

## A RELEVÂNCIA DO ENSINO SOBRE A CIÊNCIA: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA EM UM CURSO UNIVERSITÁRIO DE ELETROMAGNETISMO

*The relevance of teaching on science: report of an experience of an electromagnetism university course*

**Fabiana Botelho Kneubil** [fkneubil@ig.com.br]

**Elio Carlos Ricardo** [elioricardo@usp.br]

*Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo – FEUSP  
Av. da Universidade, 308 – São Paulo – SP - Brasil*

### RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma universidade pública do estado de São Paulo, em um curso de eletromagnetismo do bacharelado em física. Além dos itens específicos do programa, o curso teve uma ênfase em aspectos históricos e filosóficos que auxiliam na compreensão dos conceitos físicos e do formalismo matemático. Essa abordagem possibilitou o surgimento de discussões a respeito da natureza da ciência, que não são comuns em cursos convencionais de física. Acreditamos que esta experiência possa ser levada também para a formação dos futuros professores, ou seja, para os cursos de licenciatura, visando capacitá-los a ensinar física na perspectiva de uma educação *em* ciência e *sobre* a ciência.

**Palavras-chave:** história da física, filosofia da física, formação de professores, educação sobre a ciência.

### ABSTRACT

This paper presents a case study about a course on Electromagnetism offered to Physics undergraduate students at a public University at the state of Sao Paulo. In addition to the many specific topics, this course has an emphasis on historical and philosophical aspects, which could help students to understand physical concepts and mathematical formalism. This approach has opened room for questions concerning the nature of science, which is unusual in physics courses. We believe that this experience can be also carried in training future teachers, in order to enable them to teach physics in the perspective of the education in science and *on* science.

**Keywords:** history of physics, philosophy of physics, teacher training, education *on* science.

### 1 Introdução

Nas últimas décadas, é notório o crescimento de discussões e debates a respeito da inserção da história, filosofia e sociologia da ciência (HFSC) no ensino (Robilotta, 1985; Hamburger, 1988; Matthews, 1991, 1994, 1995; Silva e Martins, 2003; Forato, 2009). Na busca por um ensino mais contextualizado da ciência, elementos de epistemologia poderiam contribuir para dar significado e aproximar os estudantes de uma visão mais fidedigna acerca da produção do conhecimento científico. No Brasil, há aproximadamente 17 anos, algumas mudanças para a educação básica foram estabelecidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, a LDB/1996. Posteriormente, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN e PCN+) recomendaram um ensino baseado em competências e habilidades.

Nos PCN+, o conhecimento das ciências da natureza está organizado em três grandes grupos de competências: **representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sociocultural** (Brasil, 2002). Cada uma dessas competências é expressa por ações/verbos<sup>1</sup> que remetem, entre outros saberes, ao conhecimento da natureza, da construção e da utilização da ciência, do ponto de vista epistemológico<sup>2</sup>, cultural e tecnológico. Abaixo, citamos como exemplo competências de cada grupo mencionado que, a nosso ver, estão relacionadas com os aspectos epistemológicos da ciência.

**Competência 1: Representação e Comunicação**

Símbolos, códigos e nomenclaturas: Reconhecer e utilizar adequadamente na forma oral e escrita símbolos, códigos e nomenclatura da linguagem científica.

**Competência 2: Investigação e Compreensão**

Modelos explicativos e representativos: Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos.

**Competência 3: Contextualização sociocultural**

Ciência e tecnologia na história: Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

Observa-se que tais competências dizem respeito à natureza da ciência e aos processos de sua construção e uso. Elas podem ser abordadas nas aulas de ciências, independentemente do conteúdo que esteja sendo tratado. Por isso, a ampliação da ideia do que sejam os conteúdos escolares, a partir da noção de competências, permite que o processo de construção do conhecimento científico, em suas esferas históricas, filosóficas e sociais, seja incorporado aos programas escolares, o que é sugerido por vários autores (Robilotta, 1988; Zanetic, 1988; Martins, 2001; Peduzzi, 2001; Villani, Dias e Valadares, 2009).

Embora o discurso de reformas na educação faça parte do cenário nacional, na prática observa-se que sua implementação em sala de aula ainda está longe de acontecer (Ricardo e Zylbersztajn, 2002 e 2007). Além disso, existem muitas dificuldades que não estão relacionadas especificamente ao ensino de física. Devido a componentes sociais, políticos e culturais, a alteração de um currículo nem sempre é fácil de ser implantada. No caso do ensino médio, por exemplo, os professores vivem um permanente dilema entre focar o ensino dos conceitos, com o devido rigor e aprofundamento, explorando aspectos epistemológicos da ciência, e um ensino que visa à preparação para os exames vestibulares (Borges, 2006).

No cenário internacional, essas discussões também acontecem e Matthews (1995) é uma das principais referências que defendem um ensino não apenas de ciência, mas um ensino *sobre* a ciência, inclusive para enfrentar uma crise no ensino das ciências. O autor destaca que:

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e

---

<sup>1</sup> Exemplos desses verbos: reconhecer, utilizar, representar, identificar, elaborar, consultar, articular, integrar, sistematizar.

<sup>2</sup> Neste trabalho, consideramos “epistemologia” como sendo o estudo e a reflexão de aspectos histórico-filosóficos presentes na construção do conhecimento científico.

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 de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula 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 o espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas (Matthews, 1995, p.165).

Vários países, além do Brasil, passaram por reformas nos seus sistemas de ensino nas últimas décadas. Na Conferência do GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique) de 2006, em Amsterdam, vários trabalhos foram apresentados como alternativas metodológicas para uma educação sobre a ciência (Hestenes, 1987; Kranjc, 2006; Tseitlin & Galili, 2006). Nessa conferência, a abordagem principal foi o entendimento da ciência através dos modelos, mas outros aspectos do conhecimento científico também foram discutidos como a questão da realidade, da fenomenologia, do formalismo matemático, das definições e conceitos, resolução de problemas e teorias.

Esses trabalhos indicam uma tendência mundial de uma reestruturação do currículo de ciências, baseada não apenas em conteúdos específicos, mas em abordagens diferenciadas que possam enfatizar competências e habilidades mais amplas relacionadas aos aspectos da natureza da ciência. Existe uma preocupação acerca do ensino de história, filosofia e sociologia da ciência, verificada pela grande quantidade de publicações em revistas, livros e congressos da área de ensino de física.

Diversas pesquisas atuais tem se ocupado em oferecer estratégias, metodologias e experiências que possibilitam incluir a natureza e a construção da ciência nos programas escolares (Höttecke, Henke & Riess, 2010; Villani, Dias & Valadares, 2009; Rudge & Howe, 2009). Entretanto, embora haja certo consenso da importância de uma reforma curricular e também haja muitos trabalhos que discutem esse tema, não significa que ele esteja exaurido, ou que os aspectos históricos e filosóficos da ciência estejam efetivamente presentes nas salas de aulas.

Segundo Kapitango-a-Samba (2011), existem duas tendências que descrevem essas perspectivas do ensino sobre a ciência: **o ensino da própria história e filosofia da ciência e a inclusão da abordagem desses aspectos no ensino de ciências naturais**. O autor se refere a essas tendências como categorias e, em relação à primeira, sugere ser uma “*disciplina acadêmica autônoma no quadro de tantas outras, com estatuto específico e reconhecimento próprio no campo universitário*” (p.42). Na segunda categoria, “*defende-se o uso de casos de HFC e contextualizações como possíveis fontes de inspiração para o ensino e a aprendizagem dos conteúdos/conceitos científicos ou como estratégia de abordagem didática daqueles conteúdos, portanto, enquanto procedimento metodológico-didático reflexivo e prescritivo para o campo escolar*” (p.43).

Essa questão se estende ao nível universitário e verifica-se que a formação dos estudantes, tanto de bacharelado quanto de licenciatura em física, muitas vezes, é focada em aulas onde há uma supervalorização do formalismo matemático e da obtenção de resultados, deixando de fora

discussões epistemológicas da ciência, bem como os contextos histórico, cultural e sociológico em que o conhecimento foi produzido. Essa lacuna fica, em geral, para ser preenchida pelos próprios estudantes, o que pode retardar o entendimento da ciência como um todo. Por isso, caberia uma reflexão a respeito da função do ensino dentro das universidades e se a forma como ele tem sido feito propicia uma aprendizagem eficiente nesses aspectos, afinal, não podemos transferir a responsabilidade de formação exclusivamente para os alunos.

Observa-se que, mesmo quando dominam os aspectos formais das teorias, os alunos dos cursos de graduação em física têm dificuldades em interpretar fenômenos simples. Parece haver uma grande distância entre o formalismo e a realidade; e o principal objetivo da física como ciência, que é o de oferecer explicações para os fenômenos naturais, fica enfraquecido diante de uma abordagem com pouco significado e apoiada excessivamente, ou exclusivamente, no formalismo matemático empregado apenas na resolução de listas de exercícios. Com uma formação dessa natureza, ficará difícil para o futuro professor partir para novas formas de apresentar os conteúdos de física aos seus alunos. É importante lembrar que os alunos da licenciatura serão professores e, não tendo uma formação que evidencie os aspectos da natureza da ciência, tenderão a reproduzir as práticas de ensino que tiveram contato (Borges, 2006).

Embora nos cursos de licenciatura sejam oferecidas disciplinas pedagógicas, que visam a ampliar o leque de metodologias para o ensino de ciências, estas parecem ser insuficientes para uma formação completa do professor. Uma vez que elas parecem ser desconectadas dos conteúdos específicos de física, os futuros professores tratam-nas como ilhas isoladas de conhecimento. Desse modo, não podemos supor que os alunos da licenciatura, futuros professores, sempre consigam articular as discussões, muitas vezes abstratas, das disciplinas didático-pedagógicas com o conteúdo de física, também abstrato, dado nas disciplinas técnicas e específicas. As disciplinas históricas, filosóficas e didáticas, tais como “Evolução dos Conceitos de Física”, “História da Física”, “Metodologia do Ensino de Física”, “Didática das Ciências Experimentais”, “Ciência e Cultura”, “Tópicos de História da Física Moderna”, “Filosofia da Física”, entre outras, muitas vezes, são optativas e parecem não ser suficientes para dar uma formação mais completa ao aluno. Elas são disciplinas autônomas, como aponta Kapitango-a-Samba (2011) em sua primeira categoria mencionada anteriormente.

Com essas disciplinas isoladas no currículo, muitas vezes, não ocorre uma inserção adequada dos aspectos epistemológicos e as discussões podem parecer artificiais. Essas disciplinas transmitem a história, a sociologia e a filosofia de casos/exemplos da ciência previamente escolhidos, o que pode dar uma sensação falsa da natureza epistemológica do conhecimento científico. Em geral, os exemplos discutidos são aqueles em que os aspectos epistemológicos são mais evidentes e podem ser mais facilmente citados. Com essa perspectiva de ensino, algumas questões merecem ser consideradas: i) o conteúdo de física obrigatório, considerado formal, pode/deve ser separado dos aspectos epistemológicos? ii) todos os conteúdos de física podem ser abordados sob uma perspectiva epistemológica? iii) um ensino de epistemologia, separado dos conteúdos formais, poderia dificultar a compreensão da ciência como um todo? iv) esse formato cumpre o principal objetivo da inserção da HFSC de passar uma visão adequada da construção da própria ciência?

Quando se elegem alguns elementos de epistemologia (história, filosofia e sociologia) para serem abordados no ensino, inevitavelmente limita-se o número de exemplos a serem dados e a aula fica presa a determinados conteúdos que podem dar suporte a ela. Essa metodologia visa a desenvolver um entendimento epistemológico acerca da geração e validação de um

determinado conhecimento científico. No entanto, embora seja uma tentativa válida, a HFSC isoladamente pode não ajudar os alunos a atingirem um entendimento adequado acerca da geração e validade do conhecimento científico.

Diante disso, não seria possível fazer o caminho contrário? Ou seja, em uma aula de conteúdos específicos poderiam ser introduzidos aspectos epistemológicos referentes aos assuntos trabalhados? Rudge e Howe (2009) defendem uma abordagem de ‘*uso instrumental da história da ciência*’, ao invés de um ensino da história da ciência por si só. Segundo os autores, esse tratamento em aulas de ciências oferece oportunidade para os alunos pensarem como cientistas e refletirem sobre o que os cientistas fizeram no passado, “*em vez de ficar recapitulando exatamente o que aconteceu do ponto de vista histórico*” (Rudge e Howe, 2009, p.566, tradução nossa).

Essa diferenciação na inserção da natureza da ciência nas aulas de ciências também é feita por Abd-El-Khalick (2012) quando distingue um ensino *sobre* a natureza da ciência de um ensino *com* a natureza da ciência. O autor acredita que um professor com um bom entendimento dos aspectos epistemológicos pode adotar um ambiente de aprendizagem, dentro da sala de aula, compatível com uma *prática científica autêntica*. Partindo-se da hipótese de que os estudantes desenvolvem o entendimento do conhecimento científico de maneira semelhante à comunidade que o gera, um professor de ciências com uma vivência considerável em aspectos da epistemologia pode abandonar a prática tradicional, em favor de uma prática de ensino que propicie um ambiente legítimo de aprendizagem em ciência. Essa nova atitude do professor é o que Abd-El-Khalick (2012) chama de ensinar com epistemologia (*‘teach with NOS<sup>3</sup>’*) e não apenas ensinar epistemologia.

Sabendo-se que a aprendizagem é um processo extremamente complexo e que exige do professor uma profunda compreensão de como a ciência é construída e evolui, parece razoável oferecer aos futuros professores, nos cursos de licenciatura, uma formação que tenha abordagem histórica e filosófica da ciência. Espera-se, após essa vivência, que os futuros professores incorporem tal postura nas suas aulas. Assim, parece-nos relevante mostrar aos alunos que a física, sendo uma construção humana e histórica, possui aspectos intrínsecos que são indissociáveis do corpo de conhecimento que a constitui.

Assim, queremos argumentar que a inserção de elementos de epistemologia deveria ser feita em aulas de conteúdo de física e não separadamente, como costuma acontecer em aulas específicas de história e filosofia da ciência. Por isso, mostramos neste trabalho a possibilidade de abordar e fomentar essas discussões em disciplinas específicas de física como, por exemplo, em disciplinas de eletromagnetismo, relatividade, física moderna, etc. Além disso, uma abordagem diferenciada em aulas de conteúdo específico pode despertar maior interesse dos alunos em empreender discussões sobre a natureza da ciência. Questionamentos sobre a dimensão teórica e fenomenológica do conhecimento físico, sobre representações simbólicas, sobre a matemática como linguagem estruturante do pensamento físico, sobre relações entre abstrato e concreto, sobre noções de realidade, sobre o ato de pensar a natureza, não aparecerão se não for criado um ambiente favorável.

Nessa perspectiva, iremos mostrar que a introdução explícita de alguns elementos de epistemologia, em aulas focadas em conteúdos de física, pode favorecer também um melhor

---

<sup>3</sup> NOS é a sigla para ‘nature of science’.

entendimento *sobre* a física. Além disso, defendemos que as dimensões histórica, filosófica e sociológica da ciência podem ser consideradas parte do conteúdo a ser ensinado, uma vez que a ciência, em seus aspectos constitutivos, é composta por todas elas.

## 2 Metodologia

Para a realização desta pesquisa, gravamos um curso de eletromagnetismo, que ocorre na disciplina *Física III*, oferecido em 2010 como disciplina obrigatória a 86 alunos do 2º ano do curso de bacharelado em física na Universidade de São Paulo.

O curso tratou de temas desde a eletrostática até a eletrodinâmica, encerrando a teoria do eletromagnetismo com as quatro equações de Maxwell. Possui uma carga horária de três aulas por semana, com duas horas-aula cada uma (seis horas-aula semanais), totalizando 42 aulas no semestre. Os temas tratados em cada uma das 42 aulas foram:

1. O universo físico	22. Auto-energia: cargas puntiformes
2. O eletromagnetismo	23. Divergente: lei de Gauss diferencial
3. A matéria: condutores e dielétricos	24. Rotacional: lei de Faraday
4. Fenômenos: eletroscópio	25. Resumo da eletrostática
5. Densidades de carga: sistemas de coordenadas	26. Corrente elétrica
6. Integrais múltiplas	27. Metais e baterias
7. Integrais múltiplas	28. Lei de Ohm
8. Carga elétrica: propriedades	29. Lei de Biot e Savart
9. Lei de Coulomb: princípio da superposição	30. Lei de Biot e Savart: aplicações
10. Lei de Coulomb: princípio da superposição	31. Lei de Ampère
11. Lei de Coulomb: princípio da superposição	32. Força de Lorentz
12. Fluxo – lei de Gauss	33. Força de Lorentz: efeito Hall
13. Lei de Gauss: aplicações	34. Lei de Faraday
14. Lei de Gauss: aplicações	35. Lorentz ou Faraday
15. Lei de Gauss: aplicações	36. Lorentz ou Faraday
16. Forças conservativas: energia potencial	37. Auto-indutância
17. Energia potencial: aplicações	38. Auto-indutância
18. Potencial eletrostático	39. Densidade de energia magnética
19. Gradiente	40. Corrente de deslocamento
20. Densidade de energia eletrostática	41. Corrente de deslocamento
21. Auto-energia da esfera	42. Equações de Maxwell

Tabela 01: temas tratados na disciplina Física III.

O professor da disciplina, pesquisador em física nuclear, tem como característica organizar suas aulas de modo que questões epistemológicas sejam trabalhadas, tanto neste curso analisado, quanto em outros cursos a ele atribuído. Trata-se de um professor com longa experiência na docência e, nesse sentido, diferenciado<sup>4</sup>. Todavia, é importante destacar que o professor não se apresenta como filósofo da ciência, porém, sua atitude de proporcionar questionamentos de natureza epistemológica é intencional. Como pesquisador em física, pode-se dizer que procura testemunhar e questionar como ela é, de fato, o que aproxima os alunos da comunidade dos físicos e do paradigma vigente, como se verá em alguns relatos mais adiante.

Assim, além dos aspectos formais e conceituais da física, o curso teve um enfoque em aspectos históricos e filosóficos da construção das teorias físicas. As aulas foram transcritas e pudemos verificar o aparecimento de discussões com um envolvimento muito grande por parte dos alunos, o que costumeiramente não acontece em disciplinas com enfoque estrito no conteúdo técnico-científico.

Os diálogos e discussões parecem evidenciar questionamentos que enriquecem a compreensão acerca da natureza da ciência e da sua construção. Vários aspectos intrínsecos ao conhecimento físico apareceram e foram separados em algumas categorias, que surgiram, em linhas gerais, dos próprios dados. Além disso, refinamos essas categorias em 4 grupos de análise que refletem, de certa forma, temas que estão muito presentes na literatura e são discutidos por alguns epistemólogos bem conhecidos no ensino das ciências<sup>5</sup>. Essa opção metodológica se aproxima da concepção de pesquisa qualitativa definida por Triviños (1987), segundo o qual, as discussões já existentes na literatura e uma análise inicial exploratória dos dados podem auxiliar na sua categorização. As categorias utilizadas foram:

1. *Matemática como linguagem e sua representação simbólica.*
2. *Noções de realidade e a relação entre concreto e abstrato.*
3. *Construção de uma teoria e o papel do experimento em física – fenomenologia.*
4. *Questões sociológicas: a física como construção humana.*

### **3 Discussão dos Resultados**

Os diálogos que exemplificam as categorias acima estão apresentados e discutidos a seguir. Em alguns casos, podem parecer longos, mas procuramos manter a unidade da ideia, a fim de ilustrar a discussão. Indicamos também em que aula (tema) o diálogo ocorreu.

#### ***3.1 Matemática como linguagem e sua representação simbólica***

##### Aula 9: Lei de Coulomb: princípio da superposição

---

<sup>4</sup> Karam (2012) analisa os cursos de eletromagnetismo e relatividade desse mesmo professor.

<sup>5</sup> Tais como M. Bunge, T. Kuhn, K. Popper, G. Kneller, G. Bachelard, E. Cassirer, M. Paty, entre outros.

O professor estava representando os vetores  $\vec{r}_p$  (descreve a posição de um ponto P) e  $\vec{r}_Q$  (descreve a posição de uma carga) no espaço cartesiano xy para fazer a subtração vetorial na expressão do campo elétrico. Diante do desenho na lousa, um aluno questiona a necessidade de fazê-lo. Veja o seguinte diálogo:

Aluno: *Por que eu estou desenhando tudo isso antes de... não é mais fácil jogar tudo na equação e depois se preocupar com a geometria do problema?*

Prof.: *Como você vai jogar na equação sem saber o que é  $\vec{r}_p$  e  $\vec{r}_Q$ ?*

Aluno: *Trabalha como vetor simbólico.*

Prof.: *Mas ele simboliza o quê?*

Aluno: *Eu não posso colocar “ $\vec{r}_p - \vec{r}_Q$ ” ...?*

Prof.: *Pode, mas se você não fizer esse desenho, você não sabe do que você está falando! Esse que é o problema... o seu formalismo não está costurado no problema.*

Prof.: *Olha... Você nem consegue levar o problema adiante desse jeito. Física é dura! Por quê? Porque um dos motivos é a presença da matemática na física. Ela só ganha sentido se a gente costurar o símbolo em alguma coisa. O que é costurar o símbolo? [desenha um símbolo chinês na lousa, supostamente desconhecido dos alunos] Se eu chegar para você e falar “a coisa que isso aqui simboliza é uma das piores coisas que já aconteceram na humanidade”, qual é a sua reação para isso? Eu diria que provavelmente não haverá reação nenhuma. Você não entende. **Então, o significado do símbolo não está no desenho.** Ou seja, culturalmente nós aprendemos a “costurar” um significado nisso daqui. O que eu estou fazendo no eletromagnetismo? Fazendo a inserção cultural do símbolo! A gente tem que aprender a costurar esse símbolo com a realidade. E aí que entra a questão dele, se você começar a fazer a conta sem saber o que o símbolo representa, a sua conta não tem significado!*

A discussão da relação entre a matemática e a física é algo que não costuma aparecer de maneira explícita em aulas específicas de física. Diante da dúvida do aluno, o professor coloca de maneira clara a importância da matemática e da simbologia para o conhecimento científico. Trata-se de um aspecto inerente à forma como a física se expressa que, muitas vezes, não é percebido espontaneamente pelos alunos.

A matemática, assim como a física, possui muitas facetas. No âmbito da linguagem, ela é estruturante do pensamento físico (Pietrocola, 2002), servindo como ferramenta para organizar ideias e conceitos abstratos. No mundo científico a palavra deixa de ser suficiente e os símbolos e expressões matemáticas passam a ser, não só úteis, como essenciais. Karam (2012), ao analisar aulas de física em situações semelhantes a essa, destaca as habilidades *estruturais* da matemática e afirma que tal habilidade consiste em “*pensar matematicamente os fenômenos do mundo físico, ou seja, se utilizar de estruturas matemáticas para a construção teórica de conceitos*” (p.57).

Conforme aparece no diálogo acima, *o significado do símbolo não está no desenho*. O significado de qualquer símbolo está apoiado na estrutura da linguagem e nas relações desta com o mundo. Na física, cada expressão e símbolo matemático possui um significado muito preciso na representação de conceitos. De modo geral, os conceitos estão organizados em redes, e o

significado de cada um deles é determinado por um feixe ou cruzamento de linhas, que só pode ser plenamente entendido no âmbito dessas relações (Kneubil, 2006).

### 3.2 Noções de realidade e a relação entre concreto e abstrato

#### Aula 8: Carga elétrica: propriedades

Muitas vezes, em aulas de física, trabalhamos com os conceitos sem nos questionarmos o que eles realmente são. Apenas operamos com eles e as discussões sobre o entendimento e a existência dos conceitos físicos são deixadas de lado. Essas questões apareceram quando o professor introduziu o conceito de carga elétrica.

Prof.: *Pessoal, o que pode ser uma carga elétrica? [tira o cinto e dá um nó] Imagina que a carga elétrica seja uma torção de algo. O nó existe? Nó é substantivo? Ou é adjetivo? É um enorme problema conceitual para gente. Ou seja, é objeto mesmo ou é uma qualidade do cinto? Se ele for qualidade do cinto, ele é adjetivo, porém a gente trata isso como substantivo. Ele tem a instabilidade temporal que permite a gente chamar de objeto porque ele dura, mas por outro lado ele não é a substância, a substância aparentemente é o cinto. Corre o risco de carga elétrica ser isso! Ou seja, corre o risco de carga elétrica, de fato, não existir e ela ser uma configuração do campo.*

Aluno: *Aí o campo geraria a carga?*

Prof.: *Não é gerar nesse sentido. Talvez, o campo exista e ele se enrugou... Claro que não é um nó assim... É uma linguagem metafórica. O campo arranjado de um certo jeito funciona como carga elétrica.*

Aluno: *Se a carga for só uma configuração do campo... Então o campo em si, existe?*

Prof.: *A gente não sabe isso... São questões além do que a gente sabe....*

O exemplo ilustra uma situação em que podem ocorrer discussões mais filosóficas entre o que seja realidade concreta e o que seja realidade abstrata. Na física, a distinção entre algo concreto e algo abstrato pode não ser tão nítida. Quando se pensa em uma estrutura/teoria costuma-se distinguir o que é um conceito do que é uma relação entre conceitos. Os conceitos representam ideias ou grandezas como, por exemplo, massa, tempo, carga elétrica, energia e as relações, por outro lado, podem ser características que adjetivam esses objetos ou que indicam uma dependência mútua entre eles. Porém, o significado de um conceito não está nele mesmo, mas sim nas relações que o sustentam. Se tentarmos interpretar de modo rígido as entidades físicas como “coisa” ou “relação”, estaremos criando um problema muito complicado, pois os conceitos físicos estão totalmente sustentados por suas relações. Em um conceito aparentemente simples, como carga elétrica, citado na aula, a discussão já pode ir muito longe.

Em uma primeira análise, normalmente encontrada nos livros didáticos, a carga elétrica é apresentada como um substantivo real e concreto e o campo elétrico como uma manifestação da carga. Mas, o que é “mais” real, a carga ou o campo? O conceito de campo é, atualmente, um dos pilares mais importantes que sustentam a física. Seja ele elétrico, magnético ou gravitacional, explica as interações entre massas e cargas e, à região do espaço onde ele exista, está associada

uma característica, ou uma quantidade de energia. Embora seja impossível separar carga-campo, as manifestações do campo e suas propriedades são bastante evidentes, seja num caso simples de eletrização por atrito, seja em uma situação mais complexa, como a radiação eletromagnética produzida por deformações nas linhas de campo de uma carga acelerada. A entidade campo parece ser tão real e palpável quanto a entidade carga elétrica. Sobre esse assunto, Einstein e Infeld (1939) ressaltam que *“uma nova realidade foi criada, um novo conceito para o qual não havia lugar na descrição mecânica. Lentamente e com luta, o conceito de campo firmou para si um lugar de predominância na física e permaneceu um dos conceitos físicos básicos. O campo eletromagnético é, para a física moderna, tão real quanto a cadeira que sentamos”* (p. 125).

Na mesma aula, o professor falava de partículas puntiformes e surge outra questão:

Aluno: *Como pode uma coisa não ter tamanho e existir?*

Prof.: *Pois é... É um problema filosófico... Por outro lado, por que uma coisa para existir precisa ter tamanho? Que é uma pergunta tão básica quanto a sua primeira. A palavra “EXISTIR” [escreve na lousa] em física é muito complicada. A partícula existe... E o espaço, existe? Tempo existe? Eu acho que existe, mas eles existem de um jeito muito... Muda de significado quando usa num contexto diferente.*

Aluno: *Embora possa parecer uma simplificação “partículas puntiformes”, não sei... Eu imagino que cause problemas com singularidades, densidade de energia infinita, problemas com massa....*

Prof.: *Pois é, é verdade. Isso é um problema... É uma bola de ferro que a gente carrega... Essa coisa amarrada na sua perna que não deixa você correr na velocidade que você gostaria. Isso tem a ver com epistemologia. Como que você conhece o mundo? Você conhece o mundo através da observação? **O que você mede? Você mede força? Você mede tempo? Você tem um monte de ideias por trás.** E essas ideias dependem da cultura.*

Observa-se que nesse diálogo outros dois aspectos intrínsecos à natureza do conhecimento físico foram suscitados, como a questão da medição e da forma indireta com que a física expressa o mundo. Nesse sentido, o *“nosso conhecimento do mundo não é um conhecimento direto”*, a física tenta se aproximar ao máximo da realidade, porém, a explicação científica *“não se constitui numa cópia da realidade, mas numa representação imperfeita da mesma”* (Pietrocola, 2004, p. 22).

*O que você mede? Você mede força? Você mede tempo? Você tem um monte de ideias por trás.* Com a evolução da física, a observação e medição dos fenômenos são carregadas de ideias e teorias pré-existentes. Os conceitos estão relacionados entre si por expressões matemáticas, em que algumas grandezas são mensuráveis e outras não. Principalmente no mundo microscópico, onde os instrumentos não alcançam, as ideias estão relacionadas e se consegue chegar a um valor de uma grandeza por meio da medição indireta, ou seja, na prática outras grandezas são medidas. É interessante notar, pela fala do professor *“O que você mede? Você mede força? Você mede tempo? Você tem um monte de ideias por trás”*, que essa medição só é possível se existir uma teoria que a preceda.

### 3.3 Construção de uma teoria e o papel do experimento em física – fenomenologia

#### Aula 8: Carga elétrica: propriedades

Outra questão epistemológica sobre a construção de uma teoria, envolvendo leis básicas, apareceu quando o professor comentou sobre a lei de conservação de carga. Nessa ocasião, ele disse que nunca foi observado um processo em que essa lei não fosse válida.

Aluno: *Mas, não ser observado garante que não pode acontecer?*

Prof.: *Não garante, mas... Nesse sentido a física é conservadora. A gente observou 10 mil processos desse tipo aqui. Agora, pode acontecer? Pode... Mas é muito mais econômico você supor que não pode. Esse livro [refere-se ao livro “A estrutura das revoluções científicas”, de Thomas Kuhn] introduziu a palavra paradigma... O que ele fala é que uma ciência madura é uma ciência que você não questiona todos os fundamentos o tempo todo, senão você não progride. A gente é conservador, mas aberto às mudanças. A gente trabalha com a hipótese... Essa hipótese é muito sólida – que carga elétrica é conservada – agora, pode não se conservar? Pode. Agora, quem vai decidir isso? A física experimental! **Você pode fazer modelo com a sua mente e tal...** Mas a gente só vai acreditar que isso é verdade se alguém medir isso.*

Nessa resposta, podemos verificar que além do aspecto da construção da ciência, o professor destaca outras duas questões fundamentais, a saber, a importância da física experimental e a construção de modelos para entender a realidade. Isso poderia proporcionar uma discussão, por exemplo, acerca do papel do empirismo e do racionalismo, evidenciando-se a necessidade de reconhecer essas vertentes filosóficas na análise da construção do conhecimento científico. A dicotomia entre teórico e empírico torna imprescindível o uso de modelos na física. Para citar um dos autores que aborda esse tema, podemos recorrer a Bunge (1974, p. 63), segundo o qual “*os modelos teóricos ou ideias representam, de uma maneira mais ou menos simbólica, convencional e indireta, com certa aproximação, alguns traços da constituição e comportamento de sistemas físicos. Todo modelo assim é parte de pelo menos uma teoria física*”. Desse modo, nenhuma teoria física representa exatamente um sistema físico, pois se ela é constituída de conceitos (que Bunge chama de *conceitos-chave*), e estes conceitos não são empíricos, as teorias não formam as imagens do objeto físico, apenas o representam de maneira articulada e esquemática.

### 3.4 Questões sociológicas: a física como construção humana

A questão sociológica da ciência é algo que, muitas vezes, passa despercebido pelos alunos nas aulas de física. Sendo a física uma construção humana, levantar questionamentos sobre nossa relação com o mundo (questão pessoal) e a artificialidade dos objetos é importante para o entendimento da natureza intrínseca do conhecimento científico. Na primeira aula desse curso de eletromagnetismo, no primeiro minuto, o professor inicia a discussão perguntando “*o que existe no Universo?*”, para levar os alunos a uma discussão acerca do que a física estuda.

#### Aula 1: O Universo Físico

Prof.: *O que existe no Universo?*

Alunos: *Natureza, Inteligência, Calor, Átomo, Energia, Matéria, Amor, Sexo, Pagode, Cerveja, Deus...*

Prof.: *Pessoal, o jeito que essas coisas existem é o mesmo?*

Alunos: *Não.*

Prof.: *Então, só isso torna a física extremamente difícil... Por que isso? Mas, na nossa vida diária a gente sabe administrar isso.... Então, cada coisa existe de um jeito completamente diferente da outra. Pega a primeira palavra que surgiu aqui que foi Natureza. Qual é o contrário de natural?*

Aluno: *Artificial.*

Prof.: *Artificial significa o quê? O que é uma coisa artificial?*

Aluno: *Que foi criada pelo homem.*

Prof.: *Artificial é criado pelo ser humano... Artificial... Então, isso é um problema da física e fora da física também... Por quê? O ser humano... Quem inventou a palavra “artificial”? Está na natureza? Não! Então quem inventou a palavra foi o ser humano... Isso significa que quando você olha artificial como contrário ao natural, o que o ser humano está dizendo? Que ele é natural e ao mesmo tempo não é? Isso já coloca uma posição extremamente tensa do ponto de vista intelectual do problema. E aí, é um negócio complicadíssimo você entender... Pessoal, cachorro é natural? Existe cachorro na natureza?*

Aluno: *Não existe cachorro artificial! Eu não conheço nenhum cachorro artificial... Talvez o de pelúcia!*

Prof.: *“Cachorro” é natural? Se a gente vivesse num mundo sem seres humanos cachorro existiria? Não!! Então cachorro é um exemplo interessante porque é um bicho bastante natural, mas é uma invenção humana. Ou seja, sem ser humano, cachorro não existiria... E não existiria “atrito”, e coisas desse tipo assim... Todas essas coisas foram adaptações longas do ser humano influenciando no mundo em que ele vive. Ok? E isso significa o quê? Isso tem tudo a ver com física, porque a gente está vendo como é a nossa relação com o mundo. Física trata disso. A nossa relação com o mundo!! Como que a gente se relaciona... A nossa relação com o mundo é tudo menos simples!*

Aluno: *Então, quer dizer que um objeto não existe se não houver alguém para, um observador para....*

Prof.: *Isso é uma questão filosófica... Principalmente no séc XIX, teve uns filósofos que olharam isso daí... Mas o que eu estou querendo dizer é mais simples. Esse pedaço de giz, por exemplo, não existiria nessa forma se não fosse o ser humano. Alguém pegou um material qualquer e colocou nessa forma. Se você pegar a montanha... Até para a montanha, esses filósofos falavam: será que a montanha existe? Isso é um debate filosófico... Eu queria fugir porque ele é uma complicação dentro da complicação... Mas, o que eu queria chamar atenção é o seguinte... O que a gente toma como simples... Para estudar física... Você saiu da escola e veio estudar um negócio muito complexo aqui, mesmo sem se preocupar com o problema filosófico desse tipo...tá? Muito complexo por quê? Porque a gente está estudando aqui a nossa relação com o mundo....*

Nessa discussão de início de curso, o professor tenta fazer um recorte e dizer o que a física estuda, já que num Universo maior existem muitas outras coisas com que a física não se preocupa. É interessante notar que essa discussão tem uma abordagem filosófica e coloca a ciência como uma forma de se relacionar e entender o mundo à nossa volta.

A noção de existência é muito antiga e complexa, pois está intimamente relacionada com a realidade que nos cerca. Para o senso comum, a realidade é objetiva e uma só, apenas aquela perceptível aos cinco sentidos. Mas, para o espírito científico, o conhecimento e a existência dos objetos são mais difíceis e profundos. Para Bachelard (1978, p. 32), “... **tudo é real**, o elétron, o núcleo, o átomo, a molécula, a micela, o mineral, o planeta, o astro, a nebulosa. Em nosso ponto de vista, nem tudo é real da mesma maneira, a substância não tem, em todos os níveis, a mesma coerência: **a existência não é uma função monótona**; não pode se afirmar por toda parte e sempre no mesmo tom.”

Muitas aulas depois dessa, na segunda metade do curso, na aula 25, o professor falava da importância da epistemologia para a vida de um físico, particularmente na vida dele. O professor contou que tinha um “problema” que era entender a mecânica quântica... e ele não a entendia. Pergunta para a turma de alunos: “*quem aqui nunca pensou em desistir da física?*”. E esse “problema”, para ele, foi resolvido com apoio da epistemologia. Em suas palavras, conta que descobriu que “*a MQ não pode ser entendida do jeito que eu queria entender*”, e ficou claro para ele que estava gastando energia em um problema impossível, pois a teoria se propõe a responder algumas questões e não outras. Após essa fala, um aluno pergunta:

#### Aula 25: Resumo da Eletrostática

Aluno: *Dá para entender a mecânica quântica ou dá só para usar?*

Prof: *Essa é uma pergunta importante. Tem outra coisa que entra nesse jogo da nossa relação com a ciência: a ciência é feita por seres humanos. Então ela tem uma sociologia. E essa questão que você coloca, por algum motivo que a gente não entende claramente, gerações diferentes de físicos gostaram de respostas diferentes para essa questão. Por exemplo, o meu chefe, o cara que ... Hierarquicamente superior do grupo, que orientava o grupo e tal... Ele achava superlegal ter o Princípio da Incerteza. Ele falava: “puxa como o universo é bonito com isso” e eu falava “como eu detesto isso!” e aí, você vai olhar na física, tem partidários. O Einstein era um dos caras que detestava, o Heisenberg era um que amava... Então, é importante também você perceber que tem espaço para você se colocar dessa maneira dentro da física, você não é obrigado a gostar ou a não gostar... O que não pode é não entender! Eu não posso chegar aqui e usar a mecânica quântica errada, isso eu não posso!! Porque aí eu detonei todo o sistema... Eu tenho que usar certo e não gostar. Ou usar certo e gostar. Tem um cara que ganhou um prêmio Nobel recentemente por uma teoria (...), ele tinha 22 anos, um físico holandês, fez um trabalho supermatemático, organizou uma teoria de Gauge, de calibre... Um negócio supercomplicado, mas esse cara não gosta de mecânica quântica. E ele ganhou o prêmio Nobel usando mecânica quântica. Então, ele falava: “a mecânica quântica é provisória, não sei o que, o mundo não é bem assim”. Então existe muito espaço para você se colocar como pessoa nesse negócio aí. Por outro lado, por que esse negócio de ter que fazer pergunta na aula? Pelo seguinte, se o seu coração não se posicionar nessa situação, você não é nada! Tudo bem? Sinto*

*muito... você não existe! Um cara sem coração é um cara que não existe! Então você tem que entender essas coisas e tem que gostar ou não gostar. Isso é que vai levar você a fazer algo interessante... ou não. Porque você acha isso... aí você vai lá e briga com tudo que você tem! A física não é feita com a cabeça! Você tem que se relacionar afetivamente com as coisas... Por exemplo, pessoal, eu gosto muito mais de campo elétrico do que da força elétrica... um é absurdamente equivalente ao outro do ponto de vista formal, mas eu gosto mais do campo, acho mais legal!!*

Além dos aspectos sociológicos da construção da ciência, essas colocações do professor mostram a importância da relação pessoal do indivíduo com o conhecimento. Essa relação de um físico com o conhecimento pode ser tornar “mais amigável” se houver um entendimento profundo da natureza epistemológica do conhecimento físico. Caso contrário, o trabalho na construção da ciência poderia não progredir do modo como se espera. Karl Popper, Gaston Bachelard e Thomas Kuhn são apenas alguns dos filósofos que discutem isso.

#### 4 Considerações Finais

Embora haja muita pesquisa e relatos sobre a inserção de elementos de epistemologia no ensino de física, ainda se observa uma grande distância entre os resultados e conclusões dessas pesquisas e a prática efetiva em sala de aula. Um ponto importante a ser considerado é que essa lacuna pode ser devida à falta de consenso de como tal abordagem possa ser feita. Os resultados conhecidos não permitem indicar uma abordagem ideal, porém, apontam, de maneira inequívoca, para a necessidade da apropriação dos aspectos epistemológicos da natureza da ciência pelos futuros professores.

O ensino de física *sobre* ou *com* epistemologia poderá ser mais facilmente realizado quando houver a aproximação e a vivência dos estudantes universitários com esses dois aspectos. É com a incorporação dos elementos epistemológicos que os futuros professores poderão manifestar a união entre epistemologia e ciência em suas aulas. Defendemos, portanto, que o processo de inserção de HFSC no ensino parta prioritariamente do nível superior, ou seja, que haja uma reformulação nos cursos de licenciatura e bacharelado, isto é, na formação de futuros professores e de futuros cientistas.

Acompanhamos e analisamos o desenvolvimento de um curso de eletromagnetismo para alunos do bacharelado em física e vislumbramos a possibilidade de transpor tal abordagem aos alunos de licenciatura. O principal resultado que este trabalho apresenta é que um curso de física que possibilite a discussão de aspectos epistemológicos dessa ciência, além dos aspectos formais e conceituais do conhecimento físico, faz com que os futuros físicos e, possivelmente, professores de física, possam aprender também *sobre* a física. Espera-se que esta experiência em sua formação capacite-os para agir de forma semelhante quando forem ensinar física nas escolas.

Se desejamos uma inovação curricular e um ensino por competências, que inclua HFSC, a formação dos professores é essencial. Esperar que os manuais didáticos, por si só, ofereçam essa capacitação pode ser ingenuidade, uma vez que o processo de didatização do saber original pode tê-los empobrecido historicamente ou afastado de abordagens epistemológicas. Com isso, queremos enfatizar que o professor tem autonomia e deve ter competência para reconstruir os saberes escolares. Isso se torna mais relevante quando verificarmos que os documentos oficiais do Ministério da Educação, que orientam os programas do ensino médio, sugerem, por exemplo,

algumas competências relacionadas ao reconhecimento, utilização, interpretação e proposição de modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos. Construir competências como essas não parece possível a partir apenas de uma abordagem formal das teorias físicas, reduzida, muitas vezes, à resolução de exercícios e aplicação de fórmulas. O professor terá que reconstruir os saberes que serão apresentados aos alunos, como se procurou fazer neste curso de eletromagnetismo.

No curso, o modo como o eletromagnetismo foi tratado e apresentado aos alunos da graduação permitiu um conjunto de questionamentos que dificilmente estariam presentes em uma abordagem usual, comum nos manuais de formação, ou mesmo em discussões mais amplas nos cursos de metodologia do ensino (disciplinas didático-pedagógicas), pois nesses casos os aspectos conceituais e formais dos programas específicos de física podem não ser prioritários. Esta articulação ficaria, então, sob a responsabilidade do aluno. Assim, postulamos que as disciplinas de conteúdos específicos de física poderiam contribuir também para essa articulação e, por conseguinte, para a formação do professor e do físico. A análise dos diálogos ocorridos nas aulas mostra que temas como a relação entre a física e a matemática, o significado físico das operações matemáticas realizadas, a construção de modelos conceituais e vários outros surgiram durante o curso. Todos esses aspectos enriquecem as aulas e podem aproximar os alunos de um entendimento mais amplo do que é a física.

## 5 Referências

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching *With* and *About* Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. *Science & Education*, n.22 (4), p.2087-2107.
- Bachelard, G. A. (1978). *Filosofia do Não*. São Paulo: Editora Abril Cultural.
- Borges, O. (2006). Formação inicial de professores de Física: Formar mais! Formar melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(2), p.135-142.
- Brasil (2002). *PCN+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Ministério da Educação, Brasília.
- Bunge, M.(1974). *Teoria e Realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- Einstein A. & Infeld L.(1939). *A Evolução da Física*. 4ª Edição. São Paulo: Zahar Editores.
- Forato, T. C. M.(2009). *A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação – Faculdade de Educação). Universidade de São Paulo.
- Hamburguer, A. I.(1988). Enfoque epistemológico em curso de evolução dos conceitos da física. *Ciência e Cultura*, Supl., 40(7), p. 319-332.
- Höttecke, D., Henke, A. & Riess, F. (2010). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21, 1233.

- Kapitango-A-Samba K. K. (2011). *História e Filosofia da ciência no ensino de ciências naturais: o consenso e as perspectivas a partir de documentos oficiais, pesquisas e visões dos formadores*. Tese de Doutorado, FEUSP, p. 42-43.
- Karam, R. A.(2012). *Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação - Faculdade de Educação). Universidade de São Paulo.
- Kneubil F. B. (2006). *As Facetas do Conhecimento Físico e um Modelo: a Luz e a Matéria*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo.
- Kranjc T.(2006). Understanding basic physical concepts – which? The modeling of Real World Phenomena Based on Laws of Physics. *Girep 2006 – International Conference*. AMSTEL institute, Faculty of Science, University of Amsterdam, Netherlands.
- Lopes, A. R. C.(1996). Bachelard: o filósofo da desilusão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 13(3), p.248-273.
- Martins, R. (2001). Como não escrever sobre a História da Física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(1), p.113-129.
- Matthews, M. (1991). Un lugar para la Historia y la Filosofía en la Enseñanza de las Ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, v.11, n.12, p.141-155.
- Matthews, M. (1994). Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, v.12, n.2, p.255-277.
- Matthews, M. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a Tendência atual de Reaproximação. *Cad. Cat. Ens. Física*, 12(3), p.164-214.
- Peduzzi, L.(2001). Sobre a Utilização Didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M (org). *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC.
- Pietrocola, M. (2004). *Reflexões Histórico-Epistemológicas e o Ensino de Ciências*. Tese de Livre-Docência (Faculdade de Educação). Universidade de São Paulo.
- Pietrocola, M.(2002). A Matemática como Estruturante do Conhecimento Físico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(1), p.93-114.
- Ricardo, E. C.; Zylbersztajn, A. (2002). O Ensino das Ciências no Nível Médio: um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis, v.19, n.3, p.351-370.
- Ricardo, E. C.; Zylbersztajn, A. (2007). Os Parâmetros Curriculares na Formação Inicial dos Professores das Ciências da Natureza e Matemática do Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, Instituto de Física – UFRGS, v.12, n.3, p.339-355.
- Robilotta, M. R.(1985). *Construção e realidade no ensino de física*. Apostila de curso. Instituto de Física – USP. São Paulo.
- Robilotta, M. R. (1988). O Cinza, o Branco e o Preto: da relevância da história da ciência no ensino de física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v.5, número especial, p.7-22.

Rudge D. & Howe E.(2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18, 561, p.566.

Silva, C. C.; Martins, R. A. (2003). A Teoria das Cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, v.9, n.1, p.53-65.

Triviños, A. N. (1987). Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas.

Tseitlin M. & Galili I.(2006). Models in physics teaching: arguing a broader view. *Girep 2006 – International Conference*. AMSTEL institute, Faculty of Science, University of Amsterdam, Netherlands.

Villani, A., Dias V. & Valadares J.(2009). The Development of Science Education Research in Brazil and Contributions from the History and Philosophy of Science. *International Journal of Science Education*, 32, p.907-937.

Zanetic, J.(1988). Dos “Principia” da Mecânica aos “Principia” de Newton. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. Florianópolis, v.5, número especial, p.23-35.