

# Um estudo exploratório sobre a contribuição de visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores de física atuantes

Neusa Teresinha Masón\*  
Marco Antonio Moreira\*\*

Artículo recibido: 23-8-2007 y aprobado: 12-10-2007

**An exploratory study on the contribution of contemporary epistemological views in the transformation of physics teachers' conceptions about the nature of science**

■ **Resumo:** Este artigo relata um estudo exploratório que investigou a contribuição de diferentes visões epistemológicas contemporâneas apresentadas em uma disciplina de Epistemologia na transformação das concepções sobre a natureza da ciência de professores de Física atuantes na escola secundária. Os resultados indicam que os ganhos foram modestos, porém significativos para uma perturbação inicial das concepções epistemologicamente superadas e fortemente enraizadas dos professores, com vistas a uma transformação de longo prazo e potencialmente importante para a melhoria do ensino e aprendizagem de Física.

**Palavras-chave:** visões epistemológicas contemporâneas, formação de professores de Física, natureza da ciência, concepções epistemológicas.

■ **Abstract:** This paper describes an exploratory study on the contribution of different contemporary epistemological views, presented in a course on epistemology of science, in the transformation of physics teachers' conceptions about the nature of science. The findings suggest that although the changes were modest they were important as an initial perturbation of old epistemological conceptions held by physics teachers, in the sense that meaningful changes might eventually happen and that they are potentially relevant for the improvement of physics education.

**Keywords:** contemporary epistemological views, physics teachers preparation, nature of science, epistemological conceptions.

\* Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – Caixa Postal: 15051.

\*\* Campus do Vale. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

## Introdução

Este artigo relata os achados de um estudo exploratório que buscou investigar a contribuição de diferentes visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de professores de Física já atuantes, apresentadas em uma disciplina de Epistemologia inserida no currículo do Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Em estudo anterior, que se constituiu em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005), através da compreensão da cultura da sala de aula em uma disciplina similar, porém oferecida na Licenciatura em Física, isto é, na formação de futuros professores de Física, procuramos levantar as concepções dos estudantes sobre a natureza da ciência e as transformações dessas concepções geradas pela disciplina em estudo, e que serviu de motivação para uma pesquisa mais ampla que se encontra em curso.

O presente estudo exploratório, portanto, está vinculado a uma tese de doutorado em Física que se agrega ao Grupo de Pesquisa em Ensino de Física do Instituto de Física da UFRGS e que objetiva estudar a influência das chamadas “visões epistemológicas contemporâneas” em diferentes níveis de formação de professores e estudantes; busca indícios de transposição didática dessas visões pelos professores; e das suas contribuições ou de estratégias de ensino epistemologicamente mais contextualizadas no ensino e aprendizagem de Física, e de ciências, voltados principalmente à formação de cidadãos mais críticos e, conseqüentemente, de uma sociedade mais participativa nas

grandes decisões que a situação social e ambiental atual exigem.

Os dados que servem de base para este estudo exploratório foram coletados através de uma experiência antropológica em uma disciplina de Epistemologia e Ensino de Física do curso de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, oferecida em janeiro de 2007, no formato de curso intensivo de verão. Complementarmente, atuamos como observadores-participantes na disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, no primeiro semestre de 2007. Disciplina esta composta de quatro módulos (Relatividade, Supercondutividade, Física de Partículas e Física de Plasmas).

Como referido, o estudo que resultou em Dissertação de Mestrado (Massoni, 2005), que aqui passamos a denominar Estudo I, teve por objetivo compreender e mapear as concepções e as transformações dessas concepções sobre a natureza da ciência de um grupo de futuros professores de Física. Achados do Estudo I, também indicados por vários outros autores, apontam no sentido de que mesmo após terem passado por todas as disciplinas do curso de Licenciatura em Física, ou seja, mesmo após um bom curso de graduação em Física os estudantes sustentam concepções superadas sobre a natureza da ciência, sobre o trabalho científico e sobre o *status* das leis e teorias da Física em particular, e de ciências em geral.

Essas concepções distam em muito do que se considera desejável para enfrentar a problemática relação entre ciência e filosofia da ciência.

**Tabela 1.** Principais achados do Estudo I (Massoni, 2005).

Concepções de estudantes de Licenciatura em Física sobre a natureza da Ciência	Indícios de contribuições de uma disciplina de História e Epistemologia da Física na transformação das concepções de estudantes de Licenciatura em Física
As concepções iniciais (observadas no início da disciplina) eram, em sua maioria, inadequadas e fortemente associadas a visões empiristas-indutivistas. (p. 144).	(...) a disciplina de História e Epistemologia da Física provocou evolução ou aprimoramento das concepções de 16 dentre os 21 estudantes que efetivamente concluíram o curso. (...) 3 estudantes tinham visões bastante adequadas no início da disciplina (...). Apenas 2 alunos demonstraram permanecer, ao final da disciplina, com concepções inadequadas. (p.212)
Com raras exceções, os estudantes pareciam acreditar que a Física se desenvolvia e se sustentava, ao longo da história, sobre bases sólidas porque assentada na observação e experimentação e, por isso mesmo, dando origem a leis e teorias fixas, verdadeiras e imutáveis (p. 144)	(...) um percentual de 76% dos estudantes que concluíram o curso encontrava-se na categoria <i>visão parcialmente adequada</i> ; 14% na <i>categoria visão adequada</i> ; e 10% na <i>categoria visão inadequada</i> . (p.212).
(...) o curso de Física passa uma visão empirista-indutivista da natureza da ciência. (p.266).	Atividades colaborativas de grupo, seminários e, o uso de mapas conceituais foram estratégias que auxiliaram enormemente a superar obstáculos.(p.145)
Os próprios livros didáticos transmitem uma visão inadequada da ciência, tratando a realidade objetiva como originária de teorias fixas e imutáveis. (p.267).	Foi possível perceber que as visões e crenças do próprio professor sobre a natureza da ciência são passadas e interferem de forma decisiva nas concepções dos alunos. (p.145).
(...) os estudantes apresentaram surpresa, desconforto e resistência inicial tanto às novas idéias epistemológicas quanto às estratégias de trabalho de grupo, construção de mapas conceituais (...). (p.266).	(...) o resultado dos debates e discussões das idéias contemporâneas da natureza da ciência e suas implicações para o ensino e aprendizagem feitas em sala de aula é o que de mais estável parece ter ficado na aprendizagem. (p.267).

A organização bastante tradicional dos cursos de graduação em Física, as visões epistemológicas superadas apresentadas pelos livros didáticos mais usuais e transmitidas pela grande maioria dos professores universitários, as aulas predominantemente expositivo-tradicionais parecem estar entre as principais dificuldades enfrentadas pelos estudantes para a construção de visões mais contextuais sobre a natureza e o processo de evolução da ciência.

Neste estudo exploratório, estamos interessados na percepção da influência de algumas das principais visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções dos professores de Física já atuantes como suporte para uma nova prática docente que aborde além dos conteúdos da Física aspectos sobre a Física; que discuta as controvérsias históricas ocorridas na época da propositura das principais teorias físicas

de forma a contextualizá-las e facilitar seu aprendizado; que apresente a Física como uma ciência em construção e não como um conhecimento acumulativo e imutável; enfim, que possam auxiliar para uma prática docente efetivamente comprometida com a formação de cidadãos críticos e reflexivos.

Acreditamos que as visões epistemológicas contemporâneas como também a História da Física podem ser ferramentas potencialmente significativas na transformação das concepções, pois possibilitam ao professor refletir sobre suas próprias crenças e sobre a maneira, explícita ou implícita, como elas são passadas aos seus alunos. Adicionalmente, desejamos compreender as influências e o caráter motivador do método colaborativo presencial que incluiu a utilização de diferentes instrumentos heurísticos, que serão descritos em maior detalhe na seção 4.

## Objetivos

Desafiados pelos achados do Estudo I, e por vários outros apontados na literatura, com relação às concepções, ainda hoje, predominantemente inadequadas de estudantes e professores sobre a natureza da ciência e, ao mesmo tempo, motivados pelos resultados bastante positivos das contribuições das visões epistemológicas contemporâneas na transformação das concepções de estudantes de graduação, desejamos estender nosso estudo para o curso de Pós-Graduação Profissionalizante, buscando tornar nossa pesquisa mais abrangente. Nessa linha, este estudo exploratório através de observações em situação de sala de aula e interação com os estudantes, tem como objetivos:

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

## Referencial epistemológico

### A superação da visão empirista-indutivista

A idéia vigente até o início do séc. XX era de que a ciência se distingue da pseudociência ou de quaisquer outras formas de conhecimentos pelo uso do *método empírico da Física*, que, segundo Chalmers (1999), consistiria na *coleta de dados por meio de cuidadosa observação e experimentos e da subsequente derivação de leis e teorias a partir desses dados por algum tipo de procedimento lógico* (op. cit., p. 18). Essa é a chamada filosofia *empirista* da ciência, que deu origem à crença de que a ciência repousa sobre sólidos fundamentos advindos da observação e experimentação, e que por algum procedimento de inferência possibilita a derivação de teorias científicas de modo absolutamente confiável a partir de tal base empírica. Ou seja, a observação e a experimentação como fontes de conhecimento.

Os primórdios dessa filosofia remontam ao séc. XVII, quando o inglês Francis Bacon propôs os fundamentos do *método científico*. Bacon defendeu que o objetivo da ciência é o melhoramento da vida do homem e que, para isso, as teorias científicas deveriam ser baseadas na observação do mundo, em vez da intuição ou fé. O empirismo foi defendido explicitamente pelo filósofo inglês John Locke, que argumentava que a mente do cientista seria uma “tábula rasa” sobre a qual poderia ser gravado (impresso) o conhecimento advindo da experiência, através dos sentidos. O *empirismo* se apõe filosoficamente ao *racionalismo*, que pressupõe que o homem nasce com certas idéias inatas. Uma modificação

extrema do empirismo de Bacon foi o *positivismo lógico*, que surgiu em Viena no início do séc. XX, e que ainda hoje tem influência, segundo o qual as teorias devem ser justificadas, *verificadas* através da observação e experimentação pelo uso rigoroso do *método científico* e somente têm significado se assim forem derivadas. Em outras palavras, o conhecimento científico é provado de forma objetiva.

Para os empiristas, o procedimento lógico que permite derivar leis e teorias a partir dos dados empíricos é a *lógica indutiva*.

O *indutivismo* acredita que a ciência começa com a observação e experimentação; que o *método científico* (conjunto de passos como em uma receita) permite registrar fielmente o que se pode ver, ouvir, etc., de forma a possibilitar afirmações a respeito do mundo não-preconceituosas. As afirmações a que se chaga dessa forma são chamadas *afirmações singulares*, pois se referem a uma ocorrência específica, a um fenômeno dado ou a um estado de coisas. O indutivismo argumenta que é legítimo *generalizar* leis e teorias *universais* a partir de *afirmações singulares*.

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

A ciência tem como característica principal a capacidade de *explicar* e *prever*. Portanto, o esquema indutivista é completado pela *dedução*, ou seja, uma vez obtidas as leis e teorias a partir da observação é possível, considerando que as condições iniciais sejam cuida-

dosamente descritas, derivar delas (das leis e teorias) conseqüências lógicas, que servem como explicações ou previsões.

As idéias apresentadas até aqui, de forma esquemática, formam a base da *visão empirista-indutivista* da ciência. Suas bases foram sendo discutidas, criticadas e demolidas ao longo do séc. XX, período em que foram apontadas e enfatizadas deficiências e profundas dificuldades: a indução não possui argumentos lógicos válidos, ou seja, é possível se obter indutivamente uma conclusão falsa a partir de premissas verdadeiras (a conhecida generalização “todos os corvos são pretos” obtida a partir da observação de uma grande quantidade de corvos, todos pretos, não garante logicamente que o próximo corvo a ser observado não seja branco o que tornaria a conclusão falsa, ainda que a inferência inicial seja verdadeira), ou seja, a indução não se sustenta em bases lógicas; a observação e a experimentação não se constituem em base segura para o conhecimento científico simplesmente porque os dados empíricos são falíveis (estão sujeitos a erros); existem muitas teorias que se ajustam ao mesmo conjunto de dados empíricos; nossos sentidos podem nos enganar; toda observação está carregada de conhecimentos anteriores e expectativas, isto é, dois observadores vêem a mesma coisa mas interpretam-na de forma diferente porque algum tipo de teoria sempre precede a observação; não existe método que possibilite provar ou desaprovar conclusivamente as teorias. Os argumentos arregimentados, e outros mais, têm mostrado que a *visão empirista-indutivista da ciência* é uma visão equivocada e superada na atualidade.

**Algumas “visões epistemológicas contemporâneas”**

O séc. XX foi, assim, um período de intenso debate epistemológico, desencadeado inicialmente por Karl Popper, ao qual aderiram muitos outros pensadores nas décadas seguintes.

As idéias de alguns dos principais filósofos da ciência do século passado que passamos a sumarizar, às vezes divergentes entre si mas unânimes em rebater a visão *empirista-indutivista*, compõem um conjunto que caracteriza a visão atual da ciência, que nós chamamos de “visões epistemológicas contemporâneas”, e que nos têm servido de referencial epistemológico.

—Karl Popper (1902-1994) sugere que o conhecimento científico é uma construção humana através de *conjeturas e refutações*. Propõem-se tentativamente *conjeturas audazes*, salta-se para conclusões genéricas controladas por *experimentos falseadores* (que contradizem a teoria). Quando uma teoria é *falseada* deve ser abandonada. Se o teste resulta em comprovação da teoria então ela é *corroborada* e é submetida a testes cada vez mais rigorosos, sempre buscando falseá-la. A *falseabilidade* ou *testabilidade* é, portanto, o *critério de demarcação* entre o discurso científico e outros tipos de conhecimento, isto é, as teorias não são empiricamente verificáveis mas devem ter uma forma lógica tal que possam ser refutadas. Popper argumentava que não se justifica inferir resultados *universais* a partir de resultados *singulares*, mesmo depois de um grande número destes resultados singulares, isto é, ele rechaça o *indutivismo*. A reiterada substituição de teorias científicas por outras cada vez mais satisfatórias através de uma atitude crítica, o

*racionalismo crítico*, garante o progresso da ciência. Essa teoria é conhecida como o *falsacionismo de Popper*.

—Thomas Kuhn (1922-1996) propõe que a ciência cresce através do seguinte esquema: períodos de *ciência normal* interrompidos por bruscas *revoluções científicas*, seguidos de *nova ciência normal*. *Ciência Normal*, para Kuhn, significa o período de pesquisa baseada em realizações que são reconhecidas durante algum tempo por alguma comunidade científica. Normalmente reunidas em livros ou manuais essas realizações definem os problemas, as crenças, os valores e os métodos legítimos de um dado campo de pesquisa. As regras, técnicas e padrões partilhados por uma comunidade científica constituem o que Kuhn conceitua como *paradigma*. A *ciência madura* caracteriza-se pela adoção de um único paradigma. Este é o critério de demarcação de Kuhn, se quisermos fazer um paralelo com a epistemologia de Popper. Quando *anomalias* sérias se acumulam, com o avanço da ciência normal, elas podem levar o *paradigma* a uma *crise*. Se a crise culmina com a invenção de teorias radicalmente novas, forçando os cientista a uma transição para um novo *paradigma*, então, ocorre uma *revolução científica*. E mais, a *ciência normal* e a *nova ciência normal* (gerada a partir de uma *revolução científica*) são incomensuráveis, isto é, são maneiras diferentes de ver o mundo. Essa é a essência da filosofia da ciência de Kuhn, que teve enorme repercussão não apenas na Física, mas também em outras áreas de conhecimento.

—Imre Lakatos (1922-1974) embora concorde com Popper que a ciência progride através da construção de hi-

póteses, discorda deste no sentido de que as hipóteses não são imediatamente abandonadas mediante falseamento, mas estão inseridas em *programas de pesquisa científica*. Estes são conjuntos de regras que indicam a rota a ser seguida pela investigação em uma determinada área, estruturados de forma a evitar morte rápida das teorias. Lakatos defende o que ele chama de *falsacionismo metodológico* de base evolutiva, em que sobrevivem as teorias mais aptas, aquelas que apresentam excesso de conteúdo corroborado por testes empíricos em relação às teorias anteriores e que antecipam fatos novos. Um *programa de pesquisa* possui um *núcleo firme* ou *núcleo duro* que é um conjunto de básico de hipóteses protegidas contra refutações pelo *cinturão protetor*. O conjunto de *hipóteses auxiliares* que podem sofrer modificações, refutações e contrastações formam o *cinturão protetor*. Lakatos entende que a competição de *programas de pesquisas* é a regra, contrariamente à idéia kuhniiana de que a ciência madura é caracterizada pela adesão a um único paradigma. A competição entre os programas de pesquisa fomenta o avanço da ciência, segundo Lakatos.

—Larry Laudan (1945) entende que o conhecimento científico tem sido um empreendimento racional não acumulativo e que a regra é a coexistência de teorias rivais, tal que a evolução das teorias é uma atividade comparativa. Para Laudan, o objetivo da ciência é produzir teorias eficazes na *resolução de problemas científicos*. Os *problemas* são, portanto, o ponto central do pensamento científico e as *teorias* o resultado final. Em suma, um *modelo científico por resolução de problemas*. Existem os *pro-*

*blemas empíricos* (potenciais, resolvidos e anômalos) e *problemas conceituais*. Ocorre progresso científico quando é possível transformar problemas *não resolvidos* (potenciais) ou *anômalos* em problemas *resolvidos*. Laudan concorda que a anomalia é importante, suscita dúvidas a respeito da teoria que a está mostrando, mas que não é motivo suficiente para abandoná-la. Assevera que muitas teorias importantes se tornaram mais claras e precisas através de esclarecimentos e especificações que tiveram origem em críticas no campo conceitual, mais do que no campo empírico. O debate conceitual, segundo a visão pragmática de Laudan, é um dos meios importantes que a ciência utiliza para crescer

—Gaston Bachelard (1884-1962) centra sua doutrina na “Filosofia do Não”. O conhecimento científico é uma permanente ruptura, um permanente “não” (não no sentido de negação, mas no sentido de conciliação) à experiência antiga, ao conhecimento anterior. Nessa linha, o erro assume um papel importante, pois aprendemos com ele. Para Bachelard os *obstáculos epistemológicos* (o conhecimento comum, usual, como também o conhecimento científico estabelecido) e as *noções obstáculo* (coisismo, corpúsculo pensado como objeto minúsculo, etc.) funcionam como verdadeiros obstáculos ao avanço do *espírito científico*. O *espírito científico* deve ser *dialético*, deve transitar livremente entre o empirismo (de um lado) e o racionalismo (do outro). Esta alternância é importante pois essas doutrinas estão ligadas, se complementam sem que se precise falar em derrota de uma ou outra. O racionalismo deve ser aplicado à realidade, deve

procurar no real aquilo que contradiz (diz não) os conhecimentos anteriores. Bachelard também introduz o conceito de *perfil epistemológico* que estabelece a importância relativa entre as diversas doutrinas (convencionalismo, formalismo, racionalismo aplicado, positivismo, empirismo) na evolução de um dado conceito pelo espírito científico de uma cultura pessoal. Em outras palavras, *um perfil epistemológico guarda a marca dos obstáculos epistemológicos que a cultura teve que superar* (Bachelard, 1988, p. 48).

—Stephen Toulmin (1922) propõe que um dos pontos chave da compreensão humana está nos *conceitos* e na *mudança conceitual*. Utiliza as idéias de evolução das espécies vivas de Darwin para explicar a evolução e o desenvolvimento conceitual (variação, perpetuação seletiva, êxito, etc.). As novidades intelectuais constantemente aparecem e, como nas variações das espécies, nem todas, mas apenas algumas são transmitidas às gerações seguintes por um processo seletivo. Toulmin entende que as diferentes atividades intelectuais dos homens dividem-se em *disciplinas*. As *disciplinas* são *empresas racionais* que reúnem em torno de si cientistas, métodos, objetivos, ideais e ambições explicativas, que estão em desenvolvimento histórico. Assim como os *conceitos*, as *disciplinas* passam por profundas mudanças a longo prazo, transformam-se ou sendo superadas. Como as inovações intelectuais são equilibradas por um processo de *seleção*, a existência de *foros profissionais* de discussão é condição para o desenvolvimento sério e metódico de uma disciplina. Os conceitos são transmitidos através das gerações pelo

processo de enculturação. Conceitos, técnicas, procedimentos e habilidades intelectuais são aprendidos no contexto social. Na visão de Toulmin, os conceitos que emprega um homem, os padrões de juízo racional que reconhece, como organiza sua vida e interpreta sua experiência dependem não das características de uma ‘natureza humana’ universal, mas do momento em que nasceu e do lugar em que viveu.

—Paul Feyerabend (1924-1994) entende que a ciência é uma empresa essencialmente *anárquica* no sentido de que não há uma só regra, embora plausível e bem fundada na epistemologia, que deixe de ser violada em algum momento. E essas violações são necessárias para o progresso. Para Feyerabend, o único princípio válido para que ocorra desenvolvimento do conhecimento é: *tudo vale*. Os grandes saltos que se pôde verificar na história da Física só aconteceram porque alguém decidiu transgredir regras metodológicas. O *anarquismo epistemológico*, portanto, significa, para Feyerabend, oposição a um princípio único, absoluto, fechado às opções alternativas. Defende que a *contra-indução* e a *contra-regra* são sempre possibilidades de êxito na ciência. Resumindo, sugere que a regra é a *contra-regra*, ou seja: i) introduzir hipóteses conflitantes com teorias bem confirmadas ou corroboradas; ii) introduzir hipóteses que não se ajustem aos fatos estabelecidos. *Dada a ciência, a razão não pode ser universal e a sem-razão não pode ver-se excluída*. (Feyerabend, 1989, p. 279).

Humberto Maturana (1928) procura explicar o fenômeno do conhecer através de uma abordagem de cunho biológico tomando o observador (o conhecedor)



e a experiência do observador como ponto de partida. O observador é um ser vivo. Os seres vivos são sistemas auto-organizados, produzem seus próprios componentes diferenciando-se do meio exterior, mas interagindo com ele e entre si. As interações caracterizam-se pela conservação de organização, isto é, não são destrutivas mas sim perturbações em correspondência com o meio, de tal forma que vai ocorrendo adaptação. Nisso consiste a distinção entre a vida e a morte: a morte é a ausência de organização. Há, portanto, uma circularidade essencial nos sistemas vivos que permite ao sistema funcionar como observador. Essa é a essência da sua teoria da auto-poiese. É na interação que surge a linguagem e é na linguagem que surgem os objetos porque a sua existência é trazida à mão pelo observador. O sistema nervoso funciona com correlações internas: a experiência nos acontece e em seguida procuramos explicar o que fazemos com base na convivência. A convivência pressupõe a emoção, que torna possível o fenômeno da interação recorrente. A ciência se faz, assim, no prazer de explicar as coisas. Esse explicar é uma reformulação da experiência com elementos da própria experiência do observador. Para Maturana, uma explicação somente é científica se obedece a certos critérios: os Critérios de Validação das Explicações Científicas. Eles descrevem o que os cientistas fazem na prática da investigação científica. A ciência não é diferente de qualquer outro domínio cognitivo, sua peculiaridade surge da sua forma de constituição pela aplicação do critério de validação das explicações científicas. As teorias científicas são livres criações do homem na sua operação enquanto cientista e não se referem a

uma realidade independente do observador (objetividade sem parênteses, no dizer de Maturana), mas à experiência do homem enquanto ser humano (objetividade entre parênteses).

—Mario Bunge (1919) defende que toda teoria possui um referente mediato que é um “pedaço da realidade”, e um referente imediato que é um “modelo” do sistema real. O modelo não é apenas pictórico, não é um retrato, nem uma metáfora. Começa com idealizações e simplificações que podem nos dar uma imagem simbólica do real: é o objeto-modelo. Depois se atribui a ele certas propriedades, em geral não sensíveis, buscando construir uma teoria ou inseri-lo em alguma já existente, capaz de descrevê-lo: é o modelo teórico. Assim, toda a teoria física encerra um modelo dessa espécie e quanto mais preciso o modelo, mas específica é a teoria. Os traços principais da ciência da natureza ou ciências fáticas<sup>1</sup> são a racionalidade e a objetividade. O que caracteriza o conhecimento científico é sua verificabilidade. (Bunge, 1960, p. 41). Verificabilidade para Bunge tem a ver com o modo, meio ou método através do qual se apresentam problemas científicos e se colocam à prova as soluções propostas. Não se trata de obter a verdade. A verdade é aceita sempre provisoriamente porque os dados empíricos não são infalíveis. Em suma, entende Bunge, que a modelagem e a comprovação constituem os mais bem sucedidos métodos de apreensão da realidade.

<sup>1</sup> Bunge distingue *ciência formal* (que trata de entes abstratos como a Matemática e a Lógica) das *ciências fáticas* (que tratam da formulação e verificação de hipóteses a respeito de fatos e/ou objetos materiais).

### Metodologia e análise dos resultados

Este estudo exploratório se compõe de duas etapas:

1. Na primeira etapa trabalhamos com 27 professores matriculados na disciplina de Epistemologia e Ensino de Física oferecida no curso de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física da UFRGS, porém aberta, por se tratar de curso de verão.
2. Na segunda, estiveram envolvidos 10 professores matriculados na disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, também do Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física da UFRGS e que, na sua maioria, também participaram da disciplina da primeira etapa.

#### Etapa I

##### Disciplina de Epistemologia e Ensino de Física

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

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

A estratégia de ensino consistiu de uma exposição introdutória, pelo docente da disciplina, dos principais conceitos e idéias do autor em pauta, com duração de 30 a 40 min, em geral com auxílio de

transparências ou recurso *powerpoint*. Em seguida eram distribuídos textos de apoio, preparados pelo próprio professor e/ou pela pesquisada para a disciplina. Esses textos continham as principais convicções epistemológicas dos epistemólogos em estudo, referências a suas obras básicas e a artigos publicados em revistas de ensino de Física, e no final, um mapa conceitual ou um diagrama V, de forma intercalada.

Os professores (então alunos) eram solicitados, em continuidade, a dividirem-se em grupos de 3 a 4 integrantes para realizarem uma tarefa que consistia em traçar um mapa conceitual<sup>2</sup>, ou um Diagrama V<sup>3</sup>, também de forma intercalada, sobre a epistemologia desse autor. Explicitando: se o texto de apoio oferecesse mapa conceitual, deveriam construir um Diagrama V e vice-versa. Durante a realização dessas tarefas docente e pesquisadora (que também atuava como docente) circulavam entre os grupos orientando e discutindo com os professores-alunos as questões epistemológicas. Essa etapa durava de duas a três horas-aula e era marcada por muita interação social entre professores-alunos e entre docentes e professores-alunos. Esta estratégia vem sendo denominada pelo Grupo de Pes-

<sup>2</sup> Mapas conceituais: são diagramas que expressam relações entre conceitos e devem, de alguma forma, refletir as hierarquias entre os conceitos que estão sendo ensinados em uma aula, ou refletem a organização conceitual de um corpo de conhecimento ou parte dele (Moreira, 2006).

<sup>3</sup> Diagrama V (também conhecido como V de Gowin): é um instrumento heurístico que tem o fim de "desempacotar" o conhecimento a fim de torná-lo adequado para fins instrucionais. Possui a forma de um Vê e faz a conexão entre eventos, fatos e conceitos. (Moreira, 2006).

quisa em Ensino de Física da UFRGS de “método colaborativo presencial”.

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

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

Isto ocorria dadas as características do curso: intensivo, ininterrupto e

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

A Tabela 2 mostra alguns dados do público alvo desta etapa da nossa pesquisa, colhidos através de um pequeno questionário aplicado no último dia de aula desta disciplina. O questionário, de apenas cinco perguntas, incluía uma em que era solicitado ao professor-aluno opinar livremente sobre a contribuição das visões epistemológicas contemporâneas estudadas no curso na sua prática docente. Essas respostas serão analisadas ao longo deste trabalho.

**Tabela 2.** Identificação dos professores-alunos inscritos na disciplina Epistemologia e Ensino de Física 2007/1

Sigla	Sexo	Nível de ensino De atuação	UF	Tempo de atuação	Já estudou epistemologia?	Aonde
PROF1	Masculino	MÉDIO	RS	17 anos	NÃO	-
PROF2	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	15 anos	SIM	UFRGS
PROF3	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	SC	5 anos	SIM	UFRGS
PROF4	Masculino	MÉDIO	RS	4 anos	NÃO	-
FROF5	Masculino	NÃO LECIONA	-	-	SIM	FURG
PROF6	Feminino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	PR	15 anos	NÃO	-
PROF7	Feminino	SUPERIOR	RS	11 anos	NÃO	-
PROF8	Feminino	MÉDIO E SUPERIOR	RS	12 anos	NÃO	-
PROF9	Masculino	SUPERIOR	RS	10 anos	NÃO	-
PROF10	Masculino	SUPERIOR	RS	20 anos	SIM	UFSM
FROF11	Feminino	FUNDAMENTAL	RS	5 anos	SIM	UNISC

Continua

Continuação

Sigla	Sexo	Nível de ensino De atuação	UF	Tempo de atuação	Já estudou epistemologia?	Aonde
PROF12	Masculino	MÉDIO	RS	22 anos	SIM	UFBA
PROF13	Feminino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	7 anos	NÃO	-
PROF14	Masculino	MÉDIO	RS	29 anos	NÃO	-
PROF15	Masculino	MÉDIO	RS	2 anos	SIM	UFRGS
PROF16	Masculino	SUPERIOR	RS	2 anos	SIM	UFRGS
PROF17	Masculino	MÉDIO	SC	6 anos	NÃO	-
PROF18	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	11 anos	SIM	UPF
PROF19	Feminino	NÃO LECIONA	-	-	SIM	UFRGS
PROF20	Masculino	MÉDIO E SUPERIOR	MG	15 anos	SIM	UFMG
PROF21	Feminino	MÉDIO	RS	15 anos	NÃO	-
PROF22	Masculino	FUNDAMENTAL E MÉDIO	RS	5 anos	NÃO	-
PROF23	Masculino	MÉDIO	RS	20 anos	NÃO	-
PROF24	Masculino	MÉDIO	RS	18 anos	NÃO	-
PROF25	Masculino	NÃO RESPONDEU	-	-	Não respondeu	-
PROF26	Masculino	NÃO RESPONDEU	-	-	Não respondeu	-
PROF27	Feminino	SUPERIOR	RJ	10 anos	Não respondeu	-

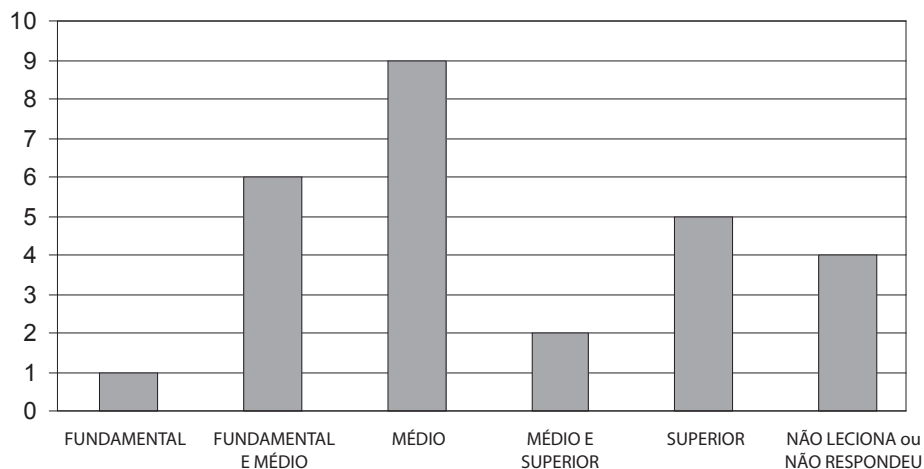
Os Gráficos 1 e 2, adicionalmente, favorecem a visualização das características mais relevantes do grupo de professores-alunos observados.

Da observação do Gráfico 1 obtém-se que 55% dos professores-alunos da

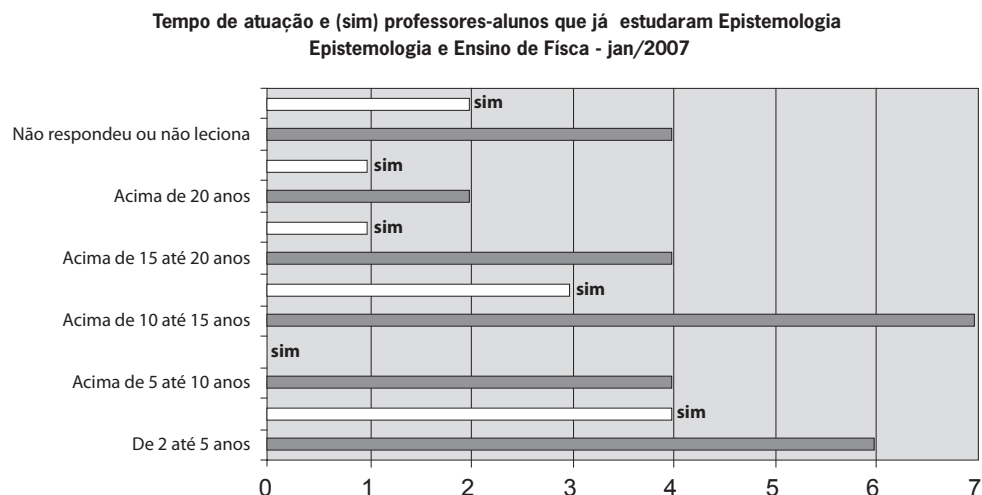
disciplina desenvolvem suas atividades docentes no nível médio e fundamental. Se levarmos em conta que 15% não respondeu, esse percentual pode ser maior.

**Gráfico 1.** Nível de ensino em que atuam os professores matriculados na disciplina Epistemologia e Ensino de Física, jan/2007.

**Perfil de Atuação dos professores-alunos da disciplina Epistemologia e Ensino de Física - jan/2007**



**Gráfico 2.** Tempo de atuação e indicação dos professores matriculados na disciplina Epistemologia e Ensino de Física, jan/2007 que já estudaram Epistemologia na sua formação.



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

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

Isto parece indicar que os professores-alunos que concluíram sua formação acadêmica mais recentemente tiveram maiores oportunidades de acesso a

disciplinas destinadas a uma formação epistemológica mais contextualizada. Este resultado está de acordo com nossa revisão da literatura, em curso, de onde se extrai que o movimento que visa a inclusão de disciplinas que abordem a natureza da ciência na formação de professores, e também no ensino médio, é um movimento que passou a envolver muitos países no mundo nas últimas 2 ou 3 décadas. E mais, que não se observa ainda um resultado desejável desse processo para a melhoria das visões sobre a natureza da ciência de professores e alunos.

Em números absolutos, vê-se da Tabela 2 que 11 dos 27 professores-alunos da disciplina em estudo, ou 40%, já tinham tido alguma introdução em Epistemologia ou Filosofia da Ciência. Em sua maioria, 9 destes 11, realizaram seus estudos em universidades públicas, em diferentes regiões do país.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

com as novas visões epistemológicas contemporâneas.

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

Trazemos aqui dois exemplos representativos.

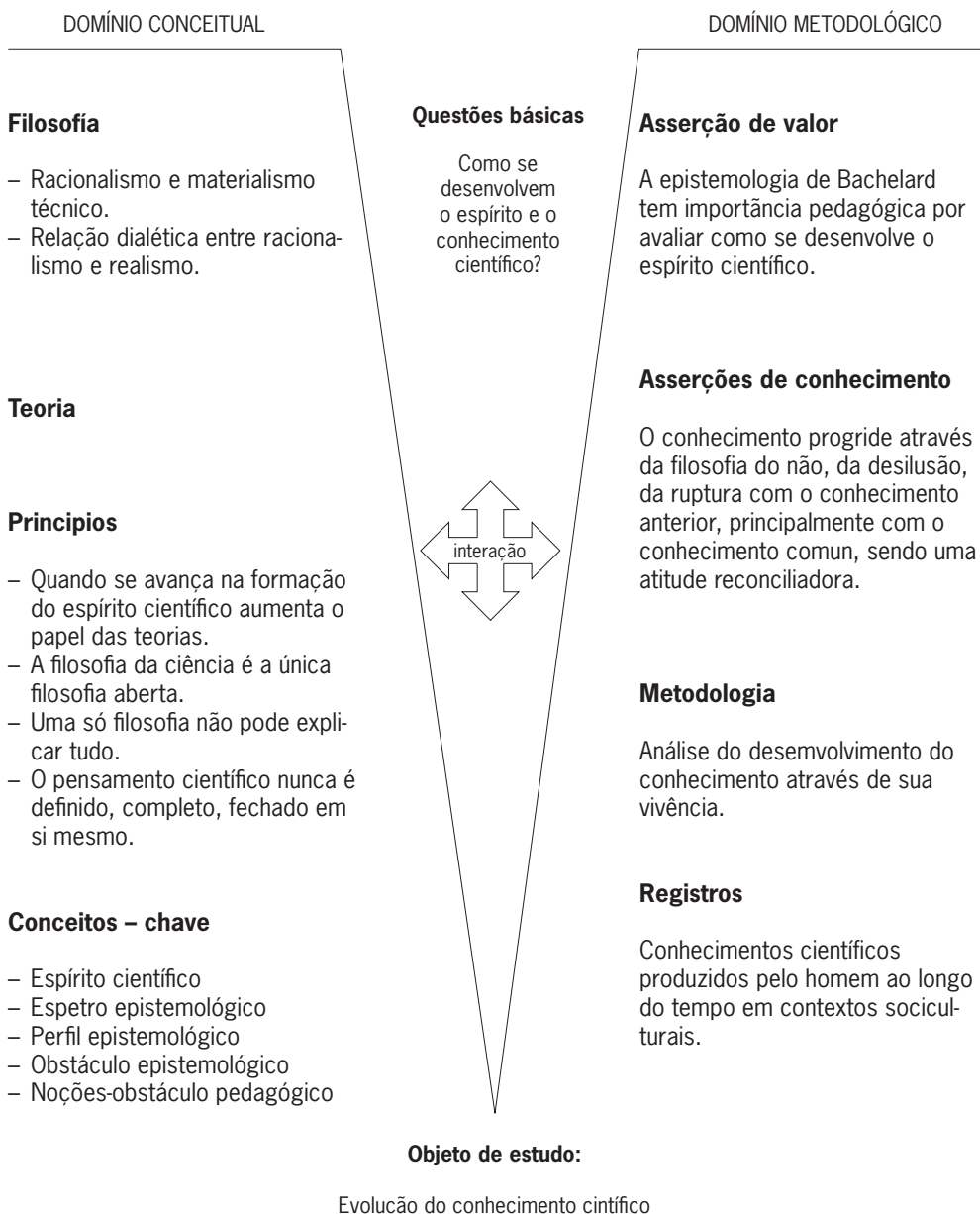
A Figura 1 mostra um diagrama V da Epistemologia de Bachelard realizado pelo grupo dos PROF21, PROF22, PROF23 e PROF24, que informaram nunca ter estudado epistemologia ou filosofia da ciência em sua formação.

A Figura 2 mostra um mapa conceitual da Epistemologia de Bunge elaborado pelo grupo dos PROF15, PROF16 e PROF25 que, como pode ser verificado na Tabela 2, pelos menos dois integrantes (PROF15 e PROF16) já tinham cursado uma disciplina de História e Epistemologia da Física.

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

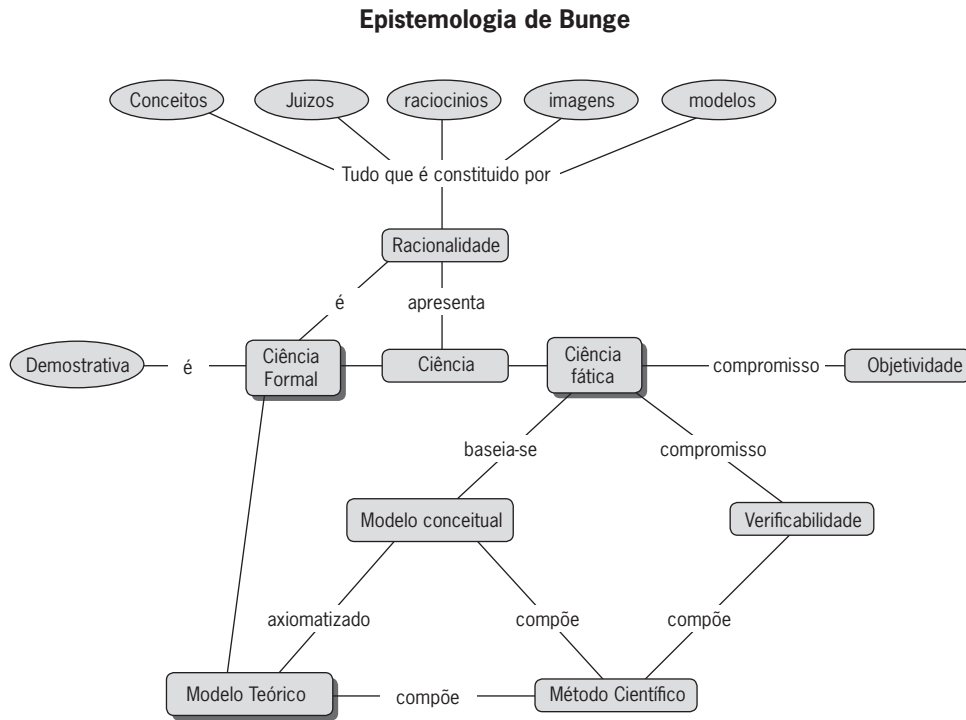
Destacamos que a grande maioria dos trabalhos foram apresentados em transparências para escrita normal, embora tivessem acesso a equipamentos

Figura 1. Diagrama V da Epistemologia de Bachelard, elaborado pelos PROF21, PROF22, PROF23 e PROF24.





**Figura 2.** Mapa Conceitual da Epistemologia de Bunge, elaborado pelos PROF15, PROF16 e PROF25.



de informática. O uso desses recursos pressupunham, no entanto, algum contato anterior com as ferramentas computacionais que facilitam a construção de mapas conceituais e diagramas V. Aqui optamos por mostrar dois exemplos já transcritos para o computador simplesmente por questões de melhor visualização.

É possível inferir que nesse tipo de atividade os maiores ganhos estiveram relacionados com as discussões e interações tanto nos pequenos grupos quanto no grande grupo, momentos em que muitas questões foram aparecendo em forma de perguntas, respostas, pontos de vista e esclarecimentos por parte do docente da disciplina.

Com base nas observações, no exame das tarefas e nas manifestações dos professores-alunos em resposta à pergunta 5 do questionário (5-*opine livremente sobre o curso de Epistemologia aqui oferecido. Se for o caso, de que forma as visões epistemológicas aqui estudadas poderão contribuir na sua prática de ensino?*) temos indicativos de que a disciplina estimulou o interesse pelas visões epistemológicas contemporâneas e forneceu alguns elementos motivadores para reflexões sobre uma prática docente epistemologicamente mais contextualizada. No que tange à transformação das concepções é possível que os professores-alunos tenham saído com as mesmas crenças com as

quais chegaram, um pouco abaladas, provavelmente. A maioria das respostas ressaltaram espontaneamente a importância das visões epistemológicas contemporâneas, mas ficamos com a impressão de que as estratégias de ensino utilizadas na disciplina prevaleceram em termos de interesse e motivação.

Transcrevemos, a seguir, parte de algumas manifestações dos professores-alunos que parecem confirmar nossas suspeitas:

PROF4: “O curso forneceu uma boa base para continuar o estudo no assunto. Certamente contribuirá no meu ensino, porém não sei como neste momento”.

PROF7: “A dinâmica do curso: apresentação do epistemólogo e depois discussão em pequenos grupos e finalmente a apresentação dos grupos, de seus trabalhos, para toda a turma torna o aproveitamento mais efetivo. (...). Cada uma das epistemologia apresentadas e por nós discutidas me fez pensar em minha prática de ensino e me colocar no papel do aluno (...)”.

PROF9: “(...) além das visões epistemológicas, que vão contribuir na minha prática docente, a utilização dos mapas conceituais e diagramas V permitem proporcionar atividades com os alunos de previsíveis resultados”.

PROF10: “Foi a primeira vez que participei de um curso com essa dinâmica, ou seja, é apresentada uma parte teórica inicial, na seqüência é realizada a discussão e finalmente é desenvolvida uma conclusão no pequeno grupo e discutida globalmente. Utilizarei essa dinâmica em algumas discussões de conceitos em minhas aulas de Eletromagnetismo Clássico e de Física computacional.”

PROF12: “Antes de pensar nas visões epistemológicas é mister ressaltar que a dinâmica utilizada no curso (discussão baseada na construção de mapas e vês) pode ser transposta para a sala de aula (...). Quanto às visões epistemológicas (...) parece haver uma correlação direta entre a forma como o ser humano, ao longo de sua história, produz o conhecimento científico e os mecanismos subjacentes de aprendizagem desse conhecimento”.

PROF14: “Para mim foi uma agradável surpresa, embora o tempo envolvido nos trabalhos tenha sido insuficiente para uma maior reflexão (...)”.

PROF15: “O fato de termos “idéias” sobre como se dá o progresso da ciência nos dá um entendimento maior sobre como pode se dar a compreensão do aluno. (...) a reflexão gerada se apresenta como algo muito importante”.

PROF16: “(...) como introdução o curso é excelente, destacando a participação do aluno e a não intervenção determinante do professor, deixando aberto ao aluno a criação de suas idéias”.

PROF17: “Essas visões epistemológicas estudadas (mesmo em parte) irão contribuir para uma melhor compreensão do desenvolvimento científico (aprendizado) do meu aluno. ‘Compreender porque o aluno não compreende’”.

PROF18: “(...) Com as discussões referentes à ciência e seus processos, através dos diagramas V e mapas conceituais, consegui compreender como o conhecimento progrediu na visão de cada epistemólogo, o que me auxiliará muito na elaboração das aulas. (...) com certeza serão estratégias que farei uso na minha vida profissional”.

PROF20: "O entendimento das discussões referentes à ciência e seus processos, mesmo que não seja tão profundo, constitui-se num elemento importante para elaborarmos visões menos ingênuas e simplificadas do assunto. Tal conhecimento é de suma importância na condução e formatação das disciplinas a serem lecionadas no curso superior, principalmente, na formação de professores (...) outra contribuição do curso foi a utilização do V de Gowin e dos mapas conceituais (...) com certeza vou empregá-los em meus cursos (...)"

PROF22: "(...). Não sei exatamente em que ponto o estudo das epistemologias pode me ajudar na prática. Acho que ainda é necessário um pouco mais de tempo para que essas idéias amadureçam. (...) A forma de apresentação e organização dos debates (mapas conceituais e diagramas V) está excelente pois permite a troca de idéias entre alunos e também constitui uma forma de avaliar diferente das tradicionais".

PROF23: "(...). As visões epistemológicas de Maturana, Bachelard e Bunge com certeza vão auxiliar, e muito, nas minhas atividades docentes".

Possivelmente a ênfase atribuída às estratégias de ensino utilizadas na disciplina estivesse associada às expectativas dos professores-alunos, a grande maioria já atuantes há vários anos, relacionadas com a busca de meios de fazer com que seus alunos compreendam os conteúdos por eles ensinados. Essas expectativas parecem normais a todo especialista: dominar técnicas e métodos eficazes na obtenção de seus objetivos. Não há razões para pensarmos que com os professores seria diferente.

Entretanto, técnicas tendem a se tornar bem estabelecidas, o que representa um estado mais estável ou com vantagens energéticas para a mente, se assim preferirmos pensar, do ponto de vista físico. Mas justamente esta é uma visão que procuramos eliminar do processo mesmo da ciência. O conhecer (quer seja na construção, ensino ou aprendizagem) é qualquer coisa menos um processo que repousa sob princípios fixos e imutáveis. Nem mesmo a natureza inanimada (pode-se ver isso na Física Moderna), menos ainda os seres vivos (o conhecedor) se regem por leis e teorias fixas e universais. Então, temos de aceitar que conhecer é uma permanente desilusão, uma desconstrução.

## **Etapa II Disciplina de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II**

A disciplina desta etapa do estudo exploratório foi oferecida no primeiro semestre de 2007, no curso de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e dividiu-se em 4 áreas: Relatividade, Física de Partículas, Supercondutividade e Física de Plasmas. Cada módulo foi lecionado por um professor da respectiva área de pesquisa, nessa ordem.

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

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

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

Estavam matriculados nesta disciplina 10 professores-alunos, 9 dos quais também participaram da etapa I deste estudo exploratório. O público alvo está identificado na Tabela 3, sendo que o décimo professor-aluno (que não participou da Etapa I) foi identificado com a sigla PROF28, pois optamos por manter as mesmas siglas utilizadas na análise anterior.

**Tabela 3.** Identificação dos professores-alunos inscritos na disciplina Tópicos de Física Moderna e Contemporânea II, 2007/1.

SIGLA	SEXO
PROF1	M
PROF3	M
PROF13	F
PROF14	M
PROF21	F
PROF22	M
PROF23	M
PROF24	M
PROF26	M
PROF28	M

Nesta etapa atuamos tão somente como observadores-participantes. Assistimos às aulas e participamos, sempre que possível, das discussões e atividades durante 2 meses finais da disciplina. Nosso objetivo, passados 4 meses da primeira etapa, foi tentar identificar indícios da presença de visões epistemológicas contextuais nas discussões, formas de raciocínio, atitudes diante das novidades conceituais e teóricas apresentadas.

Destacamos que a área de Física de Partículas foi lecionada pelo mesmo docente da disciplina analisada na Etapa I deste estudo.

Pode-se dizer que o conhecimento atual da Física de Partículas é resumido pelo Modelo Padrão. Desenvolvido na década de 70 o Modelo Padrão é uma Teoria Quântica de Campos, consistente com a Mecânica Quântica e com a Relatividade Especial, que descreve interações fundamentais da natureza bem como as partículas fundamentais (férmions e bósons) que constituem toda a matéria. A teoria da interação forte (cromodinâmica quântica) e a teoria eletrofraca (que descreve as interações fracas e eletromagnéticas) modelam as forças entre férmions (identificados por doze tipos de “sabores”) acoplando aos bósons que “carregam” as forças. *Fótons* mediam a interação eletromagnética; *bósons W e Z* mediam a interação fraca; os *glúons* rotulados como pares de “cores” e “anti-cores” mediam a interação forte; os *bósons de Higgs* são responsáveis pela existência da massa inercial. Contudo, ainda existem muitas questões em aberto: a interação gravitacional (mediada pelos bósons *grávitons*, ainda não detectados) não é descrita pelo modelo e o

*bóson de Higgs* é o único bóson da teoria que não é “bóson de calibre”<sup>4</sup>. Assim, o *bóson de Higgs* tem um status especial na teoria, que foi motivo de várias controvérsias. O modelo padrão predisse a existência dos *bósons W e Z*, dos *glúons*, do *quark top* e do *quark charm* antes que estas partículas fossem observadas. Experimentos em grandes colisores, como o colisor de Elétron-Pósitron no CERN, têm confirmado muitas das previsões teóricas do Modelo Padrão.

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

No final desta área o trabalho escrito e entregue pelos professores-alunos incluiu uma questão em que era solicitado comentar as dificuldades do Modelo Padrão, desde uma perspectiva epistemológica.

Passamos à transcrição de parte das respostas:

PROF1: “O Modelo Padrão pôde explicar e resolver muitos problemas (...). Teorias não são definitivas, são boas na medida em que resolvem a maior quantidade de problemas, tornam-se mais abrangentes na tentativa de explicar o mundo. (...)”

PROF3: “(...) Em uma visão popperiana a teoria deve ser corroborada na prática. Neste enfoque existe a necessidade de detectar o gráviton, o bóson de Higgs e a anti-matéria prevista pela teoria do Modelo Padrão (...)”

PROF13: “(...) como a Física não é uma ciência acabada, ou seja, suas teorias não são definitivas pode-se dizer que o Modelo Padrão que atualmente é aceito pode mais tarde ser refutado pela comunidade científica. Caracteriza-se aqui, o critério de demarcação da testabilidade ou refutabilidade das teorias científicas de Popper. (...)”

PROF14: “O coisismo e o choquismo, muito utilizados no ensino médio e na academia pelos professores com seus alunos, são obstáculos epistemológicos muito fortes ao aprendizado significativo do Modelo Padrão das partículas elementares, aonde aos corpúsculos não se deveria atribuir forma ou localização definitiva, pela impossibilidade de observação e pelo princípio da indeterminação. (...) a produção e aniquilação das partículas normalmente são apresentadas como sendo iguais às colisões elásticas de pequenas esferas coloridas, como as bolinhas de bilhar, com forma e massa definida, o que impede os estudantes formarem a sua própria imagem das partículas elementares (...)”

O Modelo Padrão das partículas elementares, embora seja uma das mel-

<sup>4</sup> Bósons de calibre são descritos no espaço de transformações da Teoria de Grupos, por isso o Modelo Padrão é freqüentemente referido como  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ . Explicitando  $SU(2)$ : S=special; U=unitário; (2) representado por matrizes  $2 \times 2$ , ou seja,  $SU(2)$  é o grupo de matrizes unitárias  $2 \times 2$  com  $\det=1$ , no campo dos complexos, que representa as transformações associadas a momento angular (j,s) das partículas. O  $SU(3)$  é o grupo de matrizes  $3 \times 3$  associado à cromodinâmica (interação forte).

hores teorias feitas pelo homem (...) não é final ou definitiva. (...)."

PROF21: "(...) No ensino do Modelo Padrão, para ocorrer a aprendizagem significativa, devemos tomar o cuidado de não representarmos as partículas como esferas coloridas chocando-se umas com as outras e se assim forem representadas deixar claro de que é apenas um recurso didático, que estas partículas poderiam ser representadas por qualquer outra figura".

PROF22: "A existência do gráviton e do bóson de Higgs são, portanto, conjecturas que poderão ser refutadas, levando a uma reformulação da teoria ou construção de uma nova teoria (...)."

PROF23: "(...) De acordo com a epistemologia de Karl Popper (...) a existência do bóson de Higgs e do gráviton são conjecturas que pode vir a ser refutadas (...).

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

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

PROF24: "(...) As existências do gráviton e do bóson de Higgs, de acordo com a epistemologia de Karl Popper, são conjecturas. -segue citando definições oriundas do texto de apoio- (...).

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

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

PROF26: "(...) Segundo Laudan, a ciência dá preferência às teorias que resolvem o maior número de problemas empíricos, que é o caso do Modelo Padrão, pois as partículas previstas pelo modelo foram detectadas. (...) A detecção do bóson de Higgs ... é mais um problema conceitual".

PROF28: "(...) O Modelo Padrão rompe com o "modelo clássico"(...). Para entender o Modelo Padrão deve-se abandonar as representações pictóricas clássicas, pois elas representam um obstáculo epistemológico".

De maneira geral, pode-se ver pelas manifestações que a maioria dos professores-alunos pareceu associar bastante bem as dificuldades do Modelo Padrão com as visões epistemológicas contemporâneas. Cada qual dando mais ênfase a este ou àquele epistemólogo, mas revelando o mais importante: aparentemente algumas sementes das visões epistemológicas discutidas vingaram na mente desses professores.

O exame minucioso das afirmações e opiniões, no entanto, mostra que 50% dos professores (PROF3, PROF13, PROF22, PRO23 e PROF24) citaram ou associaram o Modelo Padrão à epistemologia de Popper. Como foi exatamente Popper quem iniciou o debate epistemológico contemporâneo, ou seja, deu início a uma nova era na compreensão da natureza da ciência, gerou uma ruptura ou uma revolução nos moldes kuhnianos, se preferirmos, as afirmações parecem indicar que tal ruptura foi o que mais marcou estes professores. Em outras palavras, suspeitamos que Popper pode estar representando o início de uma ruptura nas concepções

espiristas-identivistas dos próprios professores. Talvez por isso ele foi o mais lembrado. De qualquer modo, se isso pode ser tomado como um achado, ele é positivo, pois sugere uma contribuição efetiva das visões epistemológicas contemporâneas apresentadas, embora no caso do PROF23 e PROF24 pouco se possa afirmar, pois tiveram o cuidado de ser impessoais. Fizeram citações, mas não expressaram suas próprias opiniões.

Os PROF1 e PROF26 parecem ter seguido uma linha mais pragmática, associada à visão de Laudan, tomando o Modelo Padrão como uma teoria eficaz na resolução de problemas científicos. Fazemos referência à visão pragmática porque esta é, sabidamente, uma tendência bastante comum nas aulas de Física, ou seja, a resolução de problemas. Se assim for, o efeito é não menos positivo pois trata-se de uma visão contextual, que admite a flexibilidade das teorias, a comparação entre séries de teorias de forma que sobrevivem as mais eficazes e por isso mesmo, um processo de evolução da ciência aberto, não acumulativo, em construção.

Já os PROF14, PROF21 e PROF28 parecem expressar uma tomada de consciência dos problemas que as *noções obstáculos*, no sentido de Bachelard, podem trazer na transposição didática do Modelo Padrão para o ensino médio. Essa postura sugere que as visões epistemológicas contemporâneas, especialmente as discussões de sala de aula sobre as noções de coisismo, choquismo, corpúsculo, etc., contribuíram de forma efetiva para uma reflexão das práticas docentes destes professores. Sugere mais, que eles se deixaram conquistar

pelas novas idéias e que passaram a ter, no mínimo, visões parcialmente alinhadas às visões epistemológicas contemporâneas, no sentido de que estas (as novas visões) parecem ter funcionado como mediadoras de posições críticas e reflexivas.

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

Os metais são modelados, segundo a Mecânica Quântica, como um conjunto de átomos em interação eletrostática residual, ou seja, o núcleo e os elétrons mais internos formam o “caroço iônico” enquanto os elétrons mais externos formam os “elétrons de valência”. O modelo pressupõe então, arranjos (redes cristalinas) de “caroços iônicos” imersos em um “gás de elétrons” (os

elétrons de valência), que se propagam livremente pelo metal, já que estão fracamente ligados aos caroços iônicos. A rede cristalina não é ideal: apresenta “defeitos”, impurezas, imperfeições ou desvios de uniformidade. Ao aplicarmos um campo elétrico externo, a resistência elétrica pode ser entendida em termos de colisões dos elétrons livres com as imperfeições da rede cristalina.

Quando o professor da disciplina explicava, na segunda aula desta área, as características desse modelo ocorreu o seguinte diálogo:

PROF14: “O elétron não pode ser rebatido ao colidir com a rede cristalina?”

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

PROF14: “Ah! Sei...ele entra certinho (e sinalizou com a mão como se o elétron seguisse um caminho retilíneo entre os arranjos da rede cristalina)”.

Docente: “O elétron deve ser pensado como uma onda, está espalhado, não é pontual ...”.

Esse diálogo, entendemos, expressa de maneira inequívoca uma *maneira clássica*<sup>5</sup> de pensar e a presença das noções obstáculo nas crenças do PROF14. Justamente ele que de forma tão clara manifestou sua preocupação com os

<sup>5</sup> Visão clássica na Física contrasta conceitualmente da visão quântica, em que as partículas elementares são pensadas não como objetos com momento e posição definidos, mas como entes dotados simultaneamente de propriedades ondulatórias e corpusculares.

problemas que a noção clássica de corpúsculos, referindo-se às partículas elementares, pensados *como as bolinhas de bilhar, com forma e massa definida, o que impede os estudantes formarem a sua própria imagem das partículas elementares*, usando suas próprias palavras, deixou transparecer que elas (as noções obstáculo) permaneciam nele próprio fortemente enraizadas.

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

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

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

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

Na área de Física de Plasmas não foi diferente. Plasma foi introduzido



como o 4º estado da matéria: um gás ionizado, com grande quantidade de partículas que apresenta um comportamento coletivo. Como as partículas são carregadas e estão em permanente movimento elas geram campos elétricos e magnéticos. Sustenta, assim, oscilações de vários tipos (eletrostáticas, íon-acústicas, magnetosônicas, ondas de ciclotron de íons, onda de Alfvén, etc.). A principal dificuldade é manter e confinar o plasma, sem que ele volte ao estado neutro. Uma das maneiras mais usuais é o confinamento magnético em que as partículas ficam presas a um campo magnético uniforme descrevendo trajetórias circulares em torno das linhas de campo com um raio chamado “raio Larmor”, mas a componente paralela à linha de campo acaba gerando um movimento linear e as partículas espiralam (escapam) para as extremidades. A descrição ou modelo microscópico é estatístico e faz uso de conceitos como: função de distribuição, densidade, velocidade média, energia cinética média, função delta de Dirac, etc.

Foi possível constatar que quando os conceitos eram mais familiares causavam maior conforto. Por exemplo, quando o docente explicou que plasmas podem se manter também na natureza, exemplificou com magnetosferas planetárias; citou que o campo magnético intenso da Terra sofre influência do campo solar; quando o sol está mais ativo ocorre perturbação da magnetosfera terrestre e a terra torna-se um grande emissor de ondas de rádio. Este foi um assunto que propiciou grande debate na sala de aula: questões, troca de experiências e de informações com relação à interferência nas comunicações

(rádios AM, FM, período do dia em que a interferência é menor, etc.) por efeitos desses fenômenos.

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

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

PROF3: “Teoria do contínuo?”

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

PROF3: “Pode-se dizer qualitativamente que a equação da continuidade é ‘se eu perder massa tenho que ganhar massa?’”.

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

A expressão utilizada pelo docente ilustra bem a tendência que o grupo de professores-alunos tinha de fazer analogias simples dos novos conceitos com conceitos já estabelecidos e que se aplicam bem ao mundo cotidiano.

Intervenções e manifestações (como os diálogos aqui transcritos) sugerem o quanto as concepções iniciais dos professores-alunos ainda permaneciam enraizadas. A disciplina de Epistemologia e Ensino de Física analisada na

primeira etapa deste estudo serviu, possivelmente, para estremecê-las, como já foi dito. E muito provavelmente os professores-alunos tenham saído dela, repetimos, com as mesmas crenças com que chegaram. Isso não invalida, entretanto, a importância da disciplina de Epistemologia, seja na graduação ou na pós-graduação.

O contato com as visões epistemológicas contemporâneas, mesmo que ele seja breve e introdutório, a tomada de consciência da sua influência na forma de ensinar conteúdos de Física, pode proporcionar lentas mas importantes transformações de longo prazo nas crenças e concepções dos professores atuantes.

Uma disciplina desta natureza é talvez, uma oportunidade única de minimizar o perigo de continuarmos ensinando Física, e ciências, com visões superadas, empiristas-indutivistas da natureza da ciência. E se assim preferirmos continuar agindo, é *melhor fazê-lo conscientemente do que inadvertidamente*, no dizer de Bunge (1960).

### Conclusões

Este estudo exploratório teve o escopo de chegar a uma primeira aproximação para uma pesquisa mais aprofundada visando buscar evidências da influência de uma disciplina que apresenta de forma explícita as visões epistemológicas contemporâneas a professores atuantes, em conjunto com o método colaborativo presencial, para transformar as

concepções sobre a natureza da ciência desses professores e fornecer elementos motivadores para uma prática docente mais reflexiva.

Nossos achados indicam que a apresentação explícita de diferentes visões epistemológicas contemporâneas, mais o método colaborativo presencial, principalmente as discussões em grupos e a utilização de diferentes instrumentos heurísticos, podem ser ferramentas potenciais para o desencadeamento de um processo lento mas transformador das concepções, geralmente inadequadas, dos professores sobre a natureza da ciência.

Entretanto, não se pode afirmar que a maioria dos professores-alunos que participaram das duas etapas deste estudo tenham alcançado as mudanças desejáveis para alinhar suas concepções às visões epistemológicas contemporâneas. Para isso pretendemos desenvolver uma pesquisa mais profunda, realizar estudos de casos e tentar compreender como esse fenômeno de transformação se processa a longo prazo, se ocorre a transposição dessas idéias e se efetivamente contribuem para uma prática docente mais reflexiva e para uma melhoria na aprendizagem da Física, e também tentar visualizar a necessidade de introduzir reformulações ou atividades exploratórias, talvez a modelagem computacional, como forma de tornar mais claras as visões epistemológicas contemporâneas e sua importância na formação de professores de Física. ▣

## Referências

- Bachelard, Gaston. (1988). *La Philosophie du Non*, Tradução Joaquim José Moura Ramos, A Filosofia do Não, Editorial Presença, Lisboa.
- Bunge, Mario. (1960). *La Ciencia su método y su filosofía*, Ediciones Siglo Veinte, Buenos Aires.
- Bunge, Mario. (1974). *Teoria e Realidade*, Editora Perspectiva, São Paulo.
- Bunge, Mario. (2000). *Física e Filosofia*, Editora Perspectiva, tradução de Gita K. Guinsburg, São Paulo.
- Chalmers, Alan F. (1999). *O que é ciência afinal?*, Tradução de Raul Fiker, Editora Brasiliense, 1ª ed., 3ª reimpressão, São Paulo.
- Erickson, Frederick. (1986). *Qualitative Methods in Research on Teaching*, in: Wittrock, M.C. (Ed), *Handbook of Research on Teaching*, (3rd. ed.), New York.
- Feyerabend, Paul. (1975). *Contra o Método*, Tradução de Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg, Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1989. Título Original: *Against Method*.
- Kuhn, Thomas S. (1978). *A Estrutura das Revoluções Científicas*, São Paulo, Perspectiva.
- Lakatos, Imre. (1993). *Metodología de los Programas de Investigación Científica*, Alianza, Madrid.
- Laudan, Larry. (1977). *El Progreso y sus Problemas*, Encuentro Ediciones, Madrid.
- Massoni, Neusa Teresinha. (2005). *Estudo de Caso Etnográfico sobre a Contribuição de diferentes Visões Epistemológicas Contemporâneas na Formação de Professores de Física*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Física, UFRGS.
- Maturana, Humberto R. (2001). *Ciência, Cognição e Vida Cotidiana*, Editora da UFMG.
- Moreira, Marco Antonio. (2006). *Mapas Conceituais & Diagramas V*. Porto Alegre, Ed. do autor, 103 p.
- Popper, Karl. (1982). *Conjecturas e Refutações*, Brasília, Ed. UNB.
- Popper, Karl. (1985). *Lógica da Pesquisa Científica*, São Paulo, EDUSP.
- Toulmin, Stephen. (1977). *La Comprensión Humana*, tradução de Nestor Miguez, Alianza Editorial, Madrid.