansão.

Segundo a relatividade geral, o universo não se expande em um espaço pré-existente, mas o “estica” a medida em que se expande.

Fonte: Astroex.org.

Ao preverem uma característica em princípio mensurável para o universo atual, Gamow, Alpher e Herman tinham produzido então um excesso de conteúdo que faria da

²¹ Gamow planejara ter Friedmann como seu orientador, o que acabou não ocorrendo devido à inesperada morte de Friedmann em setembro de 1925 (Waga, 2005).

²² Gamow, de grande senso de humor, acrescentou o físico Hans Bethe como co-autor do artigo, conseguindo assim que o trabalho fosse conhecido como “Alpher, Bethe, Gamow”, alusão à alfa, beta e gama” (Smoot, 1995).

teoria do Big Bang um importante programa de pesquisa para os próximos pesquisadores. Mas, como o esperado na ciência, a teoria²³ do Big Bang não estava só.

Ainda por esta época de 1940, Fred Hoyle propôs sua Teoria do Universo Estacionário, que não admitia um universo finito no tempo, surgido de uma “grande explosão”²⁴, mas sim um universo infinito no tempo que mantém globalmente sua estrutura. O interesse de Hoyle em cosmologia, segundo Smoot, provavelmente foi estimulado pelos escritos de divulgação científica²⁵ de Arthur Eddington, que podem ter influenciado sua conjectura:

É bem possível que tenha prestado atenção no tolo e arrogante comentário de Eddington de que “a noção de um começo para a atual ordem da natureza me é repugnante”²⁶; talvez essas palavras tenham inspirado Hoyle, inconscientemente, a dedicar sua vida a combater a concepção de que o cosmos começou num certo ponto do tempo, com um big-bang. Ele preferia a visão de Aristóteles, mil anos antes: o universo sempre existiu e sempre existirá (Smoot, 1995, pg. 78).

Hoyle atribuía à teoria do Big Bang a idéia de um surgimento ao acaso para o universo, e definitivamente não gostava disto: “... tenho de dizer que quando olho para ele, não parece acaso para mim” (Fred Hoyle, *in* Meyers, 2004). O que também o motivou a se opor à teoria do Big Bang foi o fato de que a constante de Hubble, quando foi proposta inicialmente, tinha um alto valor que fazia com que a idade do universo fosse de apenas dois bilhões de anos (Longair, 1984, p. 327), o que contradizia a idade já então conhecida para a Terra, de cerca de quatro bilhões e meio de anos. Esta incoerência o levou, juntamente com dois pesquisadores, Bondi e Gold, a postular um certo *princípio cosmológico perfeito*, onde o universo se apresentaria com as mesmas características para todos os observadores em todas as épocas (Longair, 1984, p. 327).

Para fazer concordar esta sua conjectura com as observações já então muito bem conhecidas de um universo em expansão, Hoyle sugeriu que, ao se expandir, novas galáxias eram criadas para ocupar o lugar deixado pela expansão, mantendo assim uma estrutura constante para o universo. Para isto, é claro, novos átomos de hidrogênio deveriam ser

²³ Embora estejamos caracterizando a teoria do Big Bang como um *programa de pesquisa*, continuamos a usar o termo “teoria”, uma vez que é o mais difundido e empregado. É assim que conhecemos a “teoria” eletromagnética, “teoria” quântica, “teoria” da relatividade, “teoria” de cordas, etc.

²⁴ A expressão Big Bang foi criada por Hoyle, inicialmente como uma forma irônica de se referir à teoria de um universo criado em um instante determinado, de Lemaître e Gamow.

²⁵ Isto não é uma regra. As trocas de informações entre cientistas e suas mútuas influências normalmente se dão por meio de artigos e eventos científicos.

²⁶ Ironicamente, Eddington foi um grande responsável pela aceitação da teoria do Big Bang, ajudando na divulgação dos escritos de Lemaître. Inicialmente não gostou do que lera, mas Eddington se retratou ao acompanhar a evolução da teoria, mandando o manuscrito de Lemaître para a tradução do francês para o inglês, publicando-o em seguida nos anais da Royal Astronomical Society (Smoot, 1995).

constantemente criados para formar as estrelas. Em princípio isto poderia ser visto como algo muito subjetivo e conjectural e, portanto, sem valor para a ciência, mas seu valor heurístico não deveria ser subestimado uma vez que também trazia uma boa explicação do que era observado. O próprio Hoyle argumentou que a suave e constante criação de matéria era menos absurda que *toda* a matéria do universo criada em um determinado instante. Ainda, do seu lado havia o fato de que seu modelo era “matematicamente muito mais elegante que o modelo do big bang” (Longair, 1984, p. 328).

Como as duas teorias, Big Bang e Universo Estacionário, explicavam o universo cada uma a sua maneira, a opção por uma delas não seria feita de forma rápida e definitiva.

Na década de 1950, a escolha de uma dessas teorias era uma questão que dependia do preconceito de cada um. Filosoficamente, é mais difícil aceitar que a matéria é criada continuamente em pequenas porções no Universo ou que toda a matéria de todas as estrelas e galáxias tenha sido criada em um único momento? (Gribbin, 1995, pg. x).

Mas na ciência não se pode manter as coisas como uma mera escolha. Já vimos que, segundo Lakatos, isto tem que acontecer de forma racional, com a preferência pelo programa de pesquisa progressivo em detrimento do programa com características regressivas. Já vimos também que devemos ter em conta que o simples embate com os dados observacionais não garante a refutação de uma teoria, sendo necessário a existência de uma outra para ocupar o seu lugar. “Não se trata de propormos uma teoria e a Natureza poder gritar NÃO; trata-se de propormos um emaranhado de teorias, e a Natureza poder gritar INCOMPATÍVEIS” (Lakatos, 1979, pg. 159).

Essa pluralidade é mesmo desejada na ciência. Se o nosso conhecimento científico progride através dos programas de pesquisa, é a partir da pluralidade que surgem as oportunidades para escolhermos os caminhos mais adequados para prosseguirmos, rejeitando com mais segurança as teorias degeneradas. De fato, Lakatos coloca que

Seria um erro supor que precisamos conservar um programa de pesquisa até que se tenha esgotado toda a sua força heurística, que não devemos apresentar um programa rival antes de haverem todos concordado em que foi provavelmente atingido o ponto de degeneração (Lakatos, 1979, pg. 190).

E como então escolhemos entre as duas teorias? De maneira simples, podemos dizer que se pode rejeitar um programa com uma razão objetiva, “proporcionada por um programa de pesquisa rival que explica o êxito anterior de seu rival e o suplanta por uma demonstração

adicional de *força heurística*²⁷ (Lakatos, 1979, pg. 191). E, aqui, os seguidores de Hoyle ficam para trás. Existem outros motivos que deixam a teoria do universo estacionário em condições de um programa regressivo de pesquisa, como o alto preço a pagar por sua elegância matemática: “a introdução de uma física totalmente nova – a contínua criação de matéria” (Longair, 1984, p. 328), que se apresentou como uma hipótese *ad-hoc* degenerativa, sem nenhuma corroboração posterior. Mas o principal é justamente a sua falta de acordo com a previsão de uma radiação residual permeando todo o universo. “As cosmologias que não incluem o Big Bang não apresentaram qualquer interpretação alternativa plausível para o *fundo de radiação*²⁸” (Silk, 1988, pg. 321).

“O golpe realmente fatal para a teoria [do estado estacionário] foi a radiação de fundo em microondas. Não há origem natural para esta radiação no panorama do universo estacionário e nele não existe fontes que poderiam produzir o espectro de Planck da radiação e sua grande densidade de energia. De outro lado, estas propriedades encontram uma explicação natural no cenário do big bang como o vemos no momento” (Longair, 1984, p. 328).

Portanto, o ruído cósmico de fundo, sob o quadro teórico da cosmologia do Big Bang, seria o principal elemento decisório na escolha entre as duas teorias²⁹. Como veremos, as pesquisas que seriam realizadas a partir da década de 1960 mostrariam que o programa de pesquisa do Big Bang é progressivo a ponto de prever pequenas variações no ruído cósmico de fundo, só verificadas com modernos equipamentos radioscópicos instalados em satélites.

Então, o ruído

Embora fosse prevista pela Teoria do Big Bang, desde a década de 1940, uma radiação permeando todo o universo observável, esta só seria realmente captada em 1965. Quando os trabalhos de Gamow, Alpher e Herman propuseram um valor de cerca de 5K para sua temperatura, eles acharam que não seria possível medi-la na época. Já na década de 1960, físicos da Universidade de Princeton, liderados por Robert Dicke, estavam montando uma antena para realizar efetivamente as medições do esperado ruído que, com os cálculos

²⁷ Força heurística refere-se à força de um programa de pesquisa em antecipar fatos novos em seu crescimento.

²⁸ Grifo nosso. “Fundo de radiação”, aqui, parece ser um termo mal traduzido de “radiação de fundo”.

²⁹ Naturalmente, não foi o dado empírico em si, e sim o dado à luz da teoria, de acordo com os preceitos de Lakatos.

atualizados, deveria se apresentar como uma radiação na faixa de microondas com temperatura em torno de 3K.

Foi quando dois radioastrônomos, Arno Penzias e Robert Wilson, trabalhando em uma antena para comunicações via satélite, desenvolvida nos laboratórios Bell, perceberam um excesso de ruído em seus equipamentos. Todos os sinais captados, em todas as direções, estavam inexplicadamente acrescidos de um ruído de cerca de 3K, o que os levou a realizar várias manutenções no equipamento até se convencerem de que o ruído era real, e não um defeito da antena. De início, os referidos radioastrônomos não sabiam do que se tratava, até que um outro pesquisador, Bernard Burke, sugeriu que o sinal podia ser de origem cosmológica, pois lembrara de um colega que tinha dito alguma coisa sobre uma “radiação de fundo” ao ir a uma palestra de James Peebles, cientista que trabalhava com Dicke (Weinberg, 1987). Burke então os aconselhou a contatarem a equipe de Robert Dicke.

É possível imaginar a reação de Dicke ao atender o telefone e ouvir que a radiação que ele mesmo estava buscando fora captada de forma acidental.

O resultado foi uma reportagem de primeira página no *New York Times* de 21 de maio de 1965, anunciando que finalmente haviam sido encontradas evidências poderosas a favor do big-bang³⁰. Wilson comentou que não avaliara a importância da descoberta até ler a notícia na primeira página do *Times* (Smoot, 1995, pg. 94).³¹

Sem saberem, Penzias e Wilson já tinham entrado para a história da cosmologia por terem tropeçado no ruído. E haviam desferido, assim, um duro golpe na teoria do universo estacionário, pois a radiação captada tinha as mesmas características previstas pela teoria do Big Bang.

Percebemos então que a teoria do universo estacionário não foi colocada em cheque por sua (falta de) previsão. E sim porque sua rival apresentou uma força heurística maior, prevendo características que foram constatadas posteriormente, reforçando a teoria do Big Bang. Mas seu caráter progressivo não pararia por aí.

³⁰ Mantivemos a expressão do texto original citado, “big bang”, embora preferamos “Big Bang”, em letras maiúsculas, ao longo do texto.

³¹ Esta referência ao *Times* é apenas uma curiosidade jocosa a respeito da importância da captação da radiação de fundo. Evidentemente, não é por meio de jornais que ocorre a massiva troca de informações entre os cientistas.

O ruído, novamente

O ruído captado por Penzias e Wilson era aparentemente uniforme em todas as direções do espaço, o que era compatível com um sinal genuinamente cosmológico, de origem extragaláctica. Mas esta uniformidade era também um problema para a teoria do Big Bang. Pois se o ruído fosse realmente uniforme, a teoria previa que não seria possível o surgimento das galáxias como as conhecemos, com a abundância constatada de hidrogênio e hélio prevista e explicada por ela. Como existem galáxias (esperamos), temos então uma anomalia a ser resolvida. Como vimos, seria ingênuo refutar prematuramente a teoria pela sua inadequação com os (supostos) fatos. Mas a anomalia seria resolvida sem recursos a elementos *ad-hoc*, o que tornou a teoria ainda mais forte, ao se admitir que o ruído efetivamente não era uniforme.

De fato, desde a constatação empírica da radiação cósmica de fundo, cientistas passaram a se concentrar em equipamentos cada vez mais precisos e sensíveis com o intuito de verificar as pequenas variações previstas para a radiação, resultado de diminutas dobras na estrutura do espaço-tempo do universo primevo. A teoria do Big Bang estava em cheque, uma vez que só admitia o surgimento das galáxias caso existissem as referidas dobras. “As dobras eram *sementes* onde a matéria foi se depositando gradualmente até formar as estruturas atuais” (Smoot, 1995, p. 178). E, após alguns primeiros experimentos ainda mais sensíveis que os propiciados pela antena de Penzias e Wilson, nenhum sinal das variações foi encontrado.

A radiação cósmica de fundo, até onde nós ou outros fomos capazes de determinar, era completamente suave em todas as direções. Isto pode significar ou que as teorias dos cosmólogos estavam totalmente erradas, ou que ninguém se esforçou o bastante para encontrar as sementes (Smoot, 1995, pg. 168).

Felizmente para a teoria, George Smoot estava disposto a “se esforçar o bastante” para encontrar as dobras, que seriam identificadas por variações da ordem de uma parte em 100 mil na radiação cósmica de fundo. Não seria fácil. Mas a confiança do cientista no núcleo firme do programa o compele a continuar, enquanto isto representar um programa de pesquisa progressivo. E não seriam os primeiros resultados negativos que afetariam esta confiança. Como bem lembra Lakatos, “... a teoria *específica* poderá sempre ser mantida, digam o que disserem os testes” (1979, pg. 123). A menos, é claro, que existisse uma outra teoria que suportasse um universo em expansão, ao mesmo tempo em que admitisse uma radiação

cósmica de fundo com as características já constadas, juntamente com a *ausência* de dobras, ou seja, uma radiação perfeitamente uniforme. Não havia. Era compreensível então que se buscassem as diminutas variações, não obstante as dificuldades intrínsecas à empreitada:

Estávamos procurando por variações mínimas nas temperaturas suaves do fundo, algo inferior a uma parte em 100 mil – algo como localizar um cisco de poeira numa superfície lisa como um rinque de patinação. E, exatamente como um rinque de patinação, haveria muitas irregularidades na superfície que nada teriam a ver com aquelas que procurávamos (Smoot, 1995, pg. 264).

Depois de quase duas décadas de extensas pesquisas para captar as perseguidas variações, com equipamentos supersensíveis transportados em balões atmosféricos, missões com o avião espião U2, exaustivos projetos de engenharia para seu transporte ao espaço via foguetes e, finalmente, o uso de um satélite subsidiado pela NASA lançado em 1989 (o satélite COBE³²), em 1992 obtiveram-se os primeiros relances das dobras. Não antes de uma pequena passada de Smoot e sua equipe pela Antártida, sob um frio insuportável, doenças e imprevistos de sobra, para se obterem mapas mais atualizados das fontes de radiação da galáxia. Estes mapas eram essenciais para se discernir o ruído real de outras fontes, uma vez que a radiação captada estava sob um grande espectro de emissões naturais advindas de toda a galáxia, o que poderia confundir a análise dos dados. O espaço seria o lugar ideal para se realizar este mapeamento, mas por estas alturas ninguém aprovaria uma nova missão com o objetivo de realizar medidas de radiação com o único intuito de atualizar dados já existentes.

Por suas condições de altitude, clima e extensas regiões planas, somadas ao fato de haverem precárias medições da radiação galáctica no extremo sul do planeta, a Antártida era a melhor alternativa para se realizar estas medidas, o que foi feito com expectativas que faziam ferver o sangue dos pesquisadores.

O reforço da teoria

Depois de exaustivas análises para certificar a real constatação das variações procuradas na radiação cósmica de fundo, em abril de 1992 foram apresentados seis artigos no encontro da American Physical Society que relatavam as conclusões da pesquisa de Smoot. Os dados obtidos tinham grande concordância com o previsto (ver figura 5).

³² Sigla que dá nome ao equipamento de detecção das dobras: **CO**smic **B**ackground **E**xplorer (explorador do ruído cósmico de fundo).

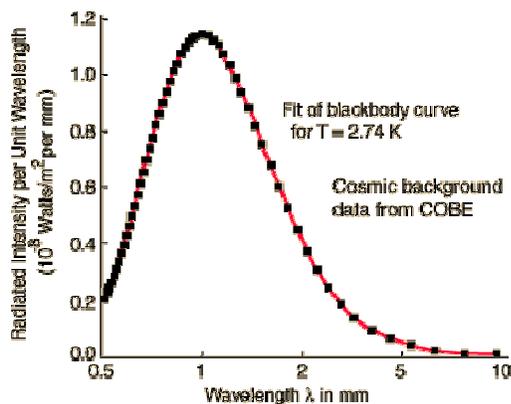


Figura 5 – Dados do COBE.

A figura mostra os pontos empíricos sobrepostos à curva teórica para o espectro do ruído cósmico de fundo.

Fonte: HyperPhysics, George State University.

Além da impecável concordância entre os valores previstos e medidos para o espectro do ruído cósmico de fundo, os dados do COBE corroboravam as variações previstas pelo programa de pesquisa do Big Bang. Assim, a teoria tinha recebido um grande reforço.

... a mensagem dos nossos resultados – mensagem que proporcionou tanto alívio aos cosmólogos naquela manhã de abril – era clara. Fred Hoyle afirmou certa vez que a teoria do big-bang era falha porque não podia explicar a formação primordial das galáxias. *Os resultados do COBE provam que ele estava errado*³³. A existência das dobras no tempo, como as vemos, nos mostra que a teoria do big-bang, incorporando o efeito da gravidade, pode explicar não só a formação primitiva das galáxias, mas também a agregação, nesses 15 bilhões de anos, de estruturas massivas que sabemos estar presentes no universo de hoje, o que é um triunfo para a teoria e a observação (Smoot, 1995, pg. 310).

Assim como Smoot, muitos cientistas chegaram a falar em *prova*, mas desde Popper sabemos que as coisas não são assim tão simples. Karl Popper (1902-1994), talvez o filósofo da ciência de maior influência no século XX, chamou a atenção para uma das características mais importantes da ciência, chegando mesmo a servir como critério de demarcação entre ciência e pseudociência: a falseabilidade. Segundo este critério, uma teoria científica deve ser potencialmente falseável, com procedimentos de refutação passíveis de serem repetidos por qualquer cientista. Coloca Popper:

... não exigirei que um sistema científico seja suscetível de ser dado como válido, de uma vez por todas, em sentido positivo; exigirei, porém, que sua forma lógica seja

³³ Grifo nosso.

tal que se torne possível validá-lo através de recurso a provas empíricas, em sentido negativo: *deve ser possível refutar, pela experiência, um sistema científico empírico* (Popper, 1993, p. 42).

Se a teoria não é falseada, por uma predição que é confirmada, por exemplo, a teoria não estará *provada*, mas apenas *corroborada*. Ou seja, embora possa haver elementos para refutar metodologicamente uma teoria, nunca há elementos o bastante para prová-la. Popper usa, efetivamente, a noção de *prova*, mas simplesmente como procedimento de teste e não, como habitualmente é feito, como algo terminantemente decidido. Lakatos, por sua vez, vai adiante ao propor a necessidade metodológica de se manter um programa de pesquisa pelo maior tempo possível, evitando a sua refutação prematura e inconseqüente. Claro, uma teoria (e seu programa) estará tão corroborada quanto maior for o fracasso das tentativas de refutá-la:

Na medida em que a teoria resista a provas pormenorizadas e severas, e não seja suplantada por outra, no curso do progresso científico, poderemos dizer que ela “comprovou sua qualidade” ou foi “*corroborada*” pela experiência passada (Popper, 1993, pg. 34).

Vemos então que, para Popper, uma teoria se fortalece com a experiência ratificadora, embora possa ser falsificada, uma vez que se aceite metodologicamente sua refutação. Por meio da caracterização do cinturão protetor, Lakatos estende o falseacionismo de Popper para que uma refutação não seja imputada prematuramente, ainda que não tenha o mesmo tipo de preocupação deste último, uma vez que sua análise se aporta no embate entre programas rivais, e não nas idiossincrasias de uma teoria, como faz Popper. Assim, embora não seja provada, a cada novo reforço da teoria, resultado claro de um programa progressivo de pesquisa na terminologia de Lakatos, esta vai se distanciando de possíveis outras teorias que não conseguem o mesmo feito, degenerando-se em relação a ela.

A teoria do Big Bang ainda está em progressão e, em 2003, um outro satélite, o WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)³⁴, obteve novas e ainda mais precisas medidas da radiação de fundo (ver figura 6), em busca de polarizações previstas para a radiação (Smoot, 2006). Em uma bateria de dados obtidos neste ano de 2003 e uma outra realizada em 2006, foi constatado que “os resultados suportam fortemente o modelo do Big Bang”³⁵.

³⁴ Sonda de anisotropia de microondas Wilkinson. Anisotropia se refere às flutuações de densidade do ruído cósmico de fundo, as dobras no espaço-tempo identificadas pelas variações na radiação.

³⁵ “(...)the results strongly support the inflationary Big Bang models” (Smoot, 2006, pg. 45).

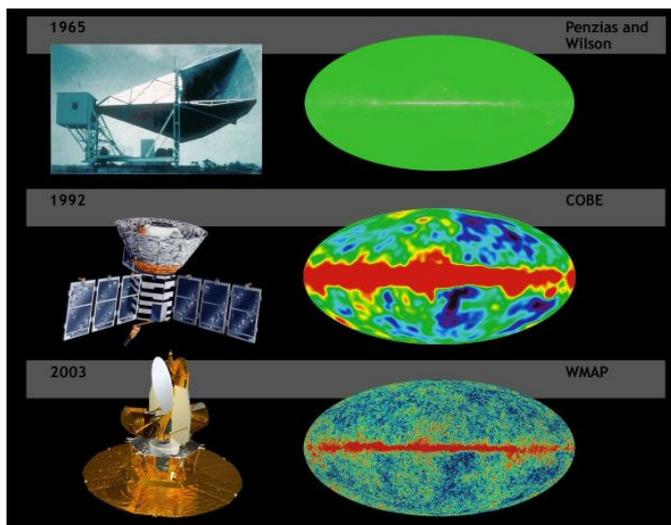


Figura 6 – Quadro comparativo do espectro de potência – padrão obtido a partir do ruído cósmico de fundo.

Percebe-se o grau crescente de resolução desde a medida acidental de Penzias e Wilson, passando pelo COBE até o WMAP. O espectro de potência relaciona o valor das variações de temperatura do ruído com o tamanho das manchas quentes e frias do céu observável (Hu & White, 2004). O padrão obtido com o espectro de potência do ruído cósmico de fundo é a principal ligação entre nosso universo atual e sua estrutura primordial.

Fonte: futura-sciences.com

Muitos poderiam se dar por satisfeitos, mas a ciência é uma eterna busca por precisões e certezas que, se não existem filosoficamente, ao menos existem enquanto um eixo da verdade eternamente perseguido pela assíntota da perscrutação científica. Por isso, em 14 de maio deste ano de 2009 foi lançado o satélite Planck, assim batizado em homenagem ao físico alemão Max Planck, precursor da Teoria Quântica que suporta o Big Bang, ao lado da Relatividade Geral. Nesta missão serão realizadas medidas ainda mais precisas da anisotropia do ruído cósmico de fundo, e a estimativa é que seus resultados sejam divulgados até 2011 (ESA, 2009).

Os esforços atuais com as pesquisas em cosmologia, entre estes o satélite Planck e o LHC (Large Hadron Collider), buscam ainda elucidar alguns aspectos mais excêntricos a respeito da constituição do universo, conhecidos atualmente como matéria escura e energia escura, hipóteses *ad-hoc* que precisam de uma explicação. A matéria escura é exigida para possibilitar, por sua gravidade, que as galáxias tenham a dinâmica observada sem serem destroçadas por sua própria rotação (Smoot, 1995). E a fantástica constatação de que o universo está atualmente em expansão acelerada torna necessária a existência de uma energia estranha, de origem desconhecida, a *energia escura* (ver figura 7). “Simulações mostram que

tanto a matéria quanto a energia escura são necessárias para obter as estruturas de larga escala observadas no Universo real” (Conselice, 2007, p. 36). Inclusive, o modelo padrão da cosmologia atual, que denominamos comumente por Big Bang, é conhecido entre os pesquisadores por “modelo inflacionário lambda de matéria escura fria”. Particularmente interessante é este termo “lambda”, que se refere à energia escura ou, pasmem, à constante cosmológica. Esta denominação do que conhecemos mais popularmente por teoria do Big Bang é derivada “de suas três componentes mais importantes: o processo de inflação³⁶, a quantidade denominada constante cosmológica, simbolizada pela letra grega lambda, e partículas invisíveis chamadas de matéria escura fria” (Starkman & Schwarz, 2005, pg. 32).

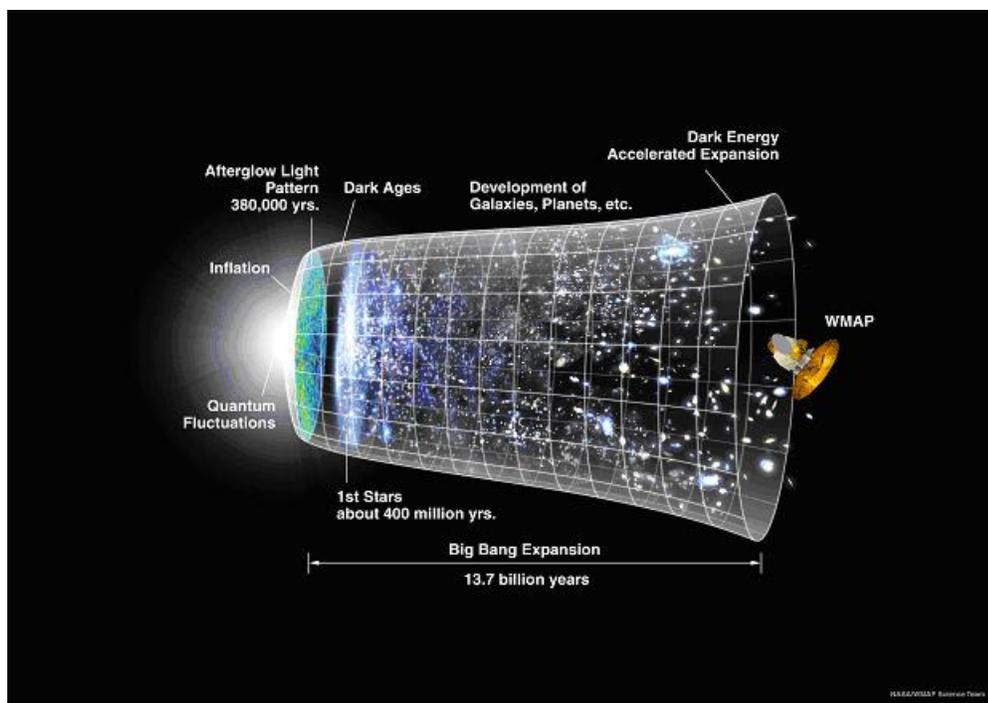


Figura 7 – Evolução do universo

O gráfico mostra os principais momentos da evolução do universo, segundo a teoria do Big Bang. Percebe-se, à direita, um aumento em sua taxa de expansão, que os teóricos do Big Bang associam a uma energia de origem ainda desconhecida, a *energia escura*.

Fonte: nasa.gov

Se isto não nos habilita dizer que a teoria é provada, ao menos nos regozija em saber o quão perto podemos chegar, com nossas teorias, de um efetivo entendimento do universo, a ponto de prevermos oscilações tão ínfimas da ordem de uma parte em centenas de milhares.

³⁶ Inflação se refere ao estágio da expansão espaço-temporal do universo primordial, onde a taxa de aceleração se elevou consideravelmente a partir de um campo denominado *inflaton* (Bennett *et al*, 2002, Hu & White, 2004).

E, quando estas oscilações são efetivamente constatadas, fica difícil não acharmos que tocamos a verdade. George Smoot³⁷ resume esta idéia:

A simplicidade e a simetria crescentes do universo, à medida que nos aproximamos do momento da criação, me dão esperanças de que possamos entender o universo utilizando os poderes da razão e da filosofia. O universo seria então compreensível, como Einstein um dia sonhou (1995, pg. 315).

Einstein não foi o único. A constatação de que o universo existe e nossos anseios de que pode ser compreensível formam, talvez, o mais importante esteio de nossa ciência.

Epílogo

Vimos que, para Lakatos, o embate entre teorias rivais à luz de seus respectivos programas se dá racionalmente no campo da heurística positiva, onde a teoria com características degenerativas é metodologicamente suplantada pela de características progressivas. Encontramos, em Popper, um reforço destas idéias:

Com efeito, uma teoria que mereceu ampla corroboração só pode ceder passo a uma teoria de maior alto grau de universalidade, ou seja, a uma teoria passível de submeter-se a melhores testes e que, além disso, *abranja* a teoria anterior e bem corroborada – ou, pelo menos, algo que se lhe aproxime muito (Popper, 1993, pg. 303).

Mas se Lakatos admite uma reconstrução racional para a história da ciência, Popper é mais reticente e este respeito, colocando esta reconstrução como algo *a posteriori*, algo que não é intrínseco à atividade científica.

Na medida em que o cientista aprecie criticamente, altere ou rejeite sua própria inspiração, poderemos, se o desejarmos, encarar a análise metodológica levada a efeito como um tipo de “reconstrução racional” dos correspondentes processos mentais. Sem embargo, essa reconstrução não apresentaria tais processos como realmente ocorrem – ela pode apenas dar um esqueleto lógico do processo de prova. Contudo, talvez seja isso o que pretendem dizer aqueles que falam de uma “reconstrução racional” das maneiras pelas quais adquirimos conhecimento (Popper, 1993, pg. 32).

³⁷ George Smoot recebeu, por suas pesquisas com a radiação cósmica de fundo, o Nobel de Física de 2006, ao lado de John Mather, seu colaborador. Arno Penzias e Robert Wilson também receberam o Nobel por pesquisas com a radiação, o que contribuiu pra que a teoria do Big Bang se tornasse o modelo padrão da cosmologia atual.

Concordamos, aqui, que o processo de gênese das idéias científicas é um terreno arenoso, ao qual talvez nunca tenhamos acesso direto. Mas se é difícil conhecer as maneiras de pensar do cientista, e suas idiossincrasias são singulares e diversas, ao menos podemos construir um sentido lógico e racional, como queria Lakatos, para um panorama elucidativo do que venha a ser ciência.

Popper parecia estar ciente destas complicações, abstendo-se de maiores discussões sobre o “contexto da descoberta”. Inclusive, coloca que: “Minha maneira de ver pode ser expressa na afirmativa de que toda descoberta encerra um “elemento irracional” ou “uma intuição criadora...” (Popper, 1993, pg. 32). Isto não o impediu de traçar as características já comentadas que, segundo ele, independem inteiramente desses problemas (Popper, 1993). Diferenças à parte, Popper e Lakatos são bastante categóricos em relação à dinâmica inconclusiva da ciência. De fato, Popper coloca que “O jogo da ciência é, em princípio, interminável. Quem decida, um dia, que os enunciados científicos não mais exigem prova, e podem ser vistos como definitivamente verificados, retira-se do jogo” (Popper, 1993, pg. 56).

Assim, temos que o embate entre idéias concorrentes é, não só importante característica da evolução de nosso conhecimento, segundo a dinâmica descrita por Lakatos, como processo vital para o “jogo”, nos termos de Popper. Ainda, os dois filósofos “consideram o avanço da ciência, apesar de parcial e provisório, um dado inquestionável, no sentido de que as teorias mais recentes são objetivamente melhores do que as mais antigas” (Villani, 2001, p. 176).

Por estas razões deveríamos ficar atentos às tentativas de elevar o Big Bang a uma categoria factual, no sentido de ser a resposta única e definitiva para o que observamos. Pois se é, efetivamente, uma boa explicação para o universo, precisa responder e lidar com questões colocadas por cientistas trabalhando em linhas de pesquisa heterodoxas. Por exemplo, apesar do que já foi discutido sobre a degeneração da teoria do universo estacionário, esta ainda é defendida por alguns pesquisadores, como é o caso de Halton Arp. Cientista do Instituto Max Planck, na Alemanha, Arp vem pesquisando galáxias há pelo menos três décadas, o que lhe permitiu produzir o Atlas de Galáxias Peculiares (Arp, 1966), importante fonte de consulta mesmo pelos teóricos de outras linhas de pesquisa. Arp sugere que existem algumas estruturas no universo que parecem contrariar um universo em expansão. Após estudar exaustivamente um grande número de galáxias, ele descobriu que muitas delas aparentemente têm uma ligação física direta com objetos como quasares, objetos

de observação pontual com alto desvio para o vermelho e intensa emissão de raios-X³⁸. Ora, se um quasar tem um alto desvio para o vermelho, pelas constatações de Hubble isto significa que ele também está muito longe. E aí estaria o disparate: as observações de Arp mostram que os quasares parecem estar muito próximos e conectados fisicamente, através de uma fraca nebulosidade (ver figura 8), com galáxias de desvio para o vermelho muito menor, o que sugere que eles estão em um plano de observação (ver figuras 9 e 10) que, segundo a lei de Hubble, é impossível. Objetos de diferentes desvios para o vermelho, de acordo com a cosmologia tradicional, *devem* estar a diferentes distâncias do observador.

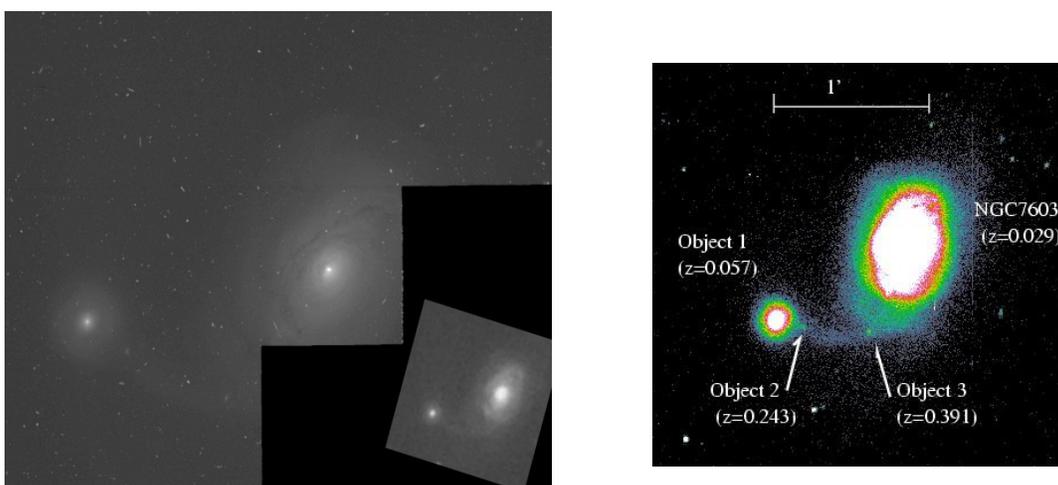


Figura 8 – Galáxia NGC 7603

Na foto à esquerda, vemos o sistema com dois tratamentos de imagem, e na direita a imagem tratada por computador, mostrando uma suposta ligação entre a galáxia e os quasares em suas proximidades.

Fonte: The Quasars.org catalogue.

³⁸ Arp vai ainda mais longe, sugerindo que estes quasares foram ejetados da galáxia companheira, sendo eles mesmos uma espécie de proto-galáxia (Arp, 2001).

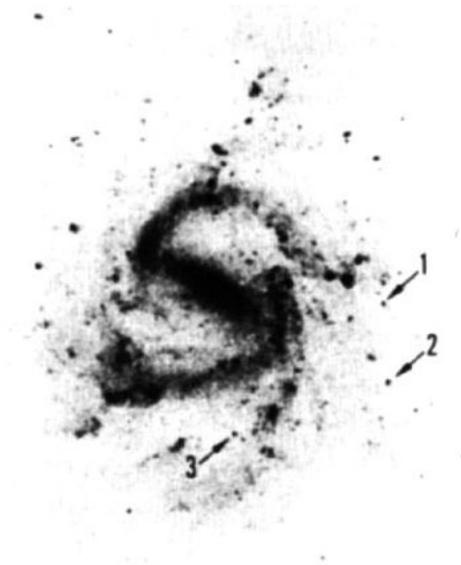


Figura 9 – Galáxia NGC 1073.

Os pontos 1, 2 e 3 são quasares com alto desvio para o vermelho, nas vizinhanças de uma galáxia com baixo desvio para o vermelho.

Fonte: Arp, 1966.

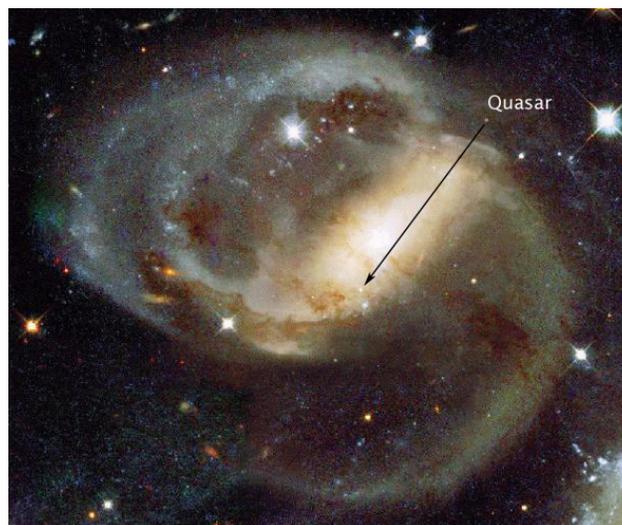


Figura 10 - Galáxia NGC 7319

Indicação de um quasar em uma galáxia com desvio para o vermelho menor.

Fonte: Electric-Cosmos.org.

Evidentemente, um contra-argumento que imediatamente surge está relacionado com a simples sobreposição de imagens, dando a impressão de estarem no mesmo plano, quando realmente estão muito distantes entre si.

Exames rápidos de fotografias de galáxias remotas freqüentemente revelam estrelas muito brilhantes em nossa própria Via Láctea que são vistas em projeção contra uma galáxia de fundo. Mesmo se víssemos tal estrela na ponta de um braço espiral da galáxia distante, jamais suporíamos que essa estrela tivesse sido recentemente ejetada da galáxia distante (Silk, 1988, pg. 320).

Joseph Silk, professor de astronomia em Berkeley, na década de 1980 sugeriu que “se uma escala contínua em avermelhamento puder ser medida ao longo de um jato de gás ligando uma galáxia de pequeno avermelhamento a um quasar de alto avermelhamento, então Arp terá sido redimido” (Silk, 1988, pg. 320). Longair, professor de física teórica em Cambridge, também foi comedido ao dizer que, apesar de não haver maiores corroborações à conjectura de Arp, “não devemos excluir a possibilidade de que observações cosmológicas possam nos dizer algo profundamente original e inesperado sobre a física fundamental” (Longair, 1984, p. 330). Mas o fato é que não houve nenhuma corroboração para uma ligação física entre uma galáxia e um quasar³⁹, o que, mais uma vez, torna a teoria do Big Bang uma melhor explicação para nosso universo.

Mas é prudente não colocar possíveis explicações iconoclastas no limbo acadêmico. Lakatos, Popper e outros⁴⁰ deixaram claro que sempre é possível resgatar uma teoria (programa de pesquisa, no caso de Lakatos) de suas derrotas, embora segundo Lakatos não antes de a teoria vigente perder sua força heurística, o que não é o caso da teoria do Big Bang.

Mas há, aqui, um ponto interessante. O modelo padrão da cosmologia é uma explicação hegemônica do que supostamente é observado pelos telescópios mundo afora, com inúmeras publicações a respeito. Mas, se é que a história pode nos ensinar algo, é que as certezas residem em terreno pouco firme. De fato, Lakatos e Popper insistiram na eterna disputa entre teorias:

... a *continuidade* na ciência, a *tenacidade* de algumas teorias, a racionalidade de certa dose de dogmatismo só poderão ser explicados se interpretarmos a ciência como um campo de batalha onde pelejam programas de pesquisa muito mais do que teorias isoladas (Lakatos, 1979, pg. 216).

Com o estabelecimento de uma interpretação hegemônica em relação ao que é observado, há a possibilidade de estarmos evitando outras conjecturas possíveis que podem vir

³⁹ E, mesmo com uma ligação direta, outras possibilidades poderiam ocorrer sem que se viole um universo em expansão, como o efeito produzido por um buraco negro: “as raias características de cada elemento que se encontrar nas proximidades de um campo gravitacional forte serão encontradas deslocadas das suas frequências originais, na direção de menores frequências ou maiores comprimentos de onda” (Bergmann et. al, 2009).

⁴⁰ Para maiores reflexões sobre como uma idéia pode ser mantida haja o que houver, o livro de Paul Feyerabend, “Contra o Método”, pode ser interessante.

a ser, inclusive, fonte de teorias com características mais progressivas que a atual. Como saberemos sem este embate? Lakatos resume esta idéia:

Nunca devemos permitir que um programa de pesquisa se converta [...] numa espécie de *rigor científico*, arvorando-se em árbitro entre a explicação e a não-explicação, como o rigor matemático se arvora em árbitro entre a prova e a não-prova (Lakatos, 1979, pg. 190).

Apesar da tendência empirista, Halton Arp parece, consciente ou inconscientemente, ter idéias semelhantes, quando aponta que é justamente isto o que está acontecendo em relação à posição dos cosmólogos sobre o desvio para o vermelho:

Não interessa como os cientistas pensem o que fazem, eles começam com uma teoria – na verdade ainda pior – com uma suposição simplista e contra-indicada de que os desvios para o vermelho só significam velocidade. Daí para frente só aceitam observações que podem ser interpretadas nos termos desta suposição. É por isso que penso ser muito importante ir tão longe quanto possível com as relações e conclusões empíricas. É por isso que é tão importante descartar qualquer hipótese de trabalho se ela é desmentida pelas observações – mesmo se não há uma hipótese alternativa para substituí-la. Tão desagradável quanto isto possa ser, temos de ser capazes de viver com a incerteza. Ou, como dizem muitas pessoas, mas sem convicção: “Nunca é possível provar uma teoria, apenas refutá-la (Arp, 2001, pg. 251).

Com a referência direta ao falseacionismo, Arp procura alertar quanto às fragilidades da certeza. Mas, sabemos, é claro que não serão apenas os “fatos” que irão decidir alguma coisa: “...nenhuma lei pode ser “seriamente contestada” só por experiências” (Lakatos, 1979, pg. 214).

Arp sugere que os diferentes desvios para o vermelho observados entre galáxias e quasares vizinhos são devido não às suas diferentes velocidades e distâncias, conforme a lei de Hubble, mas à uma diferença entre a energia dos fótons emitidos por estas estruturas que, por sua vez, seria explicado pela criação de matéria “nova”, surgida recentemente. As partículas novas seriam menos massivas que as mais velhas, ficando mais massivas conforme envelhecem, de acordo com soluções obtidas por Jayant Narlikar em 1977 para as equações da relatividade geral (Arp, 2001). Segundo estas idéias, matéria recente emite fótons de baixa energia, portanto com maior desvio para o vermelho, o que seria então a causa dos desvios observados.

Fomos forçados pelas observações a considerar o que faria com que o desvio para o vermelho do material da galáxia diminuísse à medida que ela envelhecia. A única possibilidade simples parecia ser a de que as massas das partículas elementares aumentassem com o tempo. Vimos que isto satisfaz os limites fundamentais da física como atualmente entendemos o assunto, *i.e.*, é uma solução válida das equações de campo de Einstein generalizadas (Arp, 2001, pg. 174).

Assim, o desvio para o vermelho passa a ser considerado um indicativo da idade de uma galáxia e não de sua velocidade e distância ao observador.

Mas o que Arp talvez não saiba, ou não deixa claro, é que “não se elaboram hipóteses científicas só para preencher lacunas entre os dados e a teoria, senão para predizer fatos novos” (Lakatos, 1979, pg. 214). E a teoria do Big Bang, como vimos, predisse algo de novo, gerando um excesso de conteúdo corroborado que é, resumidamente, o que a mantém como um programa de pesquisa largamente empregado pela cosmologia atual.

Agora, sendo o Big Bang caracterizado como um programa de pesquisa, precisamos recapitular alguns elementos chaves deste programa: qual seu núcleo firme? O que pode ser caracterizado como cinturão protetor? Embora já tenhamos discutido alguma coisa a este respeito ao longo do texto, é conveniente fazermos aqui uma associação mais explícita.

O Big Bang parte da premissa de que as galáxias estão em um mútuo afastamento, segundo as previsões da Relatividade Geral, sendo as assertivas subseqüentes dependentes desta primeira. Logo, podemos identificar aqui o núcleo firme: *o universo está em expansão*. Como conseqüência, o movimento de recessão das galáxias é que produz o desvio para o vermelho observado, onde o comprimento de onda da luz que nos chega é desviado para a extremidade vermelha do espectro eletromagnético. Como vimos anteriormente, foi analisando o espectro de estrelas e galáxias que Hubble chegou na sua relação entre distância x velocidade de recessão, informando-nos de que a maioria das galáxias está se afastando de nós. Ou seja, quanto mais afastada a galáxia, maior sua velocidade e, conseqüentemente, maior o desvio para o vermelho constatado. Assim, qualquer tentativa de se interpretar este desvio por outros meios certamente será contornada pelos adeptos do programa, como aconteceu quando Arp sugeriu outras possibilidades para o observado. A sugestão de uma mera sobreposição de imagens, como fizeram os cosmólogos do Big Bang para contornar as dificuldades de se explicar os diferentes desvios para o vermelho de galáxias e quasares supostamente vizinhos, é claramente um recurso que protege a suposição básica de que o desvio para o vermelho é devido à expansão do espaço.

Como hipóteses auxiliares mais bem formuladas, segundo a caracterização do cinturão protetor, temos as “entidades escuras”, com o claro papel de proteger o núcleo firme. Sua necessidade se torna patente frente às observações que, em princípio, violam preceitos tidos como não atacáveis, como a Relatividade Geral (expansão espaço-temporal), base da teoria do Big Bang. Isto leva à necessidade de hipóteses *ad-hoc* para garantir que o programa sobreviva frente às anomalias, o que pode também ser caracterizado como uma heurística

positiva ao permitir que a teoria possa ser testada, a partir da pesquisa para se validar as hipóteses. No caso, a efetiva detecção da energia e da matéria escura.

Em relação aos elementos que denotam o excesso de conteúdo, exigido para um programa progressivo de pesquisa, podemos certamente nos reportar ao ruído cósmico de fundo, ainda que existam outras alternativas de interpretação que sugerem ser simplesmente a temperatura média do meio intergaláctico (Arp, 2001, Assis e Neves, 1995). Mas, lembrando, as dobras pesquisadas por Smoot levam este excesso de conteúdo a um novo patamar de precisão que, como constatado pelo satélite COBE, e depois pelo WMAP, reforçam o programa de pesquisa do Big Bang. Programas concorrentes, como o de Fred Hoyle, foram metodologicamente colocados em uma posição regressiva ao não conseguirem produzir o mesmo feito. Esta dinâmica entre programas rivais, como vimos, é essencial para o saudável crescimento de nossa ciência, ratificando as intenções de Lakatos para a estrutura da pesquisa científica.

Como podemos perceber nos momentos finais do presente texto, a teoria do Big Bang se encontra em um estágio bastante ativo de pesquisa. Assim, é importante ficarmos atentos aos novos passos, teóricos e experimentais, no desenvolvimento desse tema.

“Embora o modelo cosmológico padrão funcione razoavelmente bem ao descrever os aspectos fenomenológicos do Universo, para ter um conhecimento mais profundo de seus mistérios é preciso aguardar as descobertas que os novos experimentos trarão. Tudo indica que a sinfonia cósmica vai continuar a encantar seus ouvintes ainda por muito tempo” (Hu & White, 2004, p. 57).

Podemos apenas vislumbrar onde isto pode levar nossa ciência, devido aos problemas de se estudar um sistema de dentro dele mesmo, ou seja, é sempre complicado idealizar precisamente o que acontecerá apenas com nosso conhecimento atual. Muito mais fácil é analisar os eventos passados, onde um todo toma forma diante do observador da evolução dos conceitos. Quando se está vivendo esta evolução, as interpretações podem ser traiçoeiras, como podemos constatar em diversos momentos da história do conhecimento científico, onde revoluções tomaram forma em contextos onde os pesquisadores achavam ter a resposta final nas mãos.

Por hora, basta concluirmos que a eterna busca por melhores explicações percorre um caminho que será tanto mais prolífico quanto maior for o número de opções de programas de pesquisa compromissados com a natureza objetiva dos fenômenos observados.

Se não podemos, e talvez nunca poderemos, dizer que temos a verdade nas mãos, ao menos podemos ter a certeza de que nossas incertezas são, hoje, de natureza mais abrangente

e de resultados mais efetivos que as que tínhamos no passado. E isto porque no passado enfrentamos o que era fato consumado, porque questionamos o que parecia inquestionável. Esta irreverência frente ao conhecimento nos trouxe até aqui e, se soubermos mantê-la, certamente nos levará ainda mais longe.

6.0 A Intervenção Didática e a Discussão dos Resultados

6.1 Uma aplicação piloto

Antes de ser definitivamente aplicada, a unidade de ensino foi trabalhada com uma turma de um semestre anterior para se tecer as primeiras impressões da proposta. A primeira versão da unidade continha uma discussão mais pormenorizada sobre as idéias dissidentes de Halton Arp, situando suas concepções em uma posição de “grande rival” da teoria do Big Bang, ainda que esta última fosse concebida como a principal teoria da cosmologia. A motivação para esta abordagem adveio do conhecimento de um documentário, “Universe: The Cosmology Quest” (Meyers, 2004), e do livro “O Universo Vermelho” (Arp, 2001). O livro e o documentário se reportam a uma suposta rivalidade não resolvida entre a teoria do Big Bang e o Universo Estacionário, e apontam, ainda, a inadequação do Big Bang como resposta para o que é supostamente observado por telescópios. Os representantes atuais destas propostas, entre eles o astrônomo Halton Arp, o físico teórico Jayant Narlikar e a astrônoma Margaret Burbidge, possuem inclusive um grande prestígio na história recente da física, o que traz para estas obras uma certa aura de respeitabilidade e seriedade. Porém, um estudo mais pormenorizado deste assunto, a partir dos valiosos subsídios gerados pelos comentários críticos de um especialista, demandou uma redefinição do foco do tema, com a subsequente reformulação de trechos específicos para se aumentar o compromisso com o modelo padrão da cosmologia.

Particularmente digno de nota é a atenção dada por Arp ao ruído cósmico de fundo. Além das outras objeções que podem ser feitas à teoria do universo estacionário, como mostra o texto “A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos”, Arp e outros propõem que o ruído cósmico de fundo é uma radiação intrínseca à galáxia. Mas, e isto foi cedo percebido quando da elaboração do texto principal, em momento algum é feita alguma referência sobre a anisotropia do ruído cósmico de fundo, muito menos sobre as excelentes concordâncias entre dados *versus* teoria, obtidas com a teoria do Big Bang. Após revistos os trechos referentes sobre Halton Arp, mas não totalmente excluídos, uma vez que estes serviam de bons exemplos para se discutir os elementos da epistemologia de Lakatos, o texto e sua apresentação foram mais tarde reformulados para sua aplicação definitiva.

Assim como na versão definitiva, a aplicação piloto da unidade de ensino foi precedida por um período de observação, onde se estabeleceu um ambiente mais natural em

relação à presença do pesquisador em sala. Na semana anterior à aplicação da unidade de ensino, foi disponibilizado aos alunos o texto “A cosmologia moderna à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos”, com o objetivo de acompanharem a aula de apresentação com o mesmo já lido. A aplicação piloto foi conduzida de modo bastante semelhante ao que foi posteriormente apresentado na versão definitiva, excetuando-se as diferenças acima comentadas. Uma atenta constatação visual, ao longo da apresentação, permitiu identificar uma recepção positiva por parte dos alunos, que demonstraram atenção e interesse ao longo da exposição. Ao término da aula, alguns alunos expressaram sua receptividade ao assunto oralmente, com alguns elogios em relação à dinâmica desenvolvida, com uma apresentação “bem multimídia”. Alguns alunos ainda foram bastante prestativos em relação a um breve questionamento sobre a unidade de ensino, disponibilizando-se para ajudar nesta etapa. Sobre a apresentação, um aluno colocou que: *“O seminário foi muito bom, acho que mostrou como evoluiu a idéia de universo e suas tentativas de decifrá-lo. Com relação à forma de apresentação achei muito boa, a disposição de textos, fotos e vídeos no slide ficou muito boa e o conteúdo também”*.

6.2 A intervenção didática

A apresentação definitiva, como já foi mencionado, foi precedida de um período de observação onde se puderam constatar algumas primeiras idiossincrasias dos alunos, juntamente com o estabelecimento de um ambiente onde estes estavam mais acostumados com o pesquisador. Nestas observações se percebeu quais alunos eram mais atentos e participativos, e quais pareciam ser mais desatentos e descompromissados. Isto ajudou a compor, mais tarde, um grupo potencialmente produtor para um retorno em relação às questões formuladas aos alunos.

Após um período da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física destinado à apresentação de seminários, pelos alunos, foi informado então que o texto estava disponível na página da disciplina na Internet. Como, entre os seminários apresentados, estavam tópicos relacionados com a unidade de ensino a ser apresentada, como relatividade e elementos de física de partículas, juntamente com algumas informações pontuais sobre filosofia da ciência, a apresentação se inseriu em um momento didático adequado para o pretendido.

Apesar da inquietação do pesquisador ao perceber que, justo no dia da apresentação fora realizada uma greve de ônibus, que poderia ter impossibilitado a aula por falta de alunos,

a apresentação acabou sendo realizada sem imprevistos, ainda que com um pouco de atraso, até os alunos estarem em sala, onze presentes neste dia. Ao longo da apresentação foi claramente constatado um bom interesse geral da turma, e uma boa participação, ainda que um pouco aquém do que se gostaria. Em relação à percepção geral do pesquisador, ao menos, tudo transcorreu bem e em conformidade com o esperado.

6.3 Discussão dos resultados

A amostra utilizada para a discussão dos resultados foi composta por seis alunos, denotados aqui como aluno 1, aluno 2, aluno 3, aluno 4, aluno 5 e aluno 6. O objetivo inicial era compor uma amostra que contemplasse, em boa medida, os alunos mais participativos e/ou interessados em avaliar o procedimento didático com comentários, críticas e sugestões que efetivamente pudessem contribuir para o seu aperfeiçoamento. Não obstante, apenas este grupo de seis alunos respondeu o questionário, dentre os onze presentes na apresentação. Contudo, esses estudantes estão entre aqueles que apresentaram o maior envolvimento com unidade da cosmologia e, assim, para os fins da pesquisa, a amostra pode ser considerada amplamente satisfatória. De fato, os alunos 2, 4, 5 e 6 demonstraram um grande interesse por todo o processo, traduzido pela leitura prévia do texto, atenção ao seminário e colocações críticas pertinentes, empenho na resposta ao questionário e disposição para a entrevista realizada. As respostas do aluno 3, em particular, apontam para a (esperada) inadequação do texto em situações onde alguns pré-requisitos não estão presentes, mostrando a necessidade e a importância de subsunções relevantes em um processo de ensino. Já o aluno 1, embora tenha demonstrado uma boa recepção geral, como se pode atestar pelo conjunto de suas respostas, pareceu um pouco reticente a respeito de alguns pontos do texto, como será visto na seqüência.

Para cada questão, a seguir, tecemos um breve comentário a respeito das respostas do aluno, entrelaçado ou não com a transcrição destas em itálico e entre aspas. Ainda, estas respostas foram, sempre que oportuno, complementadas por maiores esclarecimentos obtidos através de entrevista, cada uma com um tempo médio de cerca de vinte minutos. De um modo geral, as respostas foram bastante completas, exigindo poucos complementos.

Questão 1 - George Smoot sugeriu que nosso atual conhecimento sobre o universo só pode ser entendido à luz do que aconteceu antes, ou seja, através da evolução dos seus conceitos. A

partir dos elementos discutidos no texto e sua apresentação, para você qual o papel da história e filosofia da ciência para o entendimento das características da pesquisa científica e dos próprios conceitos científicos?

Aluno 1 – Este aluno enfatiza o papel da história e filosofia da ciência como desmistificadora, ao aproximar o aluno de estudos mais compromissados com a natureza da atividade científica. Coloca que a história e filosofia da ciência podem *“contextualizar, numa perspectiva histórica, os conceitos e diminuir, ou desconstruir e reconstruir, a idéia de ciência acabada, pronta, dogmática, seqüencial, infalível e sobre-humana, inatingível por meros mortais como os alunos, [substituindo] por outra mais humana”*.

Aluno 2 – O aluno 2 aponta a importância da história e filosofia da ciência também na obtenção de significado para os conceitos científicos. *“A partir dos elementos apresentados através do texto e da apresentação podemos observar que a história e a filosofia da ciência fazem parte da própria ciência, ou seja, a evolução dos conceitos científicos enraizados em sua história faz parte de como esses conceitos são vistos pelos cientistas e como são interpretados. Não podemos desvincular a ciência de sua história e epistemologia, com o risco de torná-la abstrata ou até mesmo sem sentido. Sendo que sabendo de onde veio o que se está estudando/pesquisando, fica mais fácil dar prosseguimento”*.

Aluno 3 – Parte da resposta deste aluno foi um pouco vaga: *“o conhecimento é uma evolução contínua que logicamente nos promete descobrir novas coisas a partir das que já são conhecidas”*. Mas nesta mesma resposta há um trecho mais objetivo, quando aponta que a filosofia da ciência *“é de fundamental importância frente ao desenvolvimento, à construção, ao debate e análise dos fatos ocorridos a cada momento na história da ciência”*.

Aluno 4 – Nesta questão, o aluno 4 mostra uma extensa análise das importâncias imputadas à história e filosofia da ciência, fazendo uma ponte permanente com o texto específico apresentado. Por sua completude e relevância, transcrevemos a seguir sua resposta na íntegra.

“Analisar o trabalho de quem faz o que chamamos de ciência é passo fundamental para então desenvolver uma teoria sobre como se dá a evolução de uma ciência. Da mesma maneira que a história auxilia as mais diversas áreas do saber para compreender o estado atual do mundo humano, a história nos dará indicações das atitudes daqueles que chamamos cientistas perante suas atividades, como agem e justificam sua metodologia de

trabalho, com o intuito de entender a pesquisa e como os conceitos se tornaram legítimos perante, primeiramente, à comunidade científica e, depois, à global.

É fundamental (a história da ciência) porque os conceitos da forma como os temos hoje são considerados neste atual contexto como válidos ou mais bem aceitos. Os argumentos dos cientistas sobre o que é ou não relevante e/ou “correto” quando se discute conceitos e teorias coincidem em vários aspectos com as teorias de filosofia da ciência, pois estas se basearam na história das ciências para se fortalecer. E, muitas vezes, os cientistas se orientam através dessas teorias; como por exemplo, Carl Sagan, que argumenta em seu livro⁴¹ contra as hipóteses de que humanos teriam entrado em contato com seres extraterrestres baseado no falsificacionismo de Popper.

Para quem deseja se aprofundar em textos visando compreender os passos da comunidade científica, a filosofia e a história da ciência são muito interessantes, uma vez que orientam a atenção do leitor para detalhes que nem sempre estão explícitos. Nesse sentido, tratar da evolução da cosmologia junto a Lakatos fornece uma visão crítica e estimula o raciocínio de quem tenta analisar os processos/etapas da ciência.

Pode-se perceber com facilidade como o caso de Urano e Netuno refletem a idéia de um cinturão protetor. Mas que, uma vez descoberto o outro planeta, o cinturão protetor fortaleceu o núcleo e trouxe resultados posteriores. Porém, no caso de Mercúrio, tem-se o cinturão protetor tornando o núcleo – mecânica newtoniana – frágil, uma vez que a suposição da existência de outro planeta próximo não foi corroborada.

A construção, pelos cientistas, de um programa de pesquisa se dá com a opção de uma teoria em detrimento de outra, e se mostra na disputa entre a teoria de Hoyle e o “Big-Bang”. Em que aquela (universo estático) estava apresentando um momento degenerativo, enquanto esta (universo dinâmico) apresentava um momento de progressão. Isso porque aquela não possuía uma física para se apoiar, e a criação de matéria no espaço tornou-se uma suposição ad-hoc degenerativa. Mais ainda, o Big-Bang se tornou um programa de pesquisa progressivo com as suposições ad-hoc envolvendo a radiação cósmica de fundo, principalmente porque esta por si só foi sendo aprimorada e segue progressivamente, pois cada vez mais se aperfeiçoa o mapeamento dos sinais dessa radiação no universo através de equipamentos mais precisos.

Fica importante ressaltar que a história da ciência mostra que teoria Big-Bang não surgiu a partir da observação de fenômenos físicos. Mas que o caráter experimental é

⁴¹ SAGAN, Carl. O mundo assombrado por demônios: a ciência como uma vela no escuro. Vários trechos desse livro são explícitos quanto ao quanto falsificável é uma hipótese (nota do [aluno 4](#)).

importante ao longo das etapas para corroborar as hipóteses ad-hoc. Fica evidente no texto que a corroboração da Teoria da Relatividade Geral se dá através da corroboração das conseqüências, das hipóteses ad-hoc”.

Percebe-se que este aluno apreendeu o essencial da proposta, e seu resumo reflete sua intenção de deixar isto claro.

Aluno 5 – Este aluno também faz uma ligação com o texto sobre cosmologia, e deixa claro que a história e filosofia da ciência têm uma importante função em sua apreciação crítica, mostrando ainda seu papel na compreensão efetiva de uma teoria:

“O estudo da história e da filosofia da ciência é importante para a compreensão da instituição científica, de como se faz ciência e qual o objetivo do trabalho científico. Conseqüentemente, passa a ser possível refletir sobre os métodos da pesquisa científica e a validade de suas conclusões. Ao trazer elementos epistemológicos, o texto ajuda a esclarecer o desenvolvimento da cosmologia moderna. As razões pelas quais uma teoria (ou programa de pesquisa, nos termos de Lakatos) predomina sobre outras dentro da comunidade científica ficam mais evidentes ao se estudar história e filosofia da ciência. Essa é uma oportunidade que, de fato, não é acessível nas disciplinas teóricas. Estudando-se a teoria do Big Bang por resoluções de problemas, por exemplo, não é possível compreendê-la. Mas isso, aliado ao estudo da evolução dos conceitos relacionados a ela, com o auxílio ainda de elementos epistemológicos, permite uma visão mais acurada e mais crítica da teoria. Para mim, o mais importante é exatamente esse ponto: ao se compreender a ciência, é possível construir uma opinião crítica acerca dela”.

Aluno 6 – Mostrando o papel do texto para os objetivos pretendidos, este aluno coloca a interessante e pouco recorrente questão do porquê a ciência estuda as coisas que estuda no presente. Coloca que *“a concepção da ciência, das suas características, como uma construção humana e acima de tudo racional, é fundamental para conseguir entender porque a ciência estuda os temas atuais. É interessante notar toda uma cascata de acontecimentos, constante num curto intervalo de tempo, mas crescente ao se analisar um intervalo de tempo grande, que se desenrola até chegarmos aos dias atuais. Conhecer a história da ciência solidifica as bases que um cientista deve ter sobre o que é a ciência, e como se faz ciência. Isso abre os olhos dos atuais estudantes da ciência sobre o que eles realmente estudam, sobre qual o papel da ciência. Sobre se a ciência deve chegar a uma verdade final ou não, sobre como saber o que é verdade, dentro da ciência, ou o que é mentira. Sobre se é possível*

afirmar que algo é falso dentro da ciência. E creio que esse texto nos ajuda a pensar nesse sentido”.

As respostas apresentadas evidenciam a boa percepção, por parte dos alunos, em relação à importância da história e filosofia para a compreensão do operar da ciência, e mesmo dos conceitos científicos. Não à toa, grande parte do propósito da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física (se não todo ele) é o de evidenciar as características e sutilezas da ciência, a partir da discussão dos mais representativos momentos de sua história, e dos principais elementos referentes à epistemologia associada na análise daqueles. O texto apresentado se alinha com este mesmo propósito, tendo, entre outros, o objetivo de contribuir com a percepção de que a atividade científica fica mais bem compreendida a partir das discussões engendradas com a história e a filosofia da ciência.

Neste sentido, e a julgar pelo retorno obtido sobre esta questão, o texto alcançou o objetivo pretendido, como se pode avaliar nas respostas de praticamente todos os alunos. A visão de uma ciência impessoal, infalível e de procedimentos rígidos e bem delimitados, o chamado “método científico”, parece ter sofrido um positivo abalo, como se pode ver, por exemplo, quando o aluno 5 coloca que *“ao se compreender a ciência, é possível construir uma opinião crítica acerca dela”*. Na entrevista, este aluno complementou sua resposta colocando que, quando se refere a “uma opinião crítica acerca dela”, da ciência, não quer dizer um ceticismo em relação à própria atividade científica, mas sim um permanente estado de vigília em relação aos seus resultados, que certamente podem ser otimizados, alterados ou substituídos conforme as necessidades descritas, inclusive, pelos elementos da epistemologia de Lakatos. E o aluno 4 faz uma boa caracterização da ciência que supera o caráter empirista da gênese científica, tantas vezes difundido, como vimos anteriormente, ao lembrar que a *“teoria do Big-Bang não surgiu a partir da observação de fenômenos físicos. Mas [...] o caráter experimental é importante ao longo das etapas para corroborar as hipóteses ad-hoc”*. Os alunos 1 e 2 também deixam claro uma boa percepção da atividade científica, ao colocar o caráter desmistificador da história e filosofia da ciência (aluno 1). Uma boa síntese poderia ser representada pelo aluno 2: *“Não podemos desvencilhar a ciência de sua história e epistemologia, com o risco de torná-la abstrata ou até mesmo sem sentido”*. Assim, as respostas fornecidas apontam ainda para um sentimento de significância em relação à atividade científica, embora esta conclusão seja o foco da questão 3.

Questão 2 - Segundo Bob Gowin, professor de educação da universidade de Cornell, uma importante função de um material educativo é propiciar um registro de eventos primários que promovam novos eventos, ou seja, que propicie novos conhecimentos e novas formas de pensar a partir de elementos já conhecidos pelo aluno. Com esse propósito, um material deve ser inteligível, de boa acessibilidade ao leitor. Nesse sentido, como você avalia a abordagem do texto em relação aos seus conhecimentos anteriores? Você teve alguma dificuldade com os conteúdos trabalhados? Comente.

Aluno 1 – Nesta questão, apesar de avaliar o texto como acessível de um modo geral, o aluno 1 demonstrou pouca familiaridade com alguns conceitos mais específicos, colocando ainda uma objeção a esse respeito:

“A abordagem foi boa, acessível. Para mim, que não engajei nenhum tipo de estudo específico em cosmologia, foi interessante. Senti dificuldade de interpretar as figuras de quasares e da radiação de fundo. Também não ficou claro aquela história que o Big Bang prevê a radiação cósmica de fundo”. Na entrevista, foi comentado sobre o nível técnico desejado para a unidade de ensino, o qual foi considerado como “adequado”, apesar das inevitáveis questões não devidamente esclarecidas pela própria natureza da proposta.

Aluno 2 – Este aluno deixou claro: *“No texto apresentado observei uma linguagem de fácil interpretação. Também é pertinente lembrar que a evolução dos temas abordados foi linear, não deixando lacunas de interpretação que dificultassem a continuidade do estudo. O texto também levou em conta nosso conhecimento anterior, o que também facilitou a leitura, e, unindo todos esses fatores mencionados, o texto da forma que se apresenta deixou a leitura mais agradável e interessante”*. Esta resposta já se adianta, inclusive, em relação ao pretendido com a questão 4, sobre a atenção conseguida do aluno ao longo da leitura do texto.

Aluno 3 – Apesar dos poucos pré-requisitos, o texto foi elaborado objetivando-se uma progressiva compreensão de alguns elementos da natureza da ciência, onde a epistemologia de Lakatos foi constantemente posta em diálogo com exemplos históricos para uma melhor percepção de suas características fundamentais. Ainda assim, o aluno 3 colocou que *“foi bastante complicado para mim o entendimento do texto já que não tinha certos conhecimentos, uma vez li sobre Lakatos mas não lembrava muito dele”*. Perguntado então, em função desta sua resposta, se ele considerava uma pré-leitura de Lakatos um pré-requisito para a compreensão do texto, ele colocou apenas que *“poderia ajudar”*. Desde já, fica

evidente e necessidade de uma intervenção didática mediada pelo professor, para a elucidação de pontos não devidamente compreendidos com o texto.

Aluno 4 – Este aluno demonstra a boa inteligibilidade do texto e, em relação ao diálogo entre filosofia e história referido acima, coloca que *“o texto traz de maneira bem interessante a mistura entre a evolução dos conceitos e a filosofia da ciência, tal que auxiliam, ao longo do texto, o leitor a compreender ambas. Esse auxílio existe porque o vínculo é direto, o que resulta no diálogo claro entre filosofia e ciência”*. Ainda em sua resposta, coloca também a importância de se abordar as idéias de outros filósofos para se ter uma imagem mais completa da atividade científica:

“Fica fácil de inferir que, a partir do que já pude ler sobre filosofia da ciência e discutimos ao longo do curso de Evolução dos Conceitos da Física, vários epistemólogos tem suas teorias encaixadas com mais perfeição em algumas etapas da história da Física do que em outras; tanto que Popper teve que repensar o papel da refutação diante das conjecturas. Por isso, talvez, seja importante dialogar com o máximo possível de pensadores, tal como foi feito no texto”.

Aluno 5 – Este aluno mostrou a compatibilidade do texto com o momento didático a que se propõe:

“Li o texto com os olhos de bacharelado que acabou de cursar uma disciplina de evolução dos conceitos da física, ou seja, com alguma noção do que são as idéias de filósofos da ciência como Kuhn, Popper e Lakatos. O texto, no entanto melhorou meu entendimento sobre Lakatos, principalmente por abordar os conceitos de sua filosofia (tais como programa de pesquisa, núcleo firme, cinturão protetor) dentro de um contexto histórico, com exemplos tirados da história. Já os conceitos físicos abordados ficaram para mim claros e bem explicados, já que estou familiarizada com alguns deles. [...] Portanto, o texto é bem adequado aos meus conhecimentos anteriores, e com certeza proporcionou-me novos conhecimentos”.

Aluno 6 – O aluno 6 sugere a boa inteligibilidade do texto, mesmo com poucos pré-requisitos, como referido anteriormente. *“O texto, ao abordar os conceitos epistemológicos de Lakatos e Popper, é auto-suficiente, à medida que mesmo com o pouco conhecimento anterior que eu tinha acerca destas epistemologias, foi possível entender as ligações feitas no texto sobre o programa de pesquisa, nos termos de Lakatos, do Big Bang, e um de seus maiores rivais, o do*

universo estacionário. Ou, pelos menos, as ligações as quais o texto se propõe a fazer ficam claras”. Na seqüência, mostra como a epistemologia é pouco vista na graduação, sugerindo que as questões perscrutadas pela filosofia da ciência é de grande importância para a formação de cientistas e professores:

“É complicado tocar no tema epistemologia, e seu conhecimento prévio, para com os alunos mesmo de última fase do curso de Física, seja bacharelado ou licenciatura, pois na disciplina de Evolução dos Conceitos da Física é a primeira vez que esse tema é abordado. Não há nenhuma outra disciplina, ao menos obrigatória, onde são relevadas as contribuições de, principalmente, Kuhn, Popper, Lakatos e Feyerabend à filosofia da ciência e a como se desenvolve a ciência. Por isso, é complicado mesmo para nós, meros estudantes, responder à pergunta “o que é ciência?”. Nesse sentido, o texto aborda os pensadores Popper e Lakatos e tenta diferenciar para estes dois autores o que é entendido como conhecimento científico e conhecimento pseudo-científico. Acredito que a resposta para essa pergunta é de grande relevância para os futuros cientistas e professores da ciência, digamos assim. Já que aqueles são os que farão a ciência e estes serão os que vão professar a ciência, ou, pelo menos, tentar de alguma maneira significativa aos alunos, passar os conhecimentos científicos pra frente”.

A resposta deste aluno aponta para a insatisfação em relação à ausência destes conteúdos na graduação. Neste sentido, pesquisas que mostrem este retorno obtido com os alunos da própria graduação em física são capitais para que se mostre a necessidade de mais espaço nos currículos, ou, no mínimo, na formação de novos professores e cientistas, para a história e filosofia da ciência.

Apesar das objeções feitas pelo aluno 1 e também pelo aluno 3, a inteligibilidade geral do texto foi avaliada de forma positiva, como se pode evidenciar pelas respostas dos alunos 2, 4, 5 e 6. Lembrando, o aluno 1 se referiu à falta de clareza em relação às previsões da teoria do Big Bang, no caso o ruído cósmico de fundo. Como informado a este aluno, estes e outros pontos serão revistos no texto, ainda que uma compreensão mais profunda a respeito das sutilezas da teoria do Big Bang esteja fora do âmbito da proposta. Uma discussão mais pormenorizada sobre os estágios iniciais do universo em expansão, que descreve em detalhes a chamada etapa de desacoplamento, associada à origem do ruído cósmico de fundo, pode ser vista em Weinberg, 1987.

Sobre a função de servir como um registro de eventos primários usados na promoção de novos eventos, os resultados obtidos apontam para o sucesso deste objetivo. O aluno 5

sintetiza: “o texto é bem adequado aos meus conhecimentos anteriores, e com certeza proporcionou-me novos conhecimentos”.

Questão 3 - De acordo com Gowin, um dos principais objetivos da educação é propiciar ao aluno a obtenção de um *sentimento de significância*, isto é, um sentimento de que os conceitos e idéias principais foram bem compreendidos. Em relação a esse sentimento de compreensão, como você avalia a contribuição da unidade de ensino (texto e apresentação) para seu entendimento da atividade científica?

Aluno 1 – A aluno 1 foi bastante sucinto a este respeito, dizendo apenas que o texto deixou claro que a teoria do Big Bang “*é fonte de bastante trabalho de pesquisa [...] ainda hoje em dia*”, colocando em seguida que percebe em boa medida seu desenvolvimento de acordo com a epistemologia de Lakatos. Na entrevista, este aluno ainda colocou: “*acredito que o operar da ciência é algo um pouco mais complexo do que Lakatos e seus seguidores insistem em vender. Um exemplo prático é a alteração das medidas experimentais para "as contas darem certo" que freqüentemente vemos nas disciplinas de laboratório I,II,III,IV e Moderna. Como saberemos se existem ou não essas verdades inconvenientes também, usando termos de Lakatos, nos tais programas de pesquisa?*”. Há aqui uma alusão direta às hipóteses *ad-hoc* que, como lembrado ao aluno, realmente permitem manipulações relativamente arbitrárias nos programas de pesquisa. O que não significa que estes não tenham um maior compromisso com a objetividade. Apenas, que a livre criação do cientista pode ter (e tem) um importante papel na criação de teorias. Lembrando, ainda, será a progressão do programa que justificará (ou não) estas manipulações.

Aluno 2 – Este aluno comenta que o texto contribuiu para a percepção da atividade científica como sendo uma busca, a princípio, interminável de verdades, e que estas não são definitivas: “*O texto e sua apresentação contribuíram, de modo geral, para que eu compreenda a atividade científica como uma atividade numa busca eterna por respostas, que por muitas vezes não são atingidas. Uma atividade que não possui uma verdade absoluta, e sim verdades transitórias. Neste sentido o texto e sua apresentação contribuíram para uma sedimentação do que já vinha sendo demonstrado no decorrer das aulas desta disciplina, que a atividade científica possui uma dinâmica de buscas por conhecimentos através da construção de conceitos e verdades transitórias*”. Na entrevista, foi solicitado ao aluno que complementasse sua resposta, comentando sobre a idéia de transitoriedade. Colocou então que entende a

característica inconclusiva da ciência apenas como algo que não detém verdades terminantes. *“Quando escrevo transitórias, não quero dizer que o conceito está errado, mas que ele está sujeito a ser modificado, alterado, ou seja, não é uma verdade absoluta e inquestionável”*.

Aluno 3 – O aluno 3 voltou a comentar sua dificuldade com o texto, comentando em seguida que o mesmo só foi mais bem entendido com a aula expositiva. *“O que ajudou muito no entendimento [do texto] e sua finalidade foi a apresentação”*. Este aluno não deixou claro o que entendia da dinâmica da pesquisa científica. De qualquer modo, fica clara a importância do professor e a ajuda de uma apresentação sobre os assuntos abordados de forma textual para possíveis alunos que não tenham compreendido algumas passagens, e mesmo para o caso dos alunos que, por motivos quaisquer, não lêem o texto. Ao menos, consegue-se que também estes sejam contemplados com o essencial da atividade proposta.

Aluno 4 – Este aluno aponta como positiva a contribuição da unidade de ensino para sua compreensão da atividade científica, sugerindo que o texto permite ainda uma boa compreensão do programa da cosmologia a partir dos epistemólogos discutidos. *“Lakatos, assim como Feyerabend, é um pensador cuja filosofia não havia tido contado anterior. Como conhecia um pouco de Popper, algumas semelhanças imediatamente foram feitas, e isso fez com que o entendimento das idéias daquele fossem apropriadas. Porém, acredito que, mesmo que não conhecesse as idéias popperianas, o texto conduz muito claramente as explicações de Lakatos para determinadas etapas que envolveram/envolvem o programa de pesquisa da cosmologia”*. A respeito de outras abordagens filosóficas, o aluno 4 sugere que existe uma complementaridade entre as diferentes apreciações da atividade científica e, em relação ao texto, sugere que *“seria interessante comparar, por exemplo, a visão de Kuhn e Lakatos sobre essa etapa da pesquisa científica que envolve a cosmologia. Visar à comparação permite ao leitor notar que existem várias visões que tentam caracterizar a atividade científica, assim como a própria atividade científica constitui-se por visões coexistindo na mesma época”*.

Nas considerações finais teremos oportunidade de comentar mais sobre as potencialidades do texto, que certamente admitem acréscimos no sentido de contemplar mais pormenorizadamente outros epistemólogos. Foi comentado que a proposta original, no entanto, não tinha a finalidade de exaurir todos os pontos da epistemologia, e sim usar alguns de seus elementos como guia na compreensão de um episódio da pesquisa científica.

Aluno 5 – O aluno 5 começou comentando sobre os diferentes âmbitos que influenciam a ciência, que normalmente não estão presentes nos cursos científicos, e que o texto ajudou neste sentido. A atividade científica costuma ser resumida às suas técnicas, e muito pouco é falado sobre as matizes que tomam corpo para formar a própria ciência.

“O processo pelo qual a atividade científica desenvolve-se é complexo, pois engloba aspectos sociais, filosóficos, históricos e até mesmo pessoais, já que o cientista é um ser humano que vive em um momento histórico. Os conceitos epistemológicos ajudam a compreender o que distingue o conhecimento científico de outros tipos de conhecimento e o motivo de sua validade. Nesse sentido, essa unidade de ensino contribuiu de forma positiva, já que a cosmologia moderna foi usada como exemplo de todos esses aspectos da ciência”. Na entrevista, o aluno 5 comentou que, entre uma posição mais externalista, que atribui uma grande influência dos aspectos sócio-histórico-políticos na atividade científica, e uma mais internalista, que atribui os interesses da ciência às características internas à esta, ele prefere ficar em uma posição mais central, ainda que tendendo para o lado desta última. Mas, comentou, sem excluir as evidentes necessidades de gerência e subsídios externos, como financiamentos e relevância social. Em seguida, na continuação de sua resposta no questionário, mostra seu entendimento da atividade científica a partir da contribuição do texto:

“O exemplo da ‘disputa’ entre as diferentes teorias cosmológicas (Big Bang e suas rivais) evidenciou o que é importante num programa de pesquisa para que ele seja aceito na comunidade científica, e que, mesmo tendo um predomínio, outros programas podem correr paralelamente, por escolha pessoal de alguns cientistas. Além disso, a própria evolução da teoria do Big Bang mostra como uma teoria científica tem aspectos maleáveis, o que permite sua maior durabilidade. No entanto, aspectos principais que a caracterizam devem ser mantidos (núcleo firme), ou ela já não será a teoria do Big Bang. Outro aspecto importante da ciência cuja existência se mostra evidente no trabalho científico é a busca de resultados experimentais. Não foi porque o ruído cósmico de fundo, inicialmente, não apresentou a inhomogeneidade necessária à teoria do Big Bang que ela foi jogada no lixo e substituída. A busca de melhor aparato experimental, nesse caso, parece estar estritamente ligada à tentativa de comprovar uma teoria científica. Ou seja, a teoria pode muito bem impulsionar e induzir os experimentos”.

Aluno 6 – O aluno 6 foi contundente ao apontar como fundamental a contribuição do texto para sua compressão dos aspectos essenciais da epistemologia, e conseqüentemente da atividade científica:

“Eu possuo o livro A Lógica da Pesquisa Científica, de Popper, e, sinceramente, ao lê-lo não me senti bem, pois apesar de seu texto levar ao extremo as idéias de Popper sobre o que é ciência, e sobre como se estrutura a pesquisa científica, ele é muito denso e de difícil acesso. Isso me causava certo desconforto ao falar sobre epistemologia, como se fosse algo que eu seria incapaz de entender. Contudo, com o desenvolvimento da disciplina de Evolução e as discussões sobre empirismo e racionalismo e suas relações com a ciência, os conceitos da epistemologia e seu objeto de estudo foram ficando claros pra mim. Eu diria que esse texto que explora as teorias cosmológicas com base na epistemologia de Lakatos foi fundamental para que todo o conhecimento que estava à deriva na minha cabeça fosse organizado e devidamente alocado. Em outras palavras, foi um texto capaz de sintetizar de forma clara, porém simplificada, alguns elementos das teorias de Popper e Lakatos que, no meu caso, eram os elos que faltavam para interligar toda a corrente de conhecimentos que eu já tinha acerca da teoria do conhecimento”.

De um modo geral, as respostas apontam para o sentimento de significância pretendido pelo material, como as respostas da questão 1 também sugerem. Os alunos 2, 4, 5 e 6 explicitam, em suas respostas, um bom sentimento de compreensão em relação às formas de proceder da atividade científica, apontando como positiva a contribuição do texto neste sentido. O aluno 3 demonstrou uma reticência inicial a respeito, comentando que o que ajudou muito no entendimento do texto foi a apresentação. De fato, a proposta inicial, conforme discutido na teoria educacional de Bob Gowin, envolve uma relação entre aluno, material educativo e professor. Aqui, fica clara a importância do professor ao longo da unidade de ensino. Por mais que se cuide com a elaboração de um material educativo, como foi o caso com o texto e sua respectiva apresentação eletrônica, o professor continua a ocupar uma posição de grande relevância para a efetiva apreensão dos conteúdos trabalhados. E, justamente nos casos onde existem algumas deficiências de compreensão, seja por falta de requisitos ou falta de atenção adequada durante a leitura do texto, o professor passa a ocupar um papel central para o bom andamento da unidade de ensino.

Questão 4 - O texto elaborado sobre a cosmologia, além das preocupações didáticas referidas anteriormente, tem o objetivo de instigar o aluno a manter sua atenção e interesse ao longo de sua leitura. Comente em que medida o texto alcançou este objetivo.

Aluno 1 – O aluno 1 comentou que, em um primeiro momento, não há muito apelo à leitura, para além do tema em si, de cosmologia, que costuma normalmente despertar a curiosidade. Mas que é o conhecimento das sutilezas do texto que revela, em uma maior medida, esta curiosidade. *“Em termos estruturais, os tópicos do texto não despertaram muito a curiosidade. No entanto, a síntese e simplicidade geral mantiveram a atenção e o interesse”*.

Aluno 2 – Este aluno foi bastante objetivo, colocando apenas que *“no geral o texto foi cativante, ou seja, me chamou a atenção e me provocou a continuar a leitura. [...] Nesse sentido, acredito que o texto tenha atingido seu objetivo”*.

Aluno 3 – Em conformidade com a dificuldade já relatada por este aluno, nesta questão ele coloca que *“em certas partes do texto é atingido esse objetivo, mas em outras parece ficar um pouco distante. O texto em si é bastante cheio de conteúdo atual, só que poderia ter um enfoque mais simples de cosmologia e aos poucos ir construindo o resto do conhecimento”*. Este aluno foi fugidio, não deixando claro qual seu conhecimento anterior de física.

Aluno 4 – Este aluno faz um apontamento interessante em relação à curiosidade que o texto desperta, sugerindo que as perguntas não respondidas por este são, inclusive, um aspecto positivo. *“Julgo o texto muito interessante. Talvez, o interesse tenha surgido com as dúvidas na própria filosofia de Lakatos. No que diz respeito à cosmologia, o interesse é quase inevitável e se justifica por si mesmo. Antes de tudo, ficar com mais perguntas após a leitura do texto seria o essencial; perguntas que sejam referentes aos fundamentos da cosmologia e da filosofia”*.

Aluno 5 – Sempre objetivo em relação ao pretendido com a questão, este aluno se atém à estrutura do texto ao comentar sobre este objetivo. *“Os assuntos são pouco a pouco introduzidos ao leitor do texto, de maneira a facilitar a compreensão e criar a expectativa do que vem em seguida. A abordagem de conceitos epistemológicos por meio de exemplos históricos também é uma boa estratégia, pois a mescla entre assuntos filosóficos, históricos e físicos ajuda a descansar a mente de uma leitura muito conceitual de qualquer das três áreas,*

mantendo a mente ativa e aberta à compreensão dos assuntos do texto. É um texto bem estruturado, a considerar o objetivo de manter a atenção do leitor”.

Aluno 6 – O aluno 6 faz um interessante relato sobre o desenvolvimento do texto em relação ao objetivo de se manter a atenção do leitor, mostrando ainda que este texto complementa em boa medida outros que foram discutidos ao longo da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. Comenta ainda sobre as expectativas de se abordar o tema, e como estas foram significativamente alteradas com a efetiva leitura do texto.

“Primeiramente, ler o título do texto confesso que não foi nada motivador. Cosmologia? Bom, cosmologia é o tema mais batido de toda a ciência. Eu diria que quando alguém, seja cientista ou não, quer filosofar, basta tocar no tema origem do universo. Por isso, fui aproximadamente para a página 10, já que o texto tem mais de 30 páginas. Com isso, pensei estar poupando algum tempo de meras repetições (que sempre são comentadas) acerca do tema cosmologia. Ao me concentrar na leitura, notei que o texto não era simplesmente sobre cosmologia (a gente ignora a parte do título que fala “à luz dos elementos da epistemologia de Lakatos”). Mas ele fazia uma leitura crítica das teorias científicas e, de certa maneira, imparcial. E isso foi extremamente excitante. Pois a resposta à pergunta “o que é ciência?” sempre me motivou e pensei encontrar sua resposta naquele texto, à medida que se fazia uma argumentação, e uma guerra, entre as teorias da cosmologia. Talvez o texto não responda diretamente àquela pergunta, mas com certeza, aliado a todas as nossas discussões da disciplina de Evolução, nos ajuda muito nesse sentido. Isso, de minha parte, me fez ler o texto atenciosamente. Nesses termos, a leitura, somada aos outros textos de Evolução, torna-se cativante”.

As respostas apontam que, de modo geral, os tópicos do texto não despertam muito a atenção, mas que o quadro se inverte ao se começar efetivamente a leitura. Em um primeiro momento, pode-se conjecturar que esta impressão inicial deve-se ao tema “cosmologia”, como sugere o aluno 6 ao colocar que este “é o tema mais batido de toda a ciência”. Deste modo, pode se dar a impressão de que não haverá nada de novo, ainda que o aluno 4 coloque a este respeito que o “interesse é quase inevitável e se justifica por si mesmo”. Mas, positivamente, o texto se revela instigador na medida em que é conhecido. O aluno 5 comenta sobre a boa estrutura do texto, no sentido de manter a atenção do leitor, e o aluno 6 é ainda mais direto ao asseverar que “ele fazia uma leitura crítica das teorias científicas e, de certa maneira, imparcial. E isso foi extremamente excitante”. Com estes retornos em relação ao texto,

sugerindo que este em si é bastante interessante, mas só quando se adentra em suas linhas, já se pensam maneiras de melhorar a estrutura de títulos, de modo a instigar um pouco mais sua leitura. Não obstante, percebe-se que sua leitura, que se acredita ser o essencial, foi muito bem vinda pelos alunos.

Questão 5 - De um modo geral, como foi sua receptividade em relação ao texto e sua apresentação? Para uma futura versão do texto, quais elementos você considera que poderiam ser melhorados, acrescidos ou alterados? Comente.

Aluno 1 – Este aluno coloca que o texto e a proposta, no geral, foram acessíveis e interessantes. *“Para quem não sabe nada de cosmologia como eu, o texto foi bastante informativo”*. No entanto, apontou que a apresentação foi um pouco tendenciosa, ao “conduzir” as conclusões a favor da teoria do Big Bang. *“Creio que a apresentação poderia ser mais neutra (como o próprio texto). Isso ajuda as pessoas a refletirem e tomarem suas decisões e posicionamentos de forma menos tendenciosa”*. Comentaremos na seqüência sobre esta eventual tendenciosidade. Em função de sua resposta, foi perguntado na entrevista a este aluno se ele detinha alguma visão pessoal sobre a origem do universo, mais propriamente se ele era um criacionista ou se compartilhava da imagem científica em relação à esta origem:

“Tenho uma posição bastante definida a esse respeito: a dicotomização excessiva pode incorrer ao erro. Antes de auto denominar-se cientista ou religioso, qualquer pessoa nunca deixará de ser humano. Partindo desse pressuposto, entendo que a complexidade do ser humano compreende ambas as facetas físicas e metafísicas. Seja científico, religioso ou de qualquer outra natureza, todo o conhecimento produzido e acumulado pela humanidade jamais deixará de ser produto da interação de pessoas inseridas num contexto social-terreno-cultural. Quanto à origem do universo, penso que todas as explicações são válidas na medida da compreensão e do significado que cada um atribui às palavras, aos símbolos e aos gestos”. Apesar dos esforços, percebe-se uma intenção fugidia a este questionamento.

Aluno 2 – O aluno 2 avalia de forma bastante positiva a proposta geral, trazendo a sugestão de se aumentar as discussões a respeito.

“A apresentação foi excelente, isto pois, ela me manteve em permanente atenção ao conteúdo apresentado. Como não havia tido contato anterior com esse conteúdo nesse nível, esta apresentação foi para mim muito importante e interessante em minha formação de futuro

professor. A única ressalva seria ter um pouco de tempo para um bate papo (discussão) ao final da apresentação, para que fossem tiradas dúvidas, comentadas algumas curiosidades não abordadas na apresentação, mas que fossem do conhecimento de algum aluno”. Este sentimento também é compartilhado pelo pesquisador, no sentido de se querer passar “horas e horas” conversando sobre os assuntos trabalhados.

Aluno 3 – Novamente, este aluno comentou sobre sua dificuldade em se pensar o tema. *“Como já disse anteriormente, ao meu modo de ver o texto foi dificultoso, no sentido de comentar um pouco mais as idéias principais, para alguém que não entende nada de física consiga entender ele”. Coloca ainda que no texto “poderia ser utilizada uma linguagem um pouco mais coloquial”. No entanto, comenta que “a apresentação foi muito boa, clara, concisa, só poderia ter sido um pouco mais pausada”.*

Aluno 4 – O aluno 4, após colocar que a unidade de ensino foi interessante e *“quase inevitável”* neste sentido, comenta que seria pertinente abordar outros tópicos contemporâneos sobre o assunto: *“como não os conheço nem mesmo superficialmente, seria interessante discutir as teorias recentes que se têm sobre a origem do universo, tais como supercordas, dimensões paralelas que se colidem, etc., para enfatizar a questão de um programa de pesquisa progressivo e outro regressivo”.* Este é um desafio ainda maior, que não está fora dos planos do pesquisador.

Aluno 5 – Este aluno volta a comentar sobre a clareza do texto, alertando para a possibilidade de não haver o mesmo sentimento em quem não esteja familiarizado com alguns conceitos específicos. *“Como eu disse anteriormente, os conhecimentos que eu já tinha de física e epistemologia foram suficientes para uma leitura, a meu ver, satisfatória do texto. No entanto, já cursei disciplinas de Astrofísica, enquanto que outros alunos não. Por isso, os conceitos de cosmologia ficaram claros para mim, mas não sei se o mesmo ocorre para os que não tiveram contato com o assunto antes. Já os conceitos epistemológicos estão bem acessíveis, pois meu único contato com epistemologia e filosofia da ciência foi nesse semestre, e mesmo assim consegui acompanhar bem o desenvolvimento do texto”.* Na entrevista, este aluno comentou que também gostaria de aprofundar o assunto, dizendo, inclusive, que não se importaria nem um pouco com o crescimento do texto neste sentido, que leria com prazer.

Aluno 6 – O aluno 6 comenta sobre a pouca abertura do curso de física em relação aos assuntos discutidos, e aponta que seria interessante discutir sobre outros epistemólogos. Ainda, sugere que gostaria de investigar mais os aspectos externos à ciência que influenciam no seu operar, conjecturando, inclusive, que estes aspectos poderiam também explicar a preferência por um ou outro programa.

“Como durante nossa jornada no curso de Física não somos introduzidos, em nenhum momento obrigatoriamente, ao conteúdo da teoria do conhecimento, ou filosofia da ciência, seria interessante, durante a disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, uma abordagem de vários filósofos da ciência (como os já citados anteriormente). O problema é que, devido ao pouco tempo que temos no semestre, uma abordagem mais geral desses filósofos acabaria tirando o detalhamento das teorias de apenas dois deles (Popper e Lakatos). Seria interessante fazer uma análise, explicitando, por exemplo, a evolução histórica da ciência, ao mesmo tempo em que se faz uma briga entre os programas de pesquisa, baseada nas idéias de Lakatos e Popper. Além disso, acho que dar uma maior atenção aos fatores político-econômico-sociais e burocráticos da ciência, como as questões de financiamento, seriam interessante e poderiam justificar, por exemplo, o pequeno avanço na teoria do universo estacionário defendida por Arp. Além desses fatores, o texto encontra-se bem situado e contextualizado dentro da disciplina como um todo, sendo de fácil discussão para pessoas que já tiveram algum contato com epistemologia, mesmo que apenas durante a disciplina considerada”.

Na entrevista, o aluno 6 comentou que a proposta de ser ler o texto antes da apresentação foi boa, ainda que se corra o risco de alguns alunos não lerem o texto, já que o mesmo será apresentado. Em seguida, comenta como a proposta foi proveitosa para ele, que leu o texto e acompanhou a apresentação. Ainda na entrevista, este aluno deu uma sugestão:

“Lembro do jeito que o [Professor da disciplina] fez uma discussão sobre quem foi Galileu que foi muito proveitosa. Nesse sentido, seria interessante sugerir uma discussão parecida [sobre a unidade de ensino proposta] em sala de aula. Ao invés de expor que a Relatividade é um programa de pesquisa mais abrangente, por isso é o aceito, colocar que os alunos defendam, com base nas idéias de Popper e Lakatos (e talvez outros) qual seria a teoria mais abrangente, ou o programa de pesquisa vigente e por quê. A sala poderia ser separada em grupos e é dado um tempo aos grupos para que fundamentem sua argumentação com base em um pensador (um pra cada grupo) previamente definido”. Ou seja, este aluno parte da (factível) premissa de que o aluno possa argumentar, com o que já sabe a respeito, a respeito da progressão e regressão de programas de pesquisa, além de discutir outros epistemólogos.

As respostas apontam para uma boa recepção da atividade como um todo, sendo que alguns alunos (2, 4 e 5) sugeriram, ainda, um crescimento na proposta geral no sentido de abarcar outras teorias, outros epistemólogos, e mais debates a respeito. O aluno 1 comentou que a apresentação poderia ser mais neutra, ainda que esta tenha sido, em boa medida, um reflexo do próprio texto. De fato, seria complicado estabelecer uma neutralidade no sentido de manter as duas teorias, Big Bang e Universo Estacionário, em um mesmo plano de relevância, ainda que ambas tenham tido este momento, embora a teoria do Big Bang tenha se tornado o programa progressivo.

Talvez seja interessante apontar que, a partir da racionalidade desejada para as metodologias da ciência, um programa não se torna progressivo porque os cientistas assim o querem, como se fossem simplesmente votar por uma ou outra condição. Pelo contrário, Lakatos deixa claro que elementos de racionalidade devem estar presentes no processo, que permitam uma escolha objetiva em direção ao programa com características progressivas, em detrimento de outros que não conseguem o mesmo. Deste modo, acredita-se que, ao analisar a história da cosmologia moderna com olhos lakatianos (ou racionais), seja inevitável uma aparente “tendenciosidade” a favor da teoria do Big Bang, embora isto seja apenas o reflexo natural da análise de um programa progressivo. Entrementes, evidencia-se também a possibilidade de novas descobertas, teóricas e experimentais, lançarem mais luz sobre nosso conhecimento referente à cosmologia, uma vez que um programa nunca encerra definitivamente a busca por novas questões, ainda que possa se manter por um tempo indefinido – ou o melhor seria dizer *imprevisível* – como um poderoso paradigma ou, como preferiria Lakatos, com um status de monopólio.

A soma das respostas dadas pelo aluno 3 parece evidenciar uma falta de requisitos para se trabalhar adequadamente o texto que, de fato, visa um leitor já pré-ocupado com algumas de suas questões. Mas é importante frisar que o texto ainda tem uma preocupação de ser suficientemente didático para qualquer estudante interessado nas questões trabalhadas. A apresentação em sala procurou lidar com esta didática, de modo a clarificar o quanto possível os prováveis emaranhados de uma leitura desatenta. Lembrando, o próprio aluno 3 comentou sobre a ajuda da apresentação neste sentido, mostrando a relevância da atuação do professor ao longo do processo.

Finalizando, o resultado geral do retorno obtido a partir das respostas dos alunos aponta para a boa potencialidade do texto produzido, que buscou um maior compromisso com a natureza da própria atividade científica como um todo. Seus objetivos, baseados nas funções

pretendidas para um material educativo, segundo Bob Gowin, foram em boa medida alcançados, a partir da preocupação em se manter inteligível, informativo, e potencialmente gerador de novos conhecimentos. O aluno 6 sintetiza esta idéia, ao colocar que o *“texto encontra-se bem situado e contextualizado dentro da disciplina como um todo, sendo de fácil discussão para pessoas que já tiveram algum contato com epistemologia, mesmo que apenas durante a disciplina considerada”*.

7.0 – Considerações finais

A ciência, ao mesmo tempo em que costuma ser vista como o bastião da racionalidade, abarca importantes características vilipendiadas no processo de divulgação de suas idéias e mesmo no ensino de suas disciplinas. As concepções errôneas, ou visões distorcidas a respeito da atividade científica, estão em um plano de evidência que torna difícil a recuperação (ou criação) do verdadeiro “espírito científico” no ensino de ciências. Quem procurou pensar pausadamente sobre a atividade científica tem a necessidade quase proselitista de levar, para o maior número possível de pessoas, suas impressões. O modo pelo qual a ciência está estruturada em relação ao seu ensino, onde suas técnicas e resultados parecem, quase que completamente, a definir, pode ser o meio mais fácil e imediato de se ensinar ciência. Mas não nos enganemos. “Um conceito da ciência extraído das suas páginas não tem maiores probabilidades de a representar corretamente do que uma imagem dum cultura nacional extraída de um folheto turístico ou dum manual de linguagem” (Kuhn, 1970, p. 19).

É interessante constatar como um estudante de física, praticamente no seu último ano de curso, pode se surpreender como sabe muito de ciência (seus resultados), ao mesmo tempo em que parece não saber como ela funciona. E, ao contrário do que se poderia esperar, uma análise mais crítica da natureza da ciência acaba estimulando o aluno em relação aos seus modos de operar, como vimos em algumas colocações dos alunos pesquisados.

De acordo com a citação acima, Kuhn reconhece que o que se aprende na educação científica está distante de representar um conhecimento seguro em relação à sua correta representação. Não obstante, como já visto no presente trabalho, este autor sugere que uma educação científica voltada à explicitação de sua “correta representação” poderia “minar” a confiança do aluno na ciência. Poderíamos explicar esta aparente contradição colocando que, embora a educação científica tradicional não ilustre corretamente o verdadeiro operar da ciência, ainda assim ela permite uma geração de novos cientistas que acabam fazendo com que a ciência funcione (como também vimos no trabalho). O importante talvez seja deixarmos claro que, em uma proposta de educação científica com mais abertura, para um público maior que não apenas os cientistas, não deveríamos relevar em demasia as advertências de Kuhn. E mesmo nos casos dos cientistas em formação, onde o que supostamente interessa são os resultados obtidos com a ciência, um ensino compromissado com sua natureza pode gerar uma postura crítica saudável em relação aos modos de produção de conhecimento, sem levar

o aluno para uma posição a-científica. Pelo menos é o que se espera de uma educação bem formulada e conduzida.

O que incomoda atualmente os pesquisadores e professores de ciências é que *somente* os resultados racionais e *a posteriori* justificados são transmitidos pela educação. Como decorrência, temos os discursos empiricistas que “ensinam” aos alunos como proceder de forma científica, unicamente através de observações e supostas explicações do que é observado. Sem uma teoria por de trás, sem uma heurística que lhes dê um real significado. Apenas um conjunto de “fatos” sem compromisso maior com um arcabouço explicativo que busque compreender a natureza a tal ponto que ela possa ser *prevista* da forma que é.

Com Lakatos verifica-se que uma das características mais marcantes da ciência é justamente sua capacidade de antever novos fenômenos. É como se, ou exatamente se, os constructos científicos apreendessem de tal modo a realidade que passasse a ser possível colocar eventos temporalmente distintos, no passado, presente e futuro, em um gráfico que mostra estas condições de forma concomitante. Ou, “é como se o instrumento formal [a matemática] tivesse uma relação direta e privilegiada com a realidade material, como se esta realidade procurasse realmente seguir um traçado racional preordenado” (Selleri, 1990, p. 29). A sistematização de Lakatos, neste sentido, atua de modo a dar uma estrutura heurística à atividade científica baseada neste “traçado racional preordenado”.

É interessante que a idéia de teorização e previsibilidade, como importante característica da atividade científica, pode ser encontrada em físicos do mais alto quilate, como é o caso de Planck, que disse que “pode observar-se que o objetivo principal da ciência física não é fornecer descrições, mas a formulação de leis que governem os fenômenos e a aplicação destas leis para a descoberta de novos fenômenos” (Planck, citado em Selleri, 1990, p. 19). E é digno de nota lembrar e frisar que foram os sucessos preditivos da relatividade einsteniana e, particularmente, da mecânica quântica, que tornaram estas teorias os mais altos representantes da potencialidade científica.

Embora absolutamente nenhuma teoria, ou programa de pesquisa, seja completa e perfeita a ponto de nos garantir, inequivocadamente, a previsão de todos os fenômenos possíveis, a ciência busca exatamente isso. É claro, sabemos agora que esta busca é realizada por cientistas e suas idiossincrasias que, embora possam proceder de uma forma que busca o racional, não atuam em perfeita consonância com a racionalidade preconizada. E os fundamentos da epistemologia de Lakatos mostram como, ainda assim, podemos associar a evolução da ciência com um conjunto de preceitos racionais que, se não atuam diretamente no fazer da ciência, atuam em sua justificação e reconstrução histórica. E, talvez o mais

importante de tudo, a epistemologia de Lakatos lembra como a ciência, assim como disse Planck, tem uma função essencialmente teórica e preditiva, cujos elementos previstos, quando corroborados, dão suporte direto à caracterização de um programa de pesquisa como sendo progressivo, metodológica e objetivamente melhor que seus antecessores. Gill Pérez et. al. (2001) comenta como estes elementos da produção do conhecimento científico são muitas vezes pouco conhecidos mesmo por professores, e percebidos de maneira inadequada, quando não totalmente equivocada. Segundo este autor, alguns elementos são altamente desejáveis para a efetiva compreensão desta produção de conhecimento, como: a) a recusa de *um* Método Científico, em maiúsculas; b) a recusa de um empirismo que concebe os conhecimentos como resultados da inferência indutiva a partir de “dados puros”; c) o destacamento do papel atribuído pela investigação ao pensamento divergente; d) a procura de coerência global; e, finalmente, e) a compreensão do caráter social do desenvolvimento científico (2001, p. 136).

Deveria ser fonte de muita preocupação de todos os cientistas e educadores em ciência, portanto, quando se percebe que não é isto o que é transmitido, normalmente, aos novos alunos.

Esta concepção de método científico [empirista e ateorética], bastante comum, dentro e fora da escola, é epistemologicamente equivocada, isto é, não é assim que se produz o conhecimento científico e, em consequência, didaticamente errada, quer dizer, não se deve ensinar ciência dessa maneira (Moreira e Ostermann, 1993, p. 108).

Espera-se que a presente pesquisa contribua com outras propostas, no sentido de ligar a ciência à cultura humana mais geral. Não de modo a diminuir seu caráter objetivo e assintoticamente melhor explicativo e preditivo, mas de modo a evidenciar que a própria cultura humana possui vieses intrinsecamente capazes de estruturar um conjunto de conhecimentos com um alto poder de exprimir a natureza. Mostrar que a ciência, longe de ser algo excludente à cultura, é justamente o grau onde esta se torna sinceramente compromissada com a explicação objetiva da realidade. Mas, e em um primeiro momento isto pode soar algo contraditório, este grau de explicação não é, como se costuma perpetuar inadvertidamente, uma seara de pleno acordo e metodologias rígidas e infalíveis. É, ao contrário, um rico campo de disputas intelectuais onde não há vitória definitiva de nenhum lado envolvido na batalha, apenas a vitória de um ou outro combate. Não obstante, sempre há um vencedor: o conhecimento. Pelas metáforas empregadas aqui, percebe-se como uma educação científica de qualidade tem muito para relevar e escolher, uma vez que não se pretende passar aos alunos a

idéia de uma ciência permeada apenas por subjetividades e sem maiores critérios metodológicos, mas sim a idéia de uma ciência que avança *apesar* destes.

Os vários modos de se pensar *a* física, por exemplo, refletem os vários modos de pensar *dos* físicos e filósofos, razão pelo qual o conhecimento minimamente detido sobre as idéias destes, e mesmo sobre estes, pode revelar como este labirinto de pensamentos é, não apenas parte importante da atividade científica, como *é* a própria atividade científica.

Quando se passa dos conteúdos especificamente técnicos, onde a concordância é maior, aos mais conceituais, ou aos de estratégia, vê-se que a física parece cada vez mais um labirinto de filosofias, de linhas divergentes, de dificuldades e de contrastes. É preciso desenvolver uma compreensão da física à altura dos tempos e uma crítica englobante do labirinto em que fomos apanhados (Selleri, 1990, p. 28).

Até quando estaremos dispostos a continuar com uma educação voltada essencialmente para os resultados obtidos pela ciência e não os modos pelos quais estes são obtidos? Até o ponto onde percebermos que praticamente *todos* os alunos das disciplinas científicas achem que ciência é feita com uma prancheta de anotações nas mãos e descobertas fortuitas?⁴²

Depois das análises feitas por nomes como Kuhn, Lakatos, Popper, Feyerabend, e mesmo por grandes nomes da ciência como Planck, Einstein, Bohr e Heisenberg, isto somado às análises dos vários (mas ainda poucos) autores compromissados com o ensino de uma ciência aportado nas considerações de todos estes nomes referidos, acredita-se estar em um tempo propício de reformulação e implementação de um ensino que englobe o que se efetivamente descobriu sobre os modos de proceder da ciência e, fundamentalmente, os modos de se ensinar ciência.

Com este propósito, a presente pesquisa procurou oferecer, aos alunos da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, uma proposta de ensino compromissada com estes conhecimentos. A dinâmica da atividade científica segundo os elementos da epistemologia de Lakatos se mostrou potencialmente útil na análise da progressão da teoria do Big Bang, e certamente propostas semelhantes poderão ser feitas em relação a vários outros episódios da ciência. A abordagem realizada, privilegiando-se o processo, e não o resultado, foi bem acolhida pelos alunos em geral, e despertou o interesse de muitos destes para a história e filosofia da ciência, assuntos pouco discutidos em sua graduação. Os alunos que compuseram a amostra demonstraram que obtiveram um sentimento de importância em relação a estes aspectos na educação, seja do cientista ou do professor em formação. Entre outros, colocaram

⁴² Infelizmente, é o que parece já ter acontecido com a maioria dos estudantes.

que a história e filosofia da ciência podem contextualizar, desconstruir imagens inadequadas, significar conceitos, motivar, facilitar a compreensão, perceber os modos pelos quais um conhecimento é validado, e entender porque a ciência estuda o que estuda nos dias atuais. Conforme o aluno 5: *“O estudo da história e da filosofia da ciência é importante para a compreensão da instituição científica, de como se faz ciência e qual o objetivo do trabalho científico”*.

Em relação à inteligibilidade do texto, os alunos se pronunciaram positivamente, ainda que com algumas ressalvas pontuais. Colocaram que a abordagem foi acessível, com linguagem adequada, e que o texto é auto-suficiente para a compreensão dos elementos básicos da epistemologia de Lakatos, como se pode ver resumido na colocação do aluno 4: *“o texto traz de maneira bem interessante a mistura entre a evolução dos conceitos e a filosofia da ciência, tal que auxiliam, ao longo do texto, o leitor a compreender ambas. Esse auxílio existe porque o vínculo é direto, o que resulta no diálogo claro entre filosofia e ciência”*. Entre as objeções, a mais relevante se refere a conceitos mais específicos da cosmologia, como a previsão do ruído cósmico de fundo e a interpretação de alguns gráficos. Neste sentido, algumas alterações já estão previstas no texto com o objetivo de melhor trabalhar estes conceitos básicos, ainda que, naturalmente, questões mais profundas da física sejam de difícil tratamento em um texto com a atual proposta.

Além de inteligível, o texto também se propunha a ter uma estrutura potencialmente motivadora à leitura do mesmo. Os alunos 1 e 3 foram comedidos a este respeito, enquanto que o restante classificou o texto como muito interessante. O aluno 6 foi o mais enfático a este respeito, colocando inclusive que sua leitura foi muito excitante ao perceber o tipo de encaminhamento que era dado, pelo texto, às questões históricas e filosóficas.

A contribuição da unidade de ensino para a compreensão da atividade científica se mostrou positiva, reiterando-se algumas respostas referentes à primeira questão. Mesmo com a posição negativa do aluno 3, houve, ainda neste caso, uma importante consideração da importância da apresentação neste sentido, que tinha como um de seus objetivos a melhor discussão e possível clarificação dos elementos contidos no texto. Os demais alunos se manifestaram positivamente a respeito da contribuição do texto para um sentimento de significância em relação à atividade científica, como sintetiza o aluno 6: *“Eu diria que esse texto que explora as teorias cosmológicas com base na epistemologia de Lakatos foi fundamental para que todo o conhecimento que estava à deriva na minha cabeça fosse organizado e devidamente alocado”*.

Sobre a aceitação geral da proposta, houve um retorno positivo em relação ao tema, e à apresentação realizada em sala. O aluno 2 coloca que “*a apresentação foi excelente, isto pois, ela me manteve em permanente atenção ao conteúdo apresentado*”, mostrando, mais uma vez, a importância do professor em uma relação didática. Os alunos 2, 4, 5 e 6 comentaram sobre a possibilidade de contemplar ainda mais teorias a respeito da cosmologia, assim como a abordagem de mais epistemólogos.

De um modo geral, foi obtido um quadro animador em relação à unidade de ensino, com um importante retorno em relação à sua aceitação, e importantes incentivos para se manter a proposta. Outros professores poderão utilizar o material produzido nesta pesquisa, e neste sentido a atuação do professor pesquisador é de suma importância. Cabe a ele fazer com que os resultados obtidos contribuam não só com a estante da biblioteca, como também com o efetivo usufruto de suas considerações.

Entre as indicações possíveis para a continuação deste trabalho, destaca-se a possibilidade de ele ser reformulado para sua aplicação no ensino médio, onde prementes necessidades de inserção da física moderna nas escolas tornam seu uso uma proposta potencialmente fértil e interessante aos alunos. O pesquisador da presente proposta já está com versões do texto principal sendo trabalhadas, uma vez que, além de servir à formação de professores e cientistas, um material educativo elaborado neste nível pode certamente ser adaptado para atingir, também, públicos mais variados. Não obstante, é claro que a preocupação com a formação dos profissionais que irão trabalhar diretamente com a ciência e seu ensino, é uma importante prioridade no sentido de fazer, tanto quanto possível, que toda produção acadêmica realizada atinja o maior número possível de pessoas.

Naturalmente, e é o caso deste pesquisador, que também é professor da rede pública e privada de ensino, deseja-se que os esforços para uma educação científica de qualidade atuem em diferentes frentes, da formação de professores e cientistas à educação básica geral. Para isto, é claro que o pesquisador deve se valer de sua posição como professor, e mesmo de gerenciador ou influente nas questões político-pedagógicas da rede de ensino. Como coloca Delizoicov (2005, p. 375), trata-se de possibilitar que “ele [o professor] procure caminhos que dêem condições de um retorno efetivo aos resultados de pesquisa para o âmbito da educação promovida por redes públicas de ensino”.

O saudoso Carl Sagan, em seu livro “O Mundo Assombrado Pelos Demônios” (1996), detratou os vários tipos de pensamentos a-científicos que parecem inundar nossa cultura. Longe de vivermos em uma época de razão, estamos imersos em uma grande quantidade de discursos altamente subjetivos, quando não místicos e mitológicos. Atualmente, o zoólogo

evolucionista Richard Dawkins, professor aposentado da Universidade de Oxford, tem se lançado em uma caça às bruxas com uma coragem e dedicação exemplares. E uma das constatações mais alarmantes que ele freqüentemente torna explícita é a generalizada falta de conhecimento das bases e, principalmente, das formas de operar da ciência por parte das pessoas, entre estas muitos professores de ciências! (Dawkins, 2008).

Atentar para uma educação científica que aproxime o aluno das prementes questões abordadas na presente pesquisa é, como visto nas respostas dos graduandos participantes desta, um caminho exequível, motivador e otimizador para o estudo da ciência e suas formas de operar. E isto sem abdicar de um ensino que contemple discussões a respeito das próprias pessoas envolvidas na atividade científica, juntamente com análises objetivas de como a ciência se desenvolve, como foi o caso da proposta de se trabalhar com a epistemologia de Lakatos. O aluno 5 mostrou sua impressão neste sentido: *“Ao invés de destruir a imagem da ciência, mostrar que os cientistas têm essas concepções [filosóficas e pessoais] e que elas influenciam seu trabalho, aproxima-os dos alunos, que passam a vê-los como seres humanos, e não como mentes brilhantes inalcançáveis. Assim, mais alunos podem se interessar pela carreira, pois verão que ninguém precisa ser sobre-humano para ser cientista”*.

Por todos os problemas que atualmente enfrentamos, e por todos aqueles que teremos ainda que enfrentar, poderíamos, ao menos, minimizar aqueles que podem ser tratados sem apelos a quimeras e panacéias. Os resultados desta pesquisa e o posterior usufruto de suas considerações, juntamente com o engajamento de professores cada vez mais bem formados para levar adiante toda esta discussão, apontam para uma potencial e crescente resolução dos problemas relacionados às falsas impressões em relação à ciência. Certamente, muito ainda há para ser feito. Várias outras pesquisas serão necessárias, várias outras propostas de materiais educativos deverão ser engendradas, várias outras atividades de ensino compromissadas com a natureza da ciência deverão ser levadas adiante. Mas os resultados obtidos nesta pesquisa sugerem que talvez já tenhamos o fio de Ariadne...

Referências bibliográficas

ABRANTES, Paulo C. C. **Kuhn e a noção de ‘exemplar’**. Revista Princípia, v. 2(1), pp.61-102, junho, 1998. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.unb.br/ih/fil/pcabrant/pcabrant/artigos/Kuhn.PDF>. Acesso em 10 de junho de 2009.

ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; PAIXÃO, M.; ACEVEDO, P.; OLIVA, J. M.; MANASSERO, M. A. **Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino das ciências**. Ciência & Educação, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.

AL-KHALILI, J. **Lost Horizons: The Big Bang**. [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2008.

ANSWERS.COM. **Redshift**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.answers.com/topic/redshift>. Acesso em 10 de junho de 2008.

ARP, Halton. **O Universo Vermelho**. São Paulo: Perspectiva, 2001.

ARP, Halton. **Atlas of Peculiar Galaxies**. Pasadena: Caltech, 1966.

ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D. **History of 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson**. Apeiron, vol. 2, Nr. 3, July 1995, p. 79-84.

ASTRONOMY EXERCISE SERIES. **Images**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.astroex.org/english/exercise7/images>. Acesso em: 9 de junho de 2008.

BENNETT, C. L.; HINSHAW, G. F.; PAGE, L. **Uma nova cartografia**. Scientific American, n. 07, dez. 2002, pg. 38-49.

BERGMANN, T. S.; BARBOSA, F. K. B.; NEMMEN, R. S. **Buracos Negros**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/bn/index.htm#indice>. Acesso em 09 de novembro de 2009.

BOGDAN, R. & BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto, 2003.

BROUSSEAU, G. **Fondementes et méthodes de la didactique des mathématiques**. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*. v. 7, n. 2, p. 33-115. Grenoble 1986.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. **Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade”**. Alexandria, v.1, n.1, p. 27-49, mar.2008.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**. Buenos Aires: Aique, 1997

CONSELICE, C. J. **A mão invisível do Universo**. Scientific American, n. 58, mar. 2007, p. 35-41.

COX, Brian. **The Big Bang Machine**. [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2008.

DAWKINS, Richard. **The Genius of Charles Darwin**. [Filme-vídeo]. BBC, British Broadcasting Corporation, 2008.

DELIZOICOV, D. **Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21; p. 145-175, ago. 2004.

DELIZOICOV, D. **Resultados da pesquisa em ensino de ciências: comunicação ou extensão?** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 3: p. 364-378, dez. 2005.

ELECTRIC-COSMOS.ORG. **NGC7319quasar2**. Disponível na Internet via WWW. URL: www.electric-cosmos.org/NGC7319quasar2.jpg. Acesso em 11 de junho de 2008.

ESA, European Space Agency. **Planck**. Página oficial da missão Planck. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.esa.int/SPECIALS/Planck/index.html>. Acesso em 25 de maio de 2009.

FERNÁNDEZ, I.; GIL-PÉREZ, D.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. **Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza**. Enseñanza de las Ciencias, 2002, 20 (3), 477-488.

FLECK, L. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza Universidad, 1986.

FREINET, C. **Pedagogia do bom-senso**. São Paulo: Martins Fontes, 1985.

FREIRE Jr., O. **A relevância da Filosofia e da História das Ciências para a formação dos professores de ciências**. In: Waldomiro José da Silva Filho. (Org.). Epistemologia e Ensino de Ciências. Salvador: Arcadia, 2002, v. , p. 13-30.

FUTURA SCIENCES. **Penzias, Wilson, COBE, WMAP**. Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.futura-sciences.com/galerie_photos/data/539/medium/8606Penzias_Wilson_COBE_WMAP.jpg. Acesso em 21 de julho de 2008.

GAGLIARDI, R. **Cómo utilizar la historia de las ciencias en la enseñanza de las ciencias**. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3), 291-296.

GIL PÉREZ, D. et. al. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. Revista Ciência & Educação, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

GOWIN, B. D. **Educating**. New York: Cornell University Press, 1981.

GREENE, B. **O Universo Elegante - Supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva**. Companhia das Letras, São Paulo, 2001.

- GRIBBIN, John R. **No início: antes e depois do Big Bang**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- HOLTON, G. **A imaginação científica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.
- HU, W.; WHITE, M. **Sinfonia cósmica**. *Scientific American*, n. 22, mar. 2004, p. 46-57.
- HYPERPHYSICS. **The 3K Cosmic Background Radiation**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/bkg3k.html>.
- IF.UFRGS. **A Lei de Hubble e a expansão do Universo**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo2.html>. Acesso em: 10 de junho de 2008.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1970.
- KUHN, T. S. **A função do dogma na investigação científica**. In: *A Crítica da Ciência*. Rio de Janeiro: Zahar, 1979.
- LABURÚ, C. E. **Análise de situações de controvérsias e conflitos cognitivos através de uma leitura lakatiana**. *Investigações em Ensino de Ciências*, V8(1), pp. 7-30, 2003.
- LABURÚ, C. E. ; ARRUDA, S. M.; NARDI, R. **Os Programas de Lakatos: uma leitura para o entendimento da Construção do Conhecimento em Sala de Aula em Situações de Contradição e Controvérsia**. *Ciência e Educação*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 23-38, 1998.
- LABURÚ, C. E. & CARVALHO, M. **Educação Científica – Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico**. Eduel - Editora da Universidade Estadual de Londrina, Londrina (2005).
- LAKATOS, I. **O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica**. In: I. Lakatos; A Musgrave (Org.). *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*. São Paulo: Cultrix, EDUSP, p. 109-243. 1979.
- LAKATOS, I. **The methodology of scientific research programmes**. New York: Cambridge University Press, 1978.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 1985.
- LINEWEAVER, C. H.; DAVIS, T. **Equívocos sobre o Big Bang**. *Scientific American*, n. 35, abr. 2005, p. 32-40.
- LONGAIR, M. S. **Theoretical concepts in physics**. New York: Cambridge University Press, 1984.
- LOPES, A. R. C. **Bachelard: o filósofo da desilusão**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13,n3: p.248-273, dez.1996.
- LÜDKE, M., ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R. de A. **Sobre o papel da história da ciência no ensino.** Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência (9): 3-5, 1990.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. **O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de história e epistemologia da física para futuros professores de física.** Investigações em Ensino de Ciências, V12(1), pp.7-54, 2007.

MATTHEWS, M. R. **História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 12, n. 3, p. 164-214, dez. 1995.

MAZZOTTI, A. J. A. e GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências sociais.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

MEYERS, R. **Universe: the cosmology quest.** [Filme-vídeo]. Floating World Films, 2004.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa em ensino: o vê epistemológico de Gowin.** São Paulo: EPU, 1990.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal.** Artigo em página pessoal, 2003. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Pesquisa.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2009.

MOREIRA, M. A. **A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área.** Investigações em ensino de ciências, 2002 (1). IFURGS, Porto Alegre. Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n1/v7_n1_a1.html. Acesso em: 18 de setembro de 2008.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Ed. Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Sobre o ensino do método científico.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.10, n.2: p.108-117, ago.1993.

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T.; OSTERMANN, F. **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, v. 29, n. 1, p. 127-134, 2007.

MORTIMER, E. F. **Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos?** Investigações em Ensino de Ciências, V1(1), pp.20-39, 1996.

OECD Programme for International Student Assessment (PISA). **PISA 2006 results.** Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.pisa.oecd.org>. Acesso em 02 de outubro de 2008.

OLIVEIRA, B. J.; JUNIOR, Olival F. **Uma conversa com Gerald Holton.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, p. 315-328, dez. 2006.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5 (1), p. 23-48, 2000.

PEDUZZI, L. O. Q; BASSO, A. **Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p. 545-557, 2005.

PEDUZZI, L. O. Q.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M. A. **As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa seqüência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 14, n. 4, p. 239-246, 1992.

PENA, FÁBIO L. A.; FILHO, AURINO R. **Relação entre a pesquisa em ensino de física e a prática docente: dificuldades assinaladas pela literatura nacional da área**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 3: p. 424-438, dez. 2008.

POPPER, K. R. **A ciência normal e seus perigos**. In: Lakatos, I.; Musgrave, A. (Org.). A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. São Paulo: Cultrix, EDUSP, 1979.

POPPER, K. R. **Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária**. São Paulo: Ed. Univ. S. Paulo, 1975.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1982.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., & GERTZOG, W. **Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change**. Science Education 66, 211-227, 1982.

PRAIA, J. F.; CACHAPUZ, A. F. C.; GIL-PÉREZ, D. **Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência**. Ciência e Educação, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002.

REDONDI, P. **Galileu Herético**. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. **A prática do professor e a pesquisa em ensino de física: novos elementos para repensar essa relação**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 3: p. 316-337, dez. 2005.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

ROBILOTTA, M. R. **O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de física**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol. 5 (num. especial), p. 7-22, 1988.

RUMMEL, J. F. **Introdução aos procedimentos de pesquisa em educação**. Porto Alegre: Globo, 1972.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SÁNCHEZ RON , J. M. **Usos y abusos de la historia de la física em la enseñanza**. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (2), 179-188.

SCIENCE@NASA. **Headline news**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://science.nasa.gov>. Acesso em: 08 de maio de 2008.

SEGRÈ, E. **Dos Raios X aos Quarks: Físicos modernos e suas descobertas**. Brasília: Universidade de Brasília, 1987.

SELLERI, F. **Paradoxos e Realidade: ensaio sobre os fundamentos da microfísica**. Lisboa: Fragmentos, 1990.

SILK, Joseph. **O Big Bang: a origem do universo**. Brasília: Universidade de Brasília, 1988.

SILVA, O. H. M.; NARDI, R.; LABURÚ, C. E. **Uma estratégia de ensino inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática**. Ensaio, Vol. 10 n.º.1 jun. 2008.

SILVEIRA, F. Lang. da. **A metodologia dos programas de pesquisa: a epistemologia de Imre Lakatos**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n. 3, p. 219-230, 1996.

SILVEIRA, F. Lang. da. **A filosofia de Karl Popper e suas implicações no ensino da ciência**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, n. 1: p. , abr. 2004.

SILVEIRA, F. Lang. da; PEDUZZI, L. O. Q.; **Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006.

SILVEIRA, F. Lang. da; OSTERMANN, F. **A insustentabilidade da proposta indutivista de “descobrir a lei a partir de resultados experimentais”**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. especial: p.7-27, jun. 2002.

SIMON, Samuel. **A adequação das teorias matemáticas às teorias físicas: a Teoria da Relatividade**. In: Pietrocola, M.; Freire Jr., O. (Org.). *Filosofia, Ciência e História: uma homenagem aos 40 anos de colaboração de Michael Paty com o Brasil*. São Paulo: Fapesp, p. 137-154, 2005.

SMOOT, George F. **Cosmic Microwave Background Radiation Anisotropies: Their Discovery and Utilization**. Nobel Lecture, december 8, 2006.

SMOOT, George F.; DAVIDSON, K. **Dobras no tempo**. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

SOLBES, J.; TRAVER, M. **Resultados obtenidos introduciendo historia de la ciencia en las classes de física y química: mejora de la imagen de la ciencia y desarrollo de actitudes positivas**. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (1), 151-162.

STARKMAN, G. D.; SCHWARZ, D. J. **Universo em desarmonia**. Scientific American, n. 40, set. 2005, p. 31-37.

TEIXEIRA, E. S.; EL-HANI, C. N.; FREIRE JR., O. **Concepções de estudantes de física sobre a natureza da ciência e sua transformação por uma abordagem contextual do ensino de ciências**. Revista da ABRAPEC, Vol.1, nº 3. 2001, p. 111.

TERRA, P. S. **O ensino de ciências e o professor anarquista epistemológico**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n.2: p.208-218, ago. 2002.

TERRAZZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

THE QUASARS.ORG. **Catalogue**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://quasars.org/qorg-data.htm>. Acesso em 11 de junho de 2008.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais**. São Paulo: Atlas, 1987.

VILLANI, Alberto. **Filosofia da ciência e ensino de ciência: uma analogia**. Ciência e educação, v. 7, n. 2, p. 169-181, 2001.

WAGA, I. **Cem anos de descobertas em cosmologia e novos desafios para o século XXI**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, pg. 157-173, mar. 2005.

WEINBERG, Steven. **Os três primeiros minutos**. Lisboa: Gradiva, 1987.

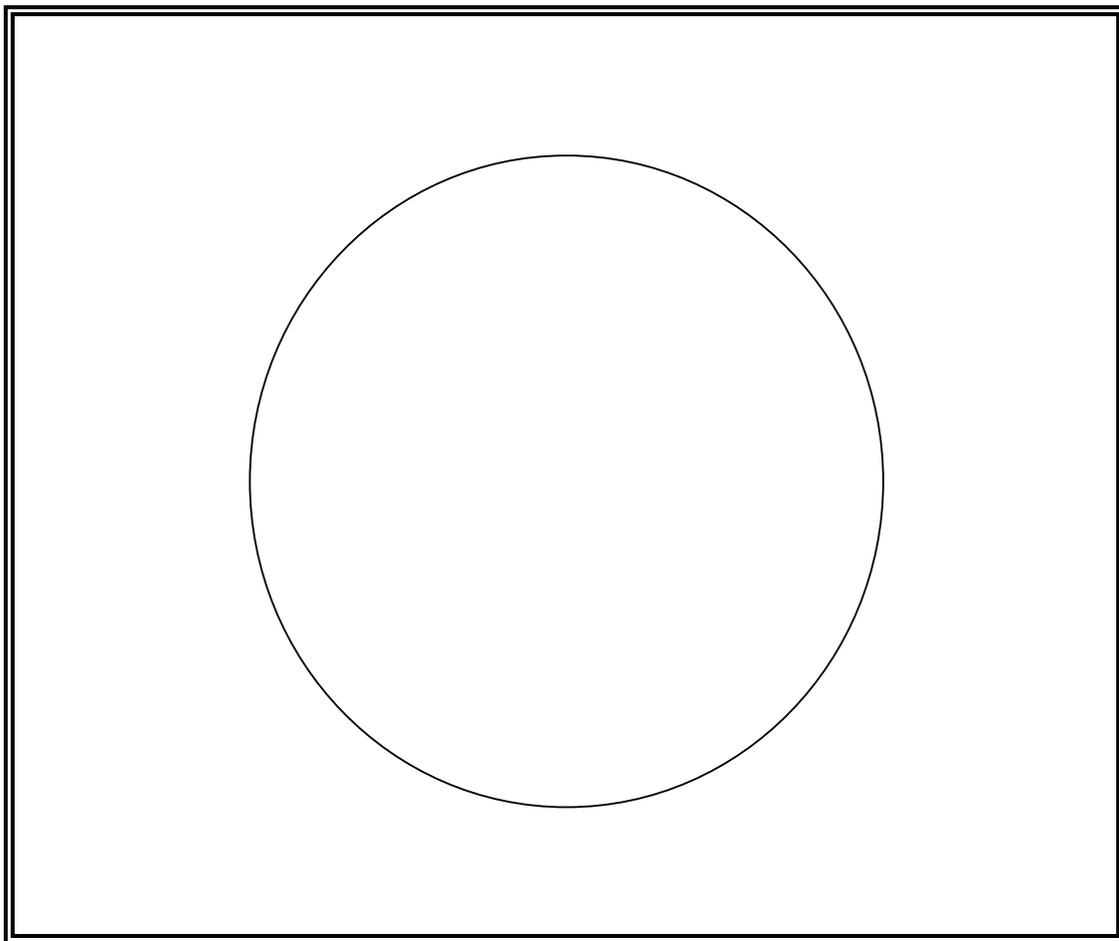
WITTEN, E. **O bamba das supercordas**. Entrevista. Ciência Hoje, vol. 40, n. 237, p. 06-09, maio de 2007.

ZYLBERSZTAJN, Arden. **Galileu – um cientista e várias versões**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, 5 (número especial), 36-48, jun. 1988.

ZYLBERSZTAJN, Arden. **Revoluções Científicas e Ciência Normal na Sala de Aula**. In: Moreira, Marco Antonio; AXT, R. *Tópicos em ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra, 1991.

ANEXOS

ANEXO A

CD – Apresentação eletrônica

ANEXO B

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas
Disciplina de Evolução dos Conceitos da Física
Professor Luiz O. Q. Peduzzi

Nome: _____ Email: _____

Questionário referente à unidade de ensino “A Cosmologia Moderna À Luz Dos Elementos Da Epistemologia De Lakatos”

1. George Smoot sugeriu que nosso atual conhecimento sobre o universo só pode ser entendido à luz do que aconteceu antes, ou seja, através da evolução dos seus conceitos. A partir dos elementos discutidos no texto e sua apresentação, para você qual o papel da história e filosofia da ciência para o entendimento das características da pesquisa científica e dos próprios conceitos científicos?
2. Segundo Bob Gowin, professor de educação da universidade de Cornell, uma importante função de um material educativo é propiciar um registro de eventos primários que promovam novos eventos, ou seja, que propicie novos conhecimentos e novas formas de pensar a partir de elementos já conhecidos pelo aluno. Com esse propósito, um material deve ser inteligível, de boa acessibilidade ao leitor. Nesse sentido, como você avalia a abordagem do texto em relação aos seus conhecimentos anteriores? Você teve alguma dificuldade com os conteúdos trabalhados? Comente.
3. De acordo com Gowin, um dos principais objetivos da educação é propiciar ao aluno a obtenção de um *sentimento de significância*, isto é, um sentimento de que os conceitos e idéias principais foram bem compreendidos. Em relação a esse sentimento de compreensão, como você avalia a contribuição da unidade de ensino (texto e apresentação) para seu entendimento da atividade científica?
4. O texto elaborado sobre a cosmologia, além das preocupações didáticas referidas anteriormente, tem o objetivo de instigar o aluno a manter sua atenção e interesse ao longo de sua leitura. Comente em que medida o texto alcançou este objetivo.
5. De um modo geral, como foi sua receptividade em relação ao texto e sua apresentação? Para uma futura versão do texto, quais elementos você considera que poderiam ser melhorados, acrescidos ou alterados? Comente.