

UMA ABORDAGEM CONSTRUTIVISTA AO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO EM CURSOS DE ENGENHARIA - RESULTADOS PRELIMINARES

A CONSTRUCTIVIST APPROACH TO TEACHING ELECTROMAGNETISM TO ENGINEERING COURSES - PRELIMINARY RESULTS

Arandi Ginane Bezerra Jr, Edgar Zeno Paul Jr., Mario Sergio Teixeira de Freitas

UTFPR/DAFIS/GEPEF, arandi@uol.com.br, edgarzpj@hotmail.com, msergio58@yahoo.com.br

Resumo

Apresentamos resultados de uma investigação que vem sendo conduzida desde 2006 com estudantes de Engenharia da UTFPR, vinculada à aplicação de uma metodologia de ensino do Eletromagnetismo com base construtivista. Abordamos uma tendência, expressa em certos livros de Física Básica, de suprimir dos conteúdos alguns aspectos matemáticos, simplificação esta justificada pelo problema de conciliar o rigor formal (visto como uma coleção de equações) com uma mais desejada abordagem conceitual (considerada mais agradável). Em oposição a esta tendência, propomos o desafio de ensinar o Eletromagnetismo adotando um livro que apresenta maior rigor formal que o usual, sugerindo que a sofisticação matemática não dificulta uma abordagem conceitual, podendo, pelo contrário, contribuir para uma assimilação mais precisa dos conceitos físicos. Para isto, destacamos que é necessário articular os conteúdos das aulas teóricas e de laboratório e também desenvolver uma sensibilidade para os aspectos lúdico e imaginativo da aprendizagem. Resultados qualitativos do trabalho revelam que o método desperta interesse e engajamento por parte dos estudantes e resultados quantitativos indicam que seu desempenho é comparável ao de estudantes submetidos a metodologias mais tradicionais.

Palavras-chave: ensino de física, eletromagnetismo, física construtivista.

Abstract

We present results regarding the ongoing research we started in 2006, with engineering students at UTFPR. The work is based on a constructivist approach to teaching Electromagnetism. We point out that certain textbooks on Introductory Physics follow the trend of suppressing mathematical aspects of the theory. To justify this simplification it is stated that there is an opposition between a more formal, rigorous method (which is presented as a large set of equations) and a more conceptual method (presented as being more enjoyable). We disagree with that trend and suggest a different approach. By following a more rigorous than usual textbook on Electromagnetism we suggest that mathematical refinement does not necessarily make learning physics more difficult. In fact, it may contribute to making students better realize conceptual aspects of Physics. In this sense we draw attention to the importance of combining theoretical lectures and laboratory work together with nurturing a sense of amusement and imagination attached to the learning process.

Qualitative results of our work reveal that the proposed method draws students attention and appeals to students participation. Also quantitative results indicate students' performance, measured by their marks, is similar to that of students exposed to a more traditional physics teaching approach.

Keywords: physics teaching, electromagnetism, constructivist physics .

1- Introdução: Os Problemas Instrucionais

1.1- Aprendizagem, livros didáticos, e ambiente acadêmico

É comum, nos cursos de Engenharia, que os estudantes curse por três ou quatro semestres as unidades curriculares de Física Básica, para o que são geralmente usadas traduções de livros publicados por autores estrangeiros (vide, por exemplo, CUTNELL & JOHNSON, 2006; HALLIDAY & RESNICK, 1986, 1991, 2006; TIPLER, 1984; YOUNG & FREEDMAN, 2004). No caso do Eletromagnetismo, estes livros adotam uma abordagem fenomenológica, apresentando as equações de Maxwell na forma integral. A versão diferencial destas equações não é sequer mencionada ou, quando isto ocorre, é apresentada em um apêndice, geralmente presente em edições mais antigas (vide, por exemplo HALLIDAY & RESNICK, 1986). O objetivo de um dos textos consultados é apresentar a Física de modo agradável e informal (YOUNG & FREEDMAN, 2004) e outro pretende uma abordagem conceitual dos princípios da física, que, segundo ele, é freqüentemente encarada como uma coleção de equações que podem ser usadas cegamente para resolver problemas (CUTNELL & JOHNSON, 2006). É digno de menção que, nos prefácios de muitos destes textos, tais diretrizes sejam justificadas fazendo referência ao trabalho de pesquisadores em Ensino de Física.

Esta discussão remete ao conceito de Transposição Didática, que envolve o processo através do qual o conhecimento produzido pelos cientistas é transformado naquilo que se apresenta nos materiais didáticos e, em uma outra etapa, naquilo que é ensinado em sala de aula. Ao contrário do que geralmente ocorreria no ensino superior, no ensino secundário seria maior o risco de haver materiais didáticos que “não foram alvo de uma Transposição Didática ‘de fato’” (ALVES FILHO et al., 2005). Na passagem do *saber sábio* ao *saber a ensinar* ocorreria uma simplificação associada à linguagem (incluindo recursos matemáticos) utilizada para conceituar e demonstrar os conteúdos. Esta simplificação estaria associada a um dogmatismo e a um artificialismo dos livros didáticos. Contudo, aparentemente, também existe no âmbito do ensino superior uma tendência de simplificar o ensino da Física. Esta simplificação é, em geral, sinônimo de suprimir aspectos matemáticos do conteúdo. Justifica-se que, com isto, pode-se abordar mais aplicações da teoria e melhor compreendê-las no tempo didático, de maneira qualitativa. Assim, a física *qualitativa* ou *conceitual* é contraposta à física que se desenvolve com maior rigor matemático, esta última geralmente taxada de difícil e distante da realidade. Sugerimos que estas abordagens simplificadoras correm o risco de colocar o aspecto formal da Física em segundo plano quando, na realidade, especialmente no estudo do Eletromagnetismo, esta é uma parte fundamental: a partir do modelamento matemático e da construção do formalismo é que se pode compreender, de fato, os fenômenos e desenvolver previsões e aplicações, bem como consolidar o verdadeiro entendimento dos próprios aspectos qualitativos. É claro que, conforme o conceito de *prática social de referência* (ALVES FILHO et al., 2005) a compreensão dos princípios da Física no contexto e nas situações do dia-a-dia é importante, mas este

discurso não deveria fazer sombra aos aspectos formais - e por que não dizer, de alto apelo estético – da Física.

O presente trabalho tem por objetivo investigar qual a resposta das turmas de estudantes de terceiro semestre de Engenharia à adoção de um livro que não prescindia do formalismo. A metodologia de ensino se apoia em bases construtivistas (CARVALHO, 2004), e associa ao formalismo um apelo à imaginação e criatividade do estudante (PIETROCOLA, 2004), em aulas teóricas articuladas com atividades de laboratório. Os resultados da investigação são levantados em termos qualitativos, mediante documentação das atividades desenvolvidas pelos estudantes, e quantitativos, mediante comparação do desempenho destes estudantes com outros, também da UTFPR, que cursam a mesma unidade curricular abordada através de métodos mais tradicionais. Interessa notar que, para além do bom desempenho dos estudantes, medido pelos índices de aprovação, têm surgido diversas iniciativas de estudos complementares, individuais ou em grupo. De um destes projetos, por exemplo, foi desenvolvida uma montagem experimental associada à Lei de Ampère, pelo estudante que se tomou o segundo autor deste artigo.

A presente investigação metodológica pretende dar continuidade a um trabalho conduzido pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Ensino de Física (GEPEF) do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS) da UTFPR (vide, por exemplo: BEZERRA-JR et al., 2007a, 2007b; DINIZ e FREITAS, 2007; FLORCZAK, 2007; FREITAS et al., 2007; FREITAS, 2004, 2005a, 2005b, 2005c, 2007a; SILVA et al., 2008).

1.2- O descompasso experimental

De acordo com os *Critérios Estruturantes* propostos por (Carvalho, 2004), para que a presente investigação apresente compatibilidade entre os espaços de aula teórica e de laboratório, é imprescindível que este também envolva experimentos cuja interpretação possa ser articulada com o formalismo matemático desenvolvido nos modelos teóricos. Nesse sentido, nos deparamos com um novo desafio instrucional: entendemos haver um descompasso entre os livros de texto que apresentam as Equações de Maxwell e os textos que propõem experimentos para verificá-las. Como exemplos deste descompasso, pode-se citar, em primeiro lugar, o caso da Lei de Gauss da eletricidade. Não são raras as aulas de laboratório que se limitam a explicar processos de eletrização e a observar forças entre corpos carregados. Contudo, tais aulas não exploram aspectos quantitativos de medidas de cargas e forças - quando muito, uma balança de torção é usada para verificar a Lei de Coulomb, mas o equipamento é dispendioso e de difícil realização operacional. No caso da Lei de Faraday, é quase unanimidade a demonstração em que se utiliza um solenóide ligado a um galvanômetro: movimenta-se um ímã próximo ao solenóide e faz-se notar, pelo movimento do ponteiro do galvanômetro, a corrente elétrica gerada. Assim, os estudantes observam fenômenos que, por serem apenas qualitativos, não ilustram as leis em sua plenitude. Neste sentido, chama a atenção o fato de que haja inúmeros livros de texto disponíveis para o ensino teórico do Eletromagnetismo, e que estes se renovem freqüentemente, mas que sejam poucas as opções de livros que possam ser usados em disciplinas de laboratório. No caso específico da Lei de Ampère, é comum que seja demonstrada com limalha de ferro colocada ao redor de um fio percorrido por corrente elétrica. Num plano perpendicular ao fio, a limalha se orienta de acordo com as linhas de campo magnético (formando círculos concêntricos) – resultado limitado e pouco rigoroso, por ser uma experiência apenas qualitativa. Certamente que há exemplos de

experimentos quantitativos que são bem elaborados (vide, por exemplo, CATELLI, 1985); no entanto, é comum que envolvam impedimentos referentes a custo, e obstáculos no desenvolvimento, construção ou, ainda, na sua adaptação aos cursos de física para Engenharia. Assim, observamos a carência de textos e propostas de ensino que envolvam especificamente a determinação das bases experimentais das Equações de Maxwell, em demonstrações quantitativas adaptáveis ao tempo didático das aulas para estudantes de Engenharia.

Note-se que, em geral, as aulas de laboratório de física para Engenharia têm duração de uma ou duas horas, o número de estudantes envolvidos é grande, e há limitações de espaço e de material disponível. Este é um sério e desafiador problema instrucional. Para além disso, nossa proposta busca criar recursos para se obter uma integração funcional entre teoria e prática (AZEVEDO, 2004). Observamos que esta abordagem provoca reações muito positivas por parte dos estudantes.

2- Metodologia

Cabe aqui distinguir entre a *metodologia de ensino* proposta aos estudantes como estímulo que gera uma resposta que se deseja documentar, e a *metodologia adotada para a investigação* em si, que estabelece a maneira de documentar essa resposta em termos qualitativos e quantitativos. A inclusão de um levantamento qualitativo apoia-se na valorização da participação do estudante em atividades realizadas em aula teórica e de laboratório mais do que apenas das notas que este obtém nas provas parciais e considera, por outro lado, a natureza subjetiva do bom desempenho no processo de aprendizagem (SILVA E CARVALHO, 2006). Estamos portanto documentando as atividades dos estudantes enquanto é aplicada a metodologia de ensino, por meio de textos e imagens fotográficas, inspirados nos critérios estruturantes apresentados por (CARVALHO, 2004). No aspecto quantitativo, o desempenho dos estudantes que cursam a disciplina é comparado com o de outros estudantes da UTFPR expostos a cursos ministrados de maneira mais tradicional. Os resultados são constantemente analisados pelo grupo de professores em sua busca pelo *saber fazer* (CARVALHO, 2004).

2.1- O Eletromagnetismo no contexto do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR

A unidade curricular de Física 3 na UTFPR envolve conteúdos de Eletromagnetismo, tais como os conceitos de carga, corrente, campo elétrico, campo magnético e suas inter-relações. De acordo com o plano de ensino, são 5 horas semanais de aula distribuídas de modo que os estudantes tenham 4 horas de aulas teóricas por semana e 2 horas de aulas de laboratório a cada duas semanas.

Nossa inspiração é apresentar o Eletromagnetismo como uma área fundamental da Física. Diversos fenômenos do cotidiano são manifestações de interações eletromagnéticas, além do que existe estreita relação entre as Equações de Maxwell e a Óptica. Uma infinidade de aplicações de interesse científico e tecnológico está associada à Teoria Eletromagnética, assim como fenômenos eletromagnéticos observáveis na Natureza: tempestades, manchas solares, halos atmosféricos, miragens e auroras boreais (LYNCH e LIVINGSTONE, 2001), (TAPE, 1994). Assim, entendemos que para bem compreender o universo físico - e as velhas e novas tecnologias - um engenheiro necessita formação sólida em Eletromagnetismo.

Para a apresentação de um formalismo matemático rigoroso, optou-se por um autor nacional e seu livro *Curso de Física Básica* (NUSSENZVEIG, 1997). Esta atitude favorece, também, a discussão com os estudantes sobre a existência, no Brasil, de pesquisadores e professores capazes de produzir textos e materiais de ensino de qualidade igual ou superior àqueles produzidos em outros países. São trabalhados em classe os 12 capítulos do livro.

Para integrar os conteúdos num contexto de *Ensino por Investigação* (AZEVEDO, 2004), optamos por que tanto as aulas teóricas quanto as de laboratório sejam dadas por um mesmo professor. No espaço de laboratório, cada turma de 22 alunos é dividida em grupos de 4 ou 5 estudantes. Cada grupo dispõe de bancada e materiais destinados às experiências. Por criticar uma imagem neutra e empirista da física, evitamos o uso da expressão *práticas* e a adoção de roteiros que envolvam manipulações dirigidas de maneira repetitiva e automática. A idéia é oferecer aos estudantes maior liberdade para refletir sobre os temas e, quando for o caso, improvisar algo que fuja aos roteiros programados. O professor propõe situações de modo que teoria, experimentos em laboratório e problemas façam parte de uma unidade, possibilitando aos estudantes a (re)construção dos conhecimentos científicos. Os estudantes são convidados a se pronunciar, argumentando, experimentando, e debatendo o assunto, com mediação do professor, dando assim a oportunidade a cada um, em espaço de aula, de contribuir para a construção do saber em grupo. Nesta etapa, verificam-se as concepções espontâneas e o poder de abstração do grupo. Então, num contexto de *atividades investigativas* (AZEVEDO, 2004), é desenvolvido o ferramental matemático que modela a situação discutida e busca-se tanto uma compreensão quantitativa quanto qualitativa dos fenômenos, com o máximo possível de rigor.

2.2- Justificativa para adoção de uma abordagem rigorosa

No livro de texto adotado são abordadas as Equações de Maxwell tanto na sua forma integral quanto na diferencial. São usados teoremas clássicos do cálculo vetorial, como os de Gauss e de Stokes. Esta abordagem permite discutir com os estudantes a importância do cálculo nas Ciências e na Engenharia e suas inter-relações. Como sensibilizar e despertar o interesse dos estudantes para este tipo de discurso?

Um exemplo que ilustra a necessidade de rigor matemático envolve o uso da forma diferencial das Equações de Maxwell no estudo das ondas eletromagnéticas. É consenso, no meio acadêmico, que a unificação da eletricidade, do magnetismo e da óptica, originalmente promovidos por Maxwell, constitui um dos trabalhos científicos de maior impacto e relevância da história da ciência (EINSTEIN & INFELD, 1938) e, por conseguinte, do pensamento humano. O coroamento deste trabalho talvez seja a demonstração de que a luz é um fenômeno eletromagnético, juntamente com o conceito de campo como representação (EINSTEIN & INFELD, 1938). Isso favorece uma abordagem interdisciplinar do assunto, envolvendo história da ciência, relação pesquisa básica - pesquisa aplicada - tecnologia, análise da influência das descobertas científicas na sociedade, aspectos estéticos da física e simetria (vide, por exemplo, SAGAN, 1997). A rigor, a verdadeira compreensão da luz como onda só é possível a partir da manipulação matemática das Equações de Maxwell. O amadurecimento da intuição física, neste caso, só é verdadeiramente possível a partir da capacidade desenvolvida no estudante de enfrentar o problema matemático e concluir por si que a equação de onda é consequência das Equações de Maxwell.

A grande maioria dos textos usados no ensino de Física para Engenharia utilizam a forma integral das Equações de Maxwell para derivar a equação da onda eletromagnética (HALLIDAY & RESNICK, 2006), abordagem que se mostra rudimentar e limitada. Em muitos casos, apenas uma discussão qualitativa tenta induzir o estudante a compreender o assunto (CUTNELL & JOHNSON, 2006). Entendemos que isto não seja condizente com a formação de engenheiros cujo objetivo seja o de compreender e transformar o mundo. O formalismo diferencial é, por seu poder de síntese, o modo mais rigoroso e elegante para introduzir o conceito de onda eletromagnética. A experiência em sala de aula revela a satisfação e inclusive o maravilhamento dos estudantes quando se percebem capazes de compreender o mundo físico com um maior grau de refinamento. Assim, formalismo e compreensão qualitativa coexistem e alimentam-se mutuamente. E aqui, mais uma vez, tem lugar o despertar da imaginação do estudante, chamando sua atenção para o fato que a aprendizagem de ciências exatas não se vale unicamente da razão, sendo a emoção e a intuição aspectos do humano não apenas reservados às artes e às práticas místicas (PIETROCOLA, 2004).

2.3- Exemplo de procedimento em sala de aula : o Capítulo Zero

Tendo em mente o trabalho de Matthews (MATTHEWS, M. R., 1994), que contrapõe o conceito de *aculturação científica* ao de *acumulação de conteúdos científicos*, uma das metas da metodologia testada é propiciar um ambiente para o ensino do Eletromagnetismo no qual os estudantes se sintam convidados pelo professor a formular argumentos, participando com ele da condução das linhas de raciocínio necessárias à construção do saber científico (CARVALHO, 2004). Um dos procedimentos que adotamos é apresentar, na primeira semana de aula, de forma global, o conjunto das quatro Equações de Maxwell. Na aula teórica, os estudantes são incentivados a estabelecer distinções entre as grandezas nelas presentes e, em seguida, é conduzida uma discussão em termos fenomenológicos das relações matemáticas envolvidas. A turma é desafiada a identificar, no referido conjunto de equações, aspectos de simetria que envolvem a Eletricidade e o Magnetismo, e a estabelecer analogias com outras manifestações de simetria na Natureza. Com isso, são explorados os *conceitos espontâneos* do estudante (CARVALHO, 2004), criando condições para que se manifestem sua imaginação e seu senso estético, poderosos motivadores no processo de aprendizagem de ciências exatas (PIETROCOLA, 2004). Na aula de laboratório – que nesta etapa do curso ainda não envolve medições, mas experimentos demonstrativos – o grupo de equações é novamente apresentado e acompanhado de montagens experimentais, que mostram resultados qualitativos compatíveis com o enunciado de cada uma das leis. Os estudantes são instigados a expor opiniões sobre como se pode verificar a validade de uma lei física, sendo recomendadas leituras no âmbito da divulgação da ciência (como, por exemplo: SAGAN, 1997 e EINSTEIN & INFELD, 1938).

O objetivo desta abordagem conjunta das equações de Maxwell no início do curso é oferecer antecipadamente ao estudante uma visão panorâmica dos modelos teóricos que permearão todo o conteúdo do semestre, em linha análoga ao trabalho já desenvolvido na unidade curricular de Física Moderna para o Curso Superior de Tecnologia em Radiologia da UTFPR (FREITAS et al 2007), (FREITAS 2007b).

2.4- A avaliação

Para atividades promovidas pelos estudantes, é dada uma grande liberdade em termos da forma de apresentação, seguindo modelos apresentados por Lima

(LIMA et al, 2007). Tais atividades são englobadas no processo de avaliação, juntamente com a aplicação de provas parciais convencionais, na mesma linha seguida por Barros (BARROS et al, 2004). Pretende-se com isso valorizar outras formas de manifestação de desempenho, assim como incentivar toda a turma, e não apenas alguns estudantes, a desenvolver atividades. Professor e estudantes constantemente (re)discutem critérios de como associar uma pontuação às diversas atividades desenvolvidas, visando a um critério de notas consoante normas da UTFPR.

3- Resultados

A resposta dos estudantes à inovação metodológica tem sido alvo de análise contínua por parte dos professores e alguns resultados significativos têm sido verificados, como as iniciativas de estudantes confrontarem o livro adotado com os de outros autores, questionarem a validade dos cálculos aproximativos da teoria, e idealizarem variantes de experimentos, ou mesmo experimentos originais. Nesse contexto, nossa investigação está mais focada na documentação da atitude e senso de iniciativa dos estudantes do que no levantamento estatístico das notas de prova, o qual, no entanto, também é incluído como um referencial adicional da resposta positiva.

3.1- Iniciativa em confrontar diferentes livros

Devido à maior complexidade do livro de texto usado, é comum que os estudantes também utilizem outros livros em seu processo de estudo, o que amplia seus horizontes de compreensão, bem como desenvolve sua capacidade de pesquisa bibliográfica e articulação de conhecimentos. Assim, é comum que os estudantes tragam para a sala de aula tópicos, discussões e problemas presentes em outros livros e em aplicações tecnológicas, em contraposição a uma prática comum, instrutivista, em que os estudantes utilizam apenas notas de caderno escritas durante as aulas. Neste sentido, o fato de utilizarmos um livro dito *difícil* serve de estímulo para que os estudantes se aprofundem mais no assunto. Tal atitude representou, em certos casos, um ganho considerável por parte dos estudantes na construção do seu conhecimento. Destarte, o tratamento mais rigoroso apresentado incentiva os estudantes a ir além das aproximações típicas usadas nos livros de texto mais tradicionais. Cabe ao professor, nas situações em que os alunos não se mostrem satisfeitos com as abordagens, estimulá-los a buscar uma formulação mais completa e comparar os resultados com as aproximações usuais. Como um exemplo recente, destacamos o caso em que um estudante identificou uma discrepância lógica entre os textos de dois autores, em uma demonstração referente a uma aplicação da Lei de Gauss: um dos autores afirma estar demonstrando que o campo elétrico no interior de uma casca esférica carregada é nulo, pois ao imaginar uma superfície gaussiana contida em seu interior, constata-se que “as cargas externas não contribuem para o fluxo” (HALLIDAY et al. 2006); contudo, segundo o estudante, o argumento seria insuficiente, pois o *fluxo poderia ser nulo e mesmo assim existir campo* (BATISTA, 2008), sendo necessário *provar, antes disso, que os campos criados pelas cargas externas se equilibram dois a dois, porque é um caso simétrico*, baseando-se em raciocínio exposto pelo outro autor (NUSSENZVEIG, 1997). O estudante apresentou o problema para a turma e a discussão apontou para a pertinência da crítica. Nesse sentido, a base construtivista da metodologia testada se mostra bem-sucedida, permitindo uma aprendizagem significativa por parte dos alunos.

3.2- Iniciativa em questionar a validade de cálculos aproximativos

No Eletromagnetismo, assim como nas demais áreas da Física, são freqüentes os problemas cuja solução exata ou é analiticamente inatingível, ou consiste numa expressão pouco operacional para que dela se extraia uma interpretação física de interesse. Diante de tais situações, opta-se por soluções aproximativas, obtendo-se como resultado expressões sintéticas, válidas dentro de certos limites. Assim, um dos estudantes manifestou recentemente sua inquietação quanto a *até onde vai o limite de validade da fórmula aproximada para o potencial do dipolo* (KUTIANSKI 2008a). Após discussão em sala, foi proposto ao estudante que investigasse, por simulação numérica, o erro cometido pela fórmula aproximada em confronto com a expressão exata. Dias depois, em espaço de aula, o estudante apresentou seus resultados para a turma, em forma de gráficos obtidos por um programa computacional que desenvolveu, demonstrando como quantificar a limitação da aproximação em relação à resolução exata. (KUTIANSKI 2008b).

3.3- Iniciativa em idealizar e realizar experimentos

Desde o início do curso, é proposta a pergunta: *dadas as condições dos laboratórios de ensino da UTFPR, como se pode verificar, qualitativa e quantitativamente, bases experimentais e aplicações das equações de Maxwell?*. Assim, são exploradas atividades propostas pelo professor e aquelas que surgem a partir das discussões em aula. Neste sentido, um dos casos bem-sucedidos verificados envolveu a construção de um precipitador eletrostático em escala de laboratório. O modelo tem aplicação na retenção de poluentes atmosféricos e envolve o uso da Lei de Gauss, juntamente com noções de eletrostática (campo elétrico, potencial, dipolo elétrico, força elétrica). Os estudantes integraram elementos de física, meio ambiente e automação ao interligar um sistema inteligente (incluindo sensor óptico e software) que detecta a presença de fumaça e liga o gerador de Van de Graaff responsável pela tensão que produz a precipitação da fumaça, num experimento de forte apelo visual (MARIN et al, 2007). Esta iniciativa, assim como outras aqui mencionadas, está documentada por registro fotográfico disponibilizado numa página *web* mantida por um dos autores (FREITAS, 2007c).

Outra situação digna de nota foi uma discussão referente à Lei de Faraday e à geração em larga escala de energia elétrica. O professor observou que o estado do Paraná é um dos principais responsáveis pela geração de energia elétrica no Brasil, principalmente por causa da usina de Itaipu. Seguiu-se uma pergunta provocativa: *será que os piás e meninas do Paraná sabem como funciona Itaipu? e mais não seria o caso de nós desenvolvermos meios de ensinar isto (a aplicação da lei de Faraday) para as nossas crianças?*. Dias depois, alguns alunos apresentaram a idéia de desenvolver um experimento compacto em que seria possível, utilizando uma queda d'água, mostrar a conversão de energia mecânica em elétrica. Isto transformou-se em um projeto (em andamento) batizado de *Mini-Itaipu* cujo objetivo é fomentar a interação entre a UTFPR e as escolas secundárias do estado. Esta iniciativa permite que nosso grupo se insira no campo da Cultura Científica, explorando a relação Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Para concluir esta seção, mencionaremos o experimento da Lei de Ampère, inspirado por discussões em sala, quando notou-se que seria possível verificar uma manifestação da respectiva lei a partir de um experimento simples envolvendo um fio longo percorrido por corrente elétrica. Resulta da Lei de Ampère, se usada para resolver o problema de um fio infinito percorrido por corrente, que o módulo do

campo magnético gerado a uma certa distância do fio deve ser proporcional à corrente no fio e inversamente proporcional à distância ao fio. Por ser uma aplicação muito conhecida, dispensaremos aqui um tratamento mais detalhado. Notamos que se fosse possível determinar quantitativamente a dependência do campo magnético tanto com relação à corrente quanto com relação à distância, então, seria verificada uma base experimental da Lei de Ampère. Assim, recordando discussão de um problema proposto em lista de exercícios, referente ao cálculo da frequência de oscilação de uma bússola sujeita a campo magnético (vide Nussenzveig, 1997, página 137, problemas 1 e 2), nota-se que é possível determinar a magnitude do campo magnético através de medidas dinâmicas, num método semelhante ao descrito por Gauss (vide ASSIS, 2003). Combinando-se as duas idéias, tem-se um experimento relativamente simples e original. Motivado pelas discussões, um estudante de Física 3 iniciou trabalho voluntário de investigação que durou alguns meses (este trabalho justificou que o mesmo recebesse uma bolsa de estágio da UTFPR, o que permitiu o refinamento do experimento). Em resumo, a experiência consiste em medir o período de oscilação de uma bússola colocada nas proximidades de um fio longo percorrido por corrente. O sistema é alinhado de modo que o campo magnético do fio seja paralelo ao campo magnético terrestre. A bússola é posta para oscilar e é medido seu período de oscilação em função tanto da corrente elétrica no fio quanto da distância ao fio. Os resultados experimentais comprovam uma dependência do campo magnético em relação à corrente e à distância que está em acordo com aquele obtido a partir do cálculo usando a Lei de Ampère. Detalhes e resultados deste trabalho devem ser descritos em artigo científico que está em fase de elaboração; alguns resultados prévios, com fotos da montagem, encontram-se disponíveis em página web (FREITAS, 2007c).

3.4- Estatísticas de aprovação nos últimos semestres

Pela análise da Tabela 1, observamos que o desempenho dos estudantes que cursaram Física 3 nas turmas onde é empregada a abordagem apresentada neste trabalho é comparável ao daqueles submetidos aos métodos mais tradicionais.

Na Tabela 1, *S41/S42* representa o código das turmas de Física 3 para o curso de Engenharia Mecânica, que são as turmas nas quais a abordagem proposta neste trabalho foi utilizada; *F3* representa o universo de todas as outras disciplinas de Física 3 da UTFPR menos as turmas *S41/S42*; *M* é o número de alunos matriculados; *A* é o número de aprovados; *RN* é o número de reprovados por nota; *RNF* é o número de reprovados por nota e frequência; *C* é o número de matrículas canceladas; $P=A/(M-C)$ é a porcentagem de alunos aprovados.

Portanto, aqui apresentamos resultados quantitativos preliminares de que a adoção de um livro matematicamente e conceitualmente rigoroso não envolve, necessariamente, baixo rendimento em termos de nota.

Tabela 1: Desempenho dos estudantes de Física 3 na UTFPR em 2006 e 2007.

Semestre	Turma	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>RN</i>	<i>RNF</i>	<i>C</i>	<i>P</i>
2006 primeiro semestre	S41/S42	25	18	3	4	0	72,0%
	<i>F3</i>	91	64	7	17	3	72,7%
2006 segundo semestre	S41/S42	35	20	9	6	0	57,1%
	<i>F3I</i>	110	85	8	16	1	78,0%
2007 primeiro semestre	S41/S42	39	30	0	7	2	81,1%
	<i>F3</i>	96	70	13	8	5	76,9%
2007 segundo semestre	S41/S42	42	28	6	4	4	73,7%
	<i>F3</i>	104	74	17	8	5	73,3%
Total de 2006 e 2007	S41/S42	141	96	18	21	6	71,1%
	<i>F3</i>	401	293	45	49	14	75,7%

(Fonte: Sistema Acadêmico da UTFPR.)

4- Conclusão

Apresentamos resultados parciais de uma pesquisa em andamento que se articula em torno de objetivos múltiplos: implementar em nossa prática e também analisar, a partir de nossa prática, uma estrutura de curso de Eletromagnetismo para estudantes de Engenharia. Buscamos seguir uma proposta construtivista inspirada pelos critérios estruturantes propostos por Carvalho (CARVALHO, 2004).

Cabe aqui lembrar que abordagens ao ensino de Eletromagnetismo para o nível superior já foram sugeridas em outros trabalhos (MOREIRA, 1983; SILVA, 2002). Além disso, problemas instrucionais referentes à aprendizagem das equações de Maxwell têm sido estudados em profundidade (MOREIRA & PINTO, 2003 e MOREIRA & KREY, 2006).

Até o momento, nossa experiência demonstra, ao contrário do que se apregoa em alguns livros de texto que estabelecem uma contraposição entre rigor formal e abordagem conceitual, que o uso do rigor na sala de aula não necessariamente aumenta os índices de reprovação e tampouco desperta nos alunos uma sensação de aversão, nem os desestimula ao estudo, muito pelo contrário. Encontramos evidências de que os estudantes sentem-se mais seguros e preparados ao pesquisar assuntos associados à Física, por terem desenvolvido a capacidade de assimilar o formalismo e compreender a necessidade de uma linguagem rigorosa, que, embora mais difícil, é, ainda assim, passível de ser percebida. Para que isto ocorra, deve haver um empenho maior tanto do estudante quanto do professor para articular teoria e prática.

É interessante observar o engajamento dos estudantes em atividades como as descritas neste trabalho, que demonstram a possibilidade concreta, no ensino de Física para cursos de Engenharia, de uma integração funcional “sem que seja possível distinguir entre teoria, práticas ou problemas” (AZEVEDO, 2004). Além disso, a experiência demonstra também outra possibilidade, quando desperta nos estudantes (e, por que não dizer, nos professores) o “prazer de contemplar uma boa explicação sobre algo” (PIETROCOLA, 2004). Cabe aqui salientar, ainda, que esta metodologia exige dos professores muito conhecimento do assunto específico a ser ensinado, o Eletromagnetismo, e ao mesmo tempo, o conhecimento das pesquisas didáticas e educacionais, conduzindo a um verdadeiro processo de integração de saberes.

5- Referências

- ALVES FILHO, J. P.; PINHEIRO, T. F.; PIETROCOLA, M. A. Eletrostática como exemplo de Transposição Didática. In: PIETROCOLA, M. (org.). **Ensino de Física**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005. p. 76-99.
- ASSIS, A. K. T. Tradução de uma Obra de Gauss. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 2, p. 226-249, 2003.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: Problematizando as Atividades em Sala de Aula. In: Carvalho, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências**. São Paulo: Thomson, 2004. p. 19-33.
- BARROS, J. A.; REMOLD, J.; SILVA, G. S. F.; TAGLIATI, J. R. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004.
- BATISTA, T.C. Discussão sobre a lei de Gauss conduzida em aula teórica, 10/3/08, Curitiba: UTFPR, 2008.
- BEZERRA-JR, A. G.; FREITAS, M. S. T.; RODBARD, M. G.; RICETTI, R.; BUKTA, H. Demonstrações em Física Experimental com Instrumentos de Baixo Custo. In XVII SNEF, **oficina 4**. São Luis, 2007a.
- BEZERRA-JR, A. G.; FREITAS, M. S. T.; RODBARD, M. G.; RICETTI, R.; BUKTA, H. Ensino de Física através de Kits Experimentais. In XVII SNEF, **oficina 1**. São Luis, 2007b.
- CARVALHO, A. M. P. Critérios Estruturantes para o Ensino de Ciências. In: Carvalho, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências**. São Paulo: Thomson, 2004. p. 1-17.
- CATELLI, F., **Física experimental**, volIII. Caxias do Sul: Ed. UCS, 1985.
- CUTNELL, J. D.; JOHNSON, K. W. **Física**, v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- DINIZ, F. B.; FREITAS, M. S. T. Formação de Fenômenos Ópticos Atmosféricos. Palestra apresentada no IV EPAST – Encontro Paranaense de Astronomia, 2007.
- EINSTEIN, A. & INFELD, L. **The Evolution of Physics**, 1938, traduzido para o português como A Evolução da Física. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988.
- FLORCZAK, M. **Física 1: disciplina fundamental de um curso de engenharia**. In: XXXV COBENGE: Curitiba, 2007.
- FREITAS, M. S. T.; BEZERRA-JR, A. G.; MIQUELIN, C. A. Um capítulo introdutório à física moderna para um curso superior de tecnologia em radiologia. **Anais do XVII SNEF**, São Luis, 2007.
- FREITAS, M. S. T. **Caos em sistemas não-lineares**: metodologia numa disciplina introdutória para pós-graduação. In: XXXV COBENGE: Curitiba, 2007a.
- FREITAS, M. S. T.; Metodologia Para Uma Disciplina Introdutória De Dinâmica Não-Linear Para Pós-Graduação. **Anais do XVI SNEF**, Rio de Janeiro, 2005a.
- FREITAS, M. S. T. Rotação Caótica de Hyperion. Palestra apresentada no VIII ENAST – **Encontro Nacional de Astronomia**, Curitiba, 2005b.
- FREITAS, M. S. T. Observação da passagem de um satélite artificial como motivação para um exercício de física. Sessão oral apresentada no VIII ENAST – **Encontro Nacional de Astronomia**, Curitiba, 2005c.
- FREITAS, M. S. T. Exemplos de Caos e Fractais em Astronomia. Palestra apresentada no I EPAST – **Encontro Paranaense de Astronomia**, Curitiba, 2004.
- FREITAS, M. S. T. Relato com imagens fotográficas das atividades dos estudantes de Física Moderna, turma T81, primeiro semestre de 2007b, UTFPR. Página web disponível no endereço: http://www.pessoal.cefetpr.br/msergio/ensino_fisica_Fmod_07_1pr.htm
- FREITAS, M. S. T. Resposta do Estudante a Inovações metodológicas – levantamento qualitativo e quantitativo, 2007c. Página web disponível no endereço: http://www.pessoal.cefetpr.br/msergio/ensino_fisica_eletromag.htm

- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**, v.3 e v.4. Rio de Janeiro: LTC, 1986.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**, v.3 e v.4. Rio de Janeiro: LTC, 1991.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, v. 3 e v. 4, 7ªed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.
- KRAPAS, S. ; RODRIGUES, L. C. ; MIRANDA NETO, A. V.; CAVALCANTI, G. H. . Prego voador: Um desafio para estudantes de eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 599 - 602, 2005.
- KUTIANSKI, G. G. Discussão sobre a aproximação do potencial elétrico do dipolo, conduzida em aula teórica, 27/3/08, Curitiba: UTFPR, 2008.
- KUTIANSKI, G. G. Erros cometidos na aproximação do potencial do dipolo elétrico, breve seminário apresentado em aula de Física 3, 3/4/08, Curitiba: UTFPR, 2008.
- LIMA, M. C. B.; ARAÚJO-JORGE, T.; ZANETIC, J.; LIMA, I. L. Ciência e Arte: Aproximações no ensino de Física e na formação de professores de Física. Mesa redonda no **XVII SNEF**, São Luís , 2007.
- LYNCH, D. K.; LIVINGSTON, W. **Color and Light in Nature** , 2nd ed., Cambridge: U.P, 2001.
- MARIN, A. J., PINTO, T. E., WERGRZN, Y. A. **Implementação de Sistema Inteligente** . Curitiba: UTFPR, 18 p., 2007.
- MATTHEWS, M. R. **Science Teaching**: the role of history and philosophy of science. New York: Rutledge, 1994.
- MOREIRA, M. A.; KREY, I. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 353-360, 2006.
- MOREIRA, M. A.; PINTO, A. O. Dificuldades dos Alunos na Aprendizagem da Lei de Ampère, à Luz da Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, no. 3, p. 317-325, 2003.
- MOREIRA, M. A. **Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino da Física**. Port Alegre: Editora da Universidade, 1983.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**, v. 3. São Paulo: Ed. Blücher, 1997.
- PIETROCOLA, M. Curiosidade e Imaginação – Os Caminhos do Conhecimento nas Ciências, nas Artes e no Ensino. In: Carvalho, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências**. São Paulo: Thomson, p. 119 – 133, 2004.
- SAGAN, C. Maxwell e os Nerds. In: **Um Mundo Assombrado Pelos Demônios**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.
- SILVA, G. M. S. ; RIBAS, F. B. ; FREITAS, M. S. T. Transformação de coordenadas aplicada à construção da maquete tridimensional de uma constelação. Artigo aceito para publicação na **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 2008.
- SILVA, J. H. D. Algumas Considerações Sobre Ensino e Aprendizagem na Disciplina Laboratório de Eletromagnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 24, no. 4, p. 471-476, 2002.
- SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. O ensino de física a partir de temas controversos: a produção de energia elétrica em larga escala. **Interacções**, No. 4, p. 42-63, 2006.
- TAPE W. Atmospheric Halos, Vol. 64 of **Antarctic Research Series**, Washington: American Geophysical Union, 1994.
- TIPLER, P. A. **Física**, v. 2a e v. 2b. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1984.
- YOUNG, D. H.; FREEDMAN, R. A. **Sears e Zemansky**, Física III. São Paulo: Ed. Pearson, 2004.