



DIFERENTES ENFOQUES PARA O ENSINO DE TEORIA ELETROMAGNÉTICA NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Antonio Lopes de Souza - lopes@dee.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Engenharia, Departamento de Eletrotécnica

Bloco H - Sala 227 - Ilha do Fundão

CEP: 21945 - 970 - Rio de Janeiro - RJ

Caixa Postal: 68515

José Carlos de Oliveira - jcarlos@dee.ufrj.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Engenharia, Departamento de Eletrotécnica

Bloco H - Sala 227 - Ilha do Fundão

CEP: 21945 - 970 - Rio de Janeiro - RJ

Caixa Postal: 68515

Resumo: *O conhecimento de Teoria Eletromagnética é de fundamental importância para os cursos de graduação em Engenharia Elétrica. Essa disciplina pode ser considerada como a linguagem falada e escrita pelos engenheiros eletricitistas. É através dela que os fenômenos básicos da eletricidade e do magnetismo são modelados e é ela quem fornece ferramentas matemáticas sofisticadas, necessárias para a maioria dos estudos avançados na área em questão. Há, entretanto, uma longa controvérsia a respeito de formas como a Teoria Eletromagnética deve ser apresentada. Alguns educadores privilegiam um rigor matemático excessivo, dificultando o diálogo com o seu público alvo. Outros adotam uma estratégia oposta, privilegiando um olhar excessivamente prático, experimental. O presente trabalho empreende discussões em torno de formas alternativas de ensino da Teoria Eletromagnética para alunos da graduação em Engenharia Elétrica. Procura-se com elas analisar o alcance, o estilo do aprendizado e a profundidade com que são ministrados os diferentes formatos dos cursos. Nesse sentido são examinados: a) a tensão existente entre conceitos "vis-à-vis" formulações matemáticas dos princípios eletromagnéticos; b) as diferenças e complementaridades entre formas históricas e sistemáticas de ensino da ciência da eletricidade e do eletromagnetismo; c) os contrastes existentes entre as propostas de ensino do eletromagnetismo centradas no uso intensivo da matemática - com alto grau de abstração - e aquelas que fazem uso preferencial de procedimentos experimentais; d) a relevância e a eficácia do ensino do tema em questão baseado no uso de recursos da tecnologia da computação gráfica.*

Palavras-chave: *Teoria Eletromagnética, Eletromagnetismo, Ensino de engenharia elétrica*

1. INTRODUÇÃO

O estudo de eletromagnetismo nos cursos de graduação em engenharia no Brasil é uma exigência do Ministério da Educação, fundamentada na resolução do Conselho Nacional de Educação que estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia - diretrizes curriculares MEC/CNE (2002). De acordo com essa resolução os cursos de engenharia "devem possuir em seu currículo um núcleo de conteúdos básicos, um núcleo de conteúdos profissionalizantes e um núcleo de conteúdos específicos que caracterizem a modalidade". Dentre os tópicos de inclusão obrigatória no núcleo profissionalizante está o "Eletromagnetismo". Nos cursos de engenharia elétrica e eletrônica ao redor do mundo o ensino de Eletromagnetismo tem sido uma exigência, pode-se dizer, histórica. Um curso básico de Eletromagnetismo aborda o estudo dos tópicos: eletrostática, magnetostática, campos e ondas eletromagnéticas. Esse conhecimento tem aplicações em várias áreas de estudo da engenharia elétrica, dentre elas, circuitos elétricos, linhas de transmissão, máquinas elétricas, antenas, propagação, etc.

O eletromagnetismo é um tópico de conhecimento fundamental nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica. Ele é o alicerce da ciência da Engenharia Elétrica. Através dos conceitos do eletromagnetismo os fenômenos básicos da eletricidade e do magnetismo podem ser documentados. Essa disciplina fornece o ferramental matemático necessário para a maioria dos estudos avançados na área da Engenharia Elétrica. Há, entretanto, uma longa controvérsia a respeito das formas como a Teoria Eletromagnética é ou deve ser ensinada. Os educadores transitam entre privilegiar um rigor matemático excessivo - tornando o diálogo com o seu público alvo difícil, algumas vezes até impraticável - ou enfatizar um olhar excessivamente prático, experimental. Este trabalho discute várias das correntes de ensino do eletromagnetismo e comenta algumas técnicas educacionais baseadas no uso de ferramentas computacionais tais como: "applets", pacotes de "software" de elementos finitos, recursos da computação gráfica e realidade virtual.

2. O TEÓRICO E O EMPÍRICO NO DESENVOLVIMENTO DO ELETROMAGNETISMO

No sentido de avaliar a importância da matemática aliada a um domínio conceitual dos fenômenos eletromagnéticos busca-se, aqui, traçar um breve quadro histórico do desenvolvimento do eletromagnetismo enfatizando-se a relação entre os procedimentos teóricos e empíricos.

O eletromagnetismo tem início genuíno com a descoberta de Hans Christian Oersted (1777-1851) relacionando eletricidade e magnetismo, informada através do artigo "Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam" publicado em Julho de 1820 em Copenhague. Nesse artigo Oersted relata um experimento associando a passagem de corrente elétrica em um condutor a um efeito magnético (Figura 1).

Oersted concluiu que o fluxo de corrente no condutor e o campo magnético associado eram ortogonais, fato confirmado posteriormente por Michael Faraday (1791-1867) em sua experiência clássica conhecida como "Os Copos de Faraday" (Figura 2). Os experimentos de Faraday deram uma contribuição segura à modelagem do fenômeno eletromagnético, sem recorrer a postulações matemáticas.

O texto de Oersted no qual comunica a sua descoberta é de natureza qualitativa e descritiva das observações feitas. Cientistas franceses, entre eles, Jean Baptiste Biot (1774-1862), Felix Savart (1791-1841), André Marie Ampère (1775-1836) e Dominique François Jean Arago (1786-1853) deram, de imediato, um tratamento matemático ao fenômeno.

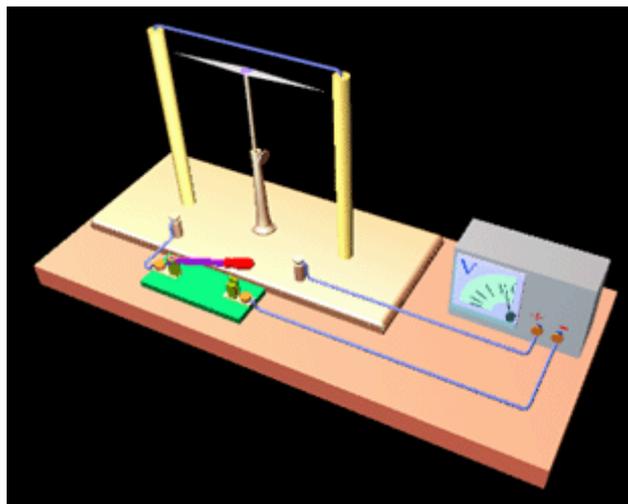


Figura 1 - Montagem em realidade virtual (VRML) desenvolvida pelos autores para a replicagem da experiência de Oersted.

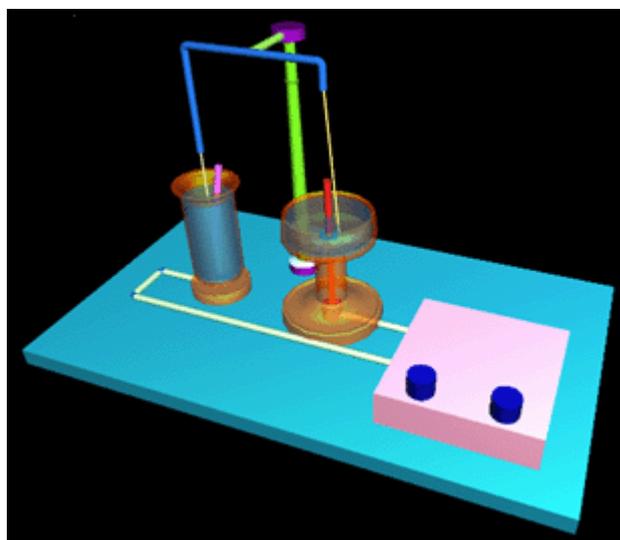


Figura 2 - Montagem em realidade virtual (VRML) desenvolvida pelos autores para a replicagem da experiência dos "Copos de Faraday".

Biot e Savart estabeleceram relações matemáticas, experimentais, entre o campo magnético criado em um ponto "P" (a uma distância "r" de um segmento muito pequeno de condutor representado por Δl) em termos do fluxo de uma corrente "I" e propuseram uma formulação dada pela expressão $\Delta B = k (\Delta l I \sin \theta) / r^2$. Essa expressão concretizou matematicamente a idéia de que:

- 1) o elemento de indução magnética ΔB (campo magnético) é associado ao fluxo da corrente "I" que passa em um elemento de condutor representado por Δl ;
- 2) o sentido de ΔB é perpendicular a Δl e a reta que une Δl ao ponto P;
- 3) o valor de ΔB é proporcional ao comprimento Δl e ao valor da corrente que passa pelo condutor;
- 4) ΔB é inversamente proporcional ao quadrado do módulo da distância "r" e, finalmente,
- 5) ΔB é proporcional ao ângulo "θ" entre as direções de Δl e da distância "r".

A formulação matemática do fenômeno tornou-o mais rico e preciso em determinações. Essa representação matemática da descoberta de Oersted, apesar de não contar precisamente com medidas de corrente, forneceu um caminho de desenvolvimentos matemáticos futuros.

Uma semana após a experiência de Oersted, Ampère equacionou as relações de força entre dois condutores paralelos e percorridos por corrente elétrica selando definitiva, matemática, prática e conceitualmente o fato de que a corrente elétrica produzia campo magnético, além de fornecer bases quantitativas para o entendimento mais apurado do primeiro fenômeno eletromagnético historicamente documentado.

O complemento da relação entre eletricidade e magnetismo só veio a ser desvelado, em 1831, com Michael Faraday. Interessante observar, para os propósitos deste texto, que a constatação imposta por Faraday de que variações magnéticas produzem eletricidade decorreu de forma experimental e sem determinações matemáticas de alguma espécie. Faraday demonstrou em laboratório que um magneto induzia corrente quando introduzido no interior de uma espira. Aqui a intuição e experimentação tiveram, historicamente, um papel essencial. Faraday não possuía conhecimentos matemáticos, que eram próprios de muitos cientistas da época. Sua contribuição, que foi marcante para a Eletricidade e a Eletroquímica, fundou-se na experimentação. Mas suas descobertas conduziram muitos a desenvolver e enriquecer a matemática de forma surpreendente, ao abordar os fenômenos da eletricidade e do magnetismo por ele trabalhado.

Embora Faraday tenha estabelecido que um campo magnético variável produz uma força eletromotriz induzida, ele não forneceu um desenvolvimento matemático para essa descoberta. Mas o fato de não ter exibido o fenômeno numa linguagem matemática não o impediu de outros tantos desenvolvimentos que realizou dentro do eletromagnetismo. Para dar uma representação ao fenômeno físico ele imaginou que o imã continha linhas de força que cortavam os condutores produzindo, dessa forma, eletricidade. Essa idéia de linhas de força foi uma forma poderosa de representação dos fenômenos magnéticos. Mais tarde William Thomson (1824-1907) acoplou às idéias de linhas de forças um tratamento matemático, emprestando à teoria do eletromagnetismo uma poderosa representação. Em 6 de agosto de 1845 ele escreveu a Faraday prognosticando matematicamente que um campo magnético poderia afetar o plano de polarização da luz. O interessante é que Faraday havia anteriormente pesquisado experimentalmente, em vão, para obter esse fenômeno. Após as descobertas matemáticas de Thomson ele tentou novamente, em 13 de setembro de 1845, e foi recompensado ao determinar que um campo magnético intenso poderia girar o plano de polarização da luz. E ainda, que o ângulo de polarização seria proporcional ao valor do campo magnético. Aqui a matemática serviu de guia para novas experimentações, completando os conhecimentos sobre a realidade.

James Clerk Maxwell (1831-1879), físico inglês, deu uma forma acabada às especulações de Faraday sobre as linhas de força. Ao realizar esse feito conseguiu estabelecer um conjunto de equações que sintetizava os fenômenos elétricos e magnéticos. Originalmente essas as equações formavam uma coleção de 20 formulações matemáticas, que posteriormente foram sintetizadas para um conjunto de quatro, conhecidas atualmente como "Equações de Maxwell". As mesmas, equações (1), (2), (3) e (4), estão abaixo apresentadas na sua forma pontual. Elas representam a síntese do eletromagnetismo.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

Nessas equações, E e D representam o par campo elétrico e B e H o par campo magnético. O lado esquerdo das equações apresenta as definições matemáticas dos campos elétrico e

magnético (o rotacional e o divergente de cada campo). O lado direito apresenta as definições físicas, as fontes dos campos (cargas, correntes e variações temporais dos próprios campos). Quando Maxwell estabeleceu suas equações, como resultado de uma síntese dos trabalhos dos cientistas que o antecederam (Ampère, Gauss, Faraday) observou que a terceira equação (até então desprovida de seu segundo termo no lado direito) deveria comportar um termo a mais para atender questões de simetria. Ela prevê, em sua formulação final, que um campo elétrico variável no tempo produza um campo magnético da mesma forma que em que um campo magnético variável no tempo produza um campo elétrico. Essa observação levou Maxwell a propor a possibilidade de existência de ondas eletromagnéticas. Essa é uma descoberta por injunções de ordem matemática. Pouco tempo mais tarde ela foi comprovada empiricamente por Hertz. Aqui a matemática adiantou-se com relação às constatações de ordem prática e experimental ressaltando, mais uma vez, a inter-relação frutífera entre os domínios da matemática e do campo experimental. No desenvolvimento do eletromagnetismo é possível identificar, claramente, essa relação de domínios, onde a matemática e o experimental trocam de posição como carros-chefe no desenvolvimento da teoria.

3. ALGUMAS QUESTÕES SOBRE O ENSINO DE ELETROMANGETISMO

Os conceitos fundamentais do Eletromagnetismo, tais como noções de campos, efeitos de ação a distância, torques elétricos, armazenamento de energia elétrica etc., não são de imediata assimilação para os estudantes de graduação em Engenharia Elétrica. O relatório do "The MIT Council On Educational Technology" (1997) sugere como causa para isso o fato de não haver nesses estudantes uma memória forte relacionada à experiências vividas a respeito dos conceitos eletromagnéticos. No ensino da mecânica há, por exemplo, uma série de conceitos com os quais o aluno já se defrontou no seu dia a dia. Quase todos já passaram pela experiência de sentir seu corpo tendendo a continuar um movimento que foi interrompido bruscamente (inércia). A experiência prévia, nesse caso, faz com que esse conceito seja mais facilmente apreendido, interpretado e assimilado. Desse modo, quando o professor fala de inércia existe, já, uma percepção a respeito e o conteúdo é mais facilmente assimilado. No caso do eletromagnetismo, salvo algumas exceções mais corriqueiras como a atração eletrostática (pelos do braço se eriçam ao passá-lo próximo da tela de uma TV), ou a interação entre ímãs (torques magnéticos), a maioria dos conceitos fundamentais ainda não foram vivenciados na prática.

Outra razão para a dificuldade na apreensão dos conceitos do eletromagnetismo tem sido a exigência de uma elevada familiarização com o ferramental matemático por parte de ambos, aluno e o professor. Uma grande quantidade de dados abstratos precisa ser manuseada, interpretada, visualizada e nem sempre o professor dispõe de recursos adequados para tal. A formulação matemática no eletromagnetismo permite documentar simular, visualizar e modelar as distribuições de energia associadas a existência dos campos eletromagnéticos. Uma das metas do Engenheiro Eletricista, talvez a maior delas, é o domínio dessas distribuições de energia e a utilização das mesmas na construção de engenhos (engenheiro \equiv construtor de engenhos). A documentação matemática gerada através do eletromagnetismo contém dados que podem ser interpretados, analisados, combinados e dos quais se pode tirar conclusões que a observação direta em laboratório nem sempre permite. Ela fornece um grau maior de liberdade de observação ao projetista. Permite, também, ver além do campo da visão experimental. Esse aspecto já foi ressaltado no item 2 desse artigo, quando da apresentação da participação de Maxwell na definição do conceito de ondas eletromagnéticas. A interpretação da documentação matemática o levou a intuir a existência de ondas eletromagnéticas, cuja existência foi posteriormente confirmada em laboratório por Hertz.

Uma visão panorâmica do ensino do eletromagnetismo mostra uma grande diversidade de estratégias na apresentação desse tema nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica. Mas dentro dessa diversidade é possível identificar, com elevada frequência, duas vertentes recorrentes e bem caracterizadas. Numa delas aparece o professor que privilegia um excessivo formalismo matemático, transformando a disciplina em algo abstrato, árido, de difícil acesso para o estudante médio de engenharia. A intensa concentração em aspectos do ferramental matemático, em detrimento da informação prática associada, acaba, freqüentemente, por comprometer o bom entendimento da matéria. No outro extremo aparece o professor que abdica do formalismo matemático (em alguns casos da própria matemática) em nome de uma visão excessivamente experimental, transformando a disciplina de eletromagnetismo em numa colagem de uma série de casos de laboratório, prejudicando, desse modo, a compreensão da totalidade e das implicações do fenômeno eletromagnético. O ideal seria a conjugação de características dessas duas vertentes, com a interpretação e visualização clara da informação matemática associada à presença contínua da experiência. Um caminho para essa conjugação seria o uso de recursos da tecnologia computacional aplicada ao eletromagnetismo

4. RECURSOS AUXILIARES AO ENSINO DE ELETROMAGNETISMO

Não é intenção nossa estabelecer um manual ou encontrar uma fórmula mágica para o ensino de teoria eletromagnética. O que nos leva a essa reflexão é discutir:

- a) alguns pontos com os quais nos defrontamos ao longo da realização de nosso trabalho;
- b) outros que a nossa vivência permitiu perceber como significativos no trabalho dos colegas e, sobretudo,
- c) aprender e enriquecer a nossa experiência com o debate criativo, com troca de idéias.

O sucesso de um curso não depende apenas das estratégias do professor ou das ferramentas educacionais das quais faz uso. Inúmeros fatores se somam nessa equação, como o público alvo e o seu nível de interesse, o seu grau de preparação intelectual para o tema, o grau de comunicação do professor, a sua capacidade de estabelecer uma relação criativa com os seus alunos, o estilo de ensino adotado, a complementaridade entre os estilos de ensino e aprendizado, os objetivos educacionais buscados, o tipo de profissional que se está formando, etc. Um curso de eletromagnetismo utilizando-se de uma linguagem matemática altamente sofisticada e abstrata pode ser muito proveitoso e render frutos se for apresentado para um público interessado nessa estratégia. O mesmo curso pode redundar em um monumental fracasso se estiver dirigido para o público errado. O trabalho de alguns educadores, permite, entretanto, que possamos estabelecer um conjunto mínimo de objetivos a serem buscados em nosso trabalho, tendo estabelecido a priori nosso público alvo: o estudante de graduação em Engenharia Elétrica. É sobre esses objetivos que discutimos nesse item.

Conceitos fundamentais centenários como campos elétricos, campos magnéticos, funções potenciais, funções de fluxo, etc., muito embora tenham uso concreto, já que são a base de desenvolvimento de uma série de dispositivos de ordem prática, são observados, via de regra, indiretamente. A interação entre campos magnéticos em um motor, por exemplo, pode ser modelada via o efeito físico do torque. A existência de campos magnéticos em uma região pode ser visualizada através das tensões Hall induzidas em uma ponta de prova com um sensor desse tipo. A presença de ondas estacionárias em uma linha de transmissão pode ser inferida a partir de medidas de taxa de ondas estacionárias que, por sua vez, podem ser detectadas por uma ponta de prova sensível a variações de tensão. Esses poucos exemplos ressaltam o desafio que um educador na área da engenharia elétrica encontra para conciliar a formação de profissionais para atuar em uma especialidade com tantas aplicações práticas (basta olhar ao redor para encontrar vários dispositivos eletro/eletrônicos) e baseada em tantos

conceitos não observáveis diretamente. De um modo geral existe no educador, na área de formação de engenheiros eletricitas, a consciência da necessidade de superar os obstáculos da abstração. Antes do advento da popularização do uso da tecnologia computacional essa superação era feita em sala de aula, sobretudo, através do uso de gráficos, diagramas e imagens, além da complementação fundamental das aulas de laboratório. No caso específico do eletromagnetismo era comum o uso, por parte do professor, de recursos audiovisuais tradicionais (fotografias, desenhos, filmes etc.). Utilizava-se, e ainda se utiliza, o recurso do desenho em perspectiva. Isso exigia do professor alguma qualidade artística para que seus desenhos pudessem transmitir informações claras sobre os fenômenos estudados. Por outro lado, o uso de desenho em perspectiva exigia do aluno, além de um aguçado senso de visão espacial, a capacidade de interpretação tridimensional de informação apresentada de modo bidimensional. Nem todos as pessoas são providas dessa capacidade de interpretação. É freqüente a situação na qual o aluno falha na solução de um problema de teoria eletromagnética, simplesmente por não ter sido capaz de visualizar no espaço tridimensional as funções matemáticas envolvidas. Seria interessante, portanto, que o professor e os alunos de teoria eletromagnética pudessem dispor de recursos gráficos, interativos ilustrando a variação e a distribuição espacial dos campos fundamentais.

O advento da tecnologia computacional colocou a disposição do educador um poderoso meio instrucional: o computador. Alguns recursos baseados no uso de computadores se tornaram muito populares, dentre eles o uso de técnicas de elementos finitos, o uso da linguagem JAVA no desenvolvimento de pequenos softwares educativos - os applets, o uso de animações interativas, e o emprego da tecnologia da realidade virtual (VRML).

a) o uso de técnicas de elementos finitos: Esse método é um procedimento numérico utilizado no desenvolvimento de aplicações práticas do eletromagnetismo. Ele é uma poderosa ferramenta computacional de modelagem e visualização e tem sido aplicada com sucesso ao projeto de dispositivos eletromagnéticos. Começou a ser desenvolvido na década de 50 pela indústria aeronáutica para o projeto mecânico de aeronaves. Antes da popularização da tecnologia computacional, seu uso era restrito a grandes empresas que tinham capacidade de acessar os "chamados" computadores de grande porte da época. Hoje em dia ela é um instrumento freqüentemente usado nos cursos de graduação em engenharia elétrica. Inúmeros softwares educacionais são disponíveis atualmente para a implementação da técnica aplicada na área elétrica.

b) o uso de applets: Um "applet" é um pequeno programa elaborado na linguagem Java que pode ser inserido em uma página de "HTML" do mesmo modo que uma imagem. Esses programas podem rodar via Internet e muitos autores dão permissão para que sejam baixados em definitivo. Há uma imensa biblioteca de applets voltados para a visualização interativa de fenômenos do eletromagnetismo na Internet. Muitos desses programas podem ser usados como excelentes coadjuvantes no ensino do eletromagnetismo. Um exemplo da utilidade desses recursos é o "applet" denominado "Electric Field Applet" disponível no "site" do "California Institute of Technology - CALTECH". Esse programa permite ao usuário a elaboração de arranjos de cargas elétricas e a visualização bidimensional das funções campo elétrico e potencial elétrico. Esse mesmo "applet" pode ser usado pelo professor para ilustrar o uso do princípio da superposição no cálculo de campos elétricos, como mostrado na Figura 3. Uma seqüência de quatro imagens, da esquerda para a direita, respectivamente, exibe as distribuições do campo elétrico de uma carga pontual, um sistema de duas cargas pontuais, cinco cargas e, na última, um arranjo de diversas cargas alinhadas com o intuito de exemplificar a formação do campo elétrico de uma linha de cargas. Essa mesma idéia, ilustrada graficamente na Figura 3, é usada no cálculo integral do campo elétrico da linha de cargas, tomando-se o campo de uma carga pontual como contribuição elementar e integrando-se (somando-se continuamente) as contribuições desse tipo ao longo de toda a linha. Um

recurso simples, aliando informação técnica e beleza plástica pode ser utilizado para ajudar a fixar, por visualização, um conceito fundamental no eletromagnetismo: O Princípio da Superposição.

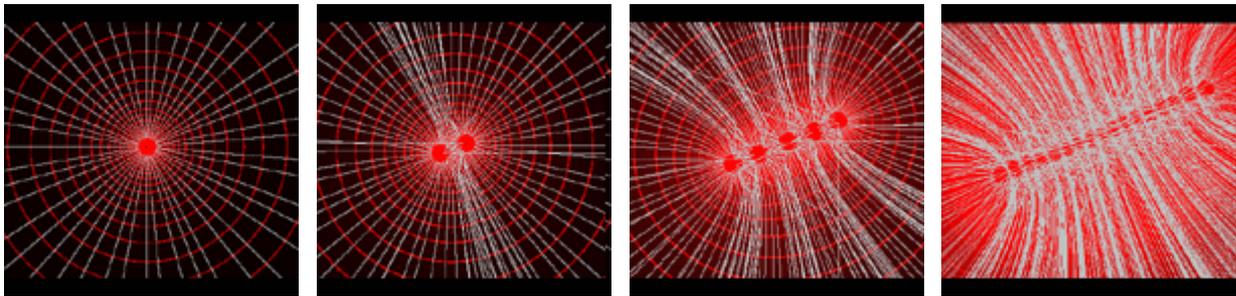


Figura 3 - Arranjos de cargas eletrostáticas utilizados para ilustrar a criação do campo de uma linha de cargas e o princípio da superposição. O arranjo de cargas foi produzido em um "applet" disponível no endereço: <http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java.html>

c) o uso da tecnologia da realidade virtual: A VRML é uma linguagem independente de plataforma e empregada na descrição de cenas tridimensionais interativas que podem ser visualizadas e manipuladas tanto através da Internet como a partir de arquivos residentes no computador do usuário. Ela suporta animações em 3D e interações em tempo real com a linguagem Java. VRML é uma sigla formada a partir de "Virtual Reality Modeling Language". A linguagem VRML foi criada para ser usada na Internet, permitindo aos usuários conectados na rede a produção e troca de arquivos tridimensionais. Os arquivos de VRML conjugam três características importantes para o ensino/aprendizado: imersão, interatividade e navegabilidade. Um projeto dos autores desse artigo, em execução no Departamento de Eletrotécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (DEE/UFRJ), objetiva a produção de recursos interativos em realidade virtual para o ensino/aprendizado da engenharia elétrica, SOUZA *et al* (2001) . Uma biblioteca direcionada especificamente para o ensino de eletromagnetismo está sendo desenvolvida nesse projeto. Concomitantemente, há a produção de um conjunto de experiências virtuais replicando experimentos clássicos do eletromagnetismo, tais como os trabalhos de Coulomb, Faraday, Oersted e Ampère, SOUZA e OLIVEIRA (2002), Souza *et al* (2003). A Figura 4 mostra, da esquerda para a direita, uma seqüência de visualizações de campos eletromagnéticos fundamentais: o campo elétrico da carga pontual, campo elétrico do plano de cargas infinito, o campo elétrico da linha infinita de cargas e o campo magnético da linha infinita de corrente.

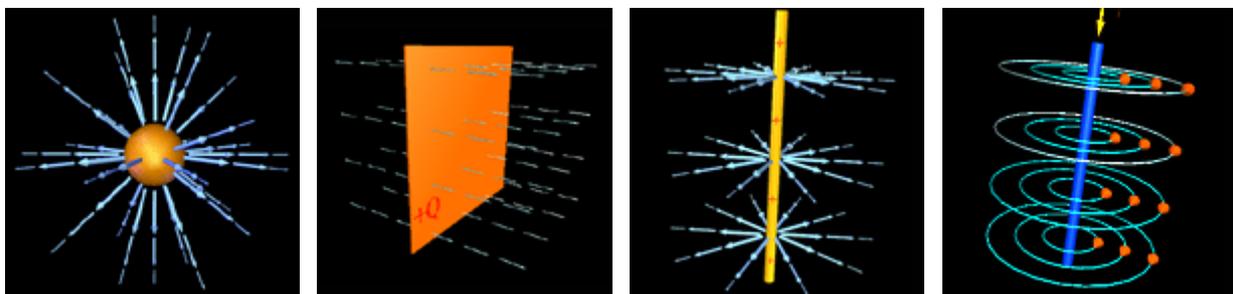


Figura 4 - Campos eletromagnéticos básicos em Realidade Virtual. Da esquerda para a direita: campo elétrico da carga pontual, campo elétrico do plano infinito de cargas, campo elétrico da linha infinita de cargas e campo magnético da linha infinita de corrente.

A Figura 5 apresenta uma seqüência de replicagens em realidade virtual (VRML) usada na construção de um laboratório virtual para o ensino de eletromagnetismo. Da esquerda para a direita são mostrados: uma réplica da balança de torção Coulomb, usada para a definição da lei de interação das cargas elétricas; uma réplica de um torniquete elétrico, um dispositivo usado para ilustrar o efeito elétrico das pontas; uma réplica de um eletroscópio de folhas de ouro, usado em ilustrar os princípios da indução eletrostática e uma replica da estrutura de um motor elétrico convencional usado par ilustrar os princípios de funcionamentos das máquinas elétricas. As replicagens em realidade virtual do eletroscópio de folhas de ouro e do motor elétrico são interativas, permitindo com que o aluno possa analisar diferentes situações às quais os dispositivos podem ser submetidos na pratica. Todo o material em realidade virtual desenvolvido pelo projeto está disponível para os professores e alunos via Internet no endereço : <http://www.dee.ufrj.br/lanteg/absite/absite.htm>

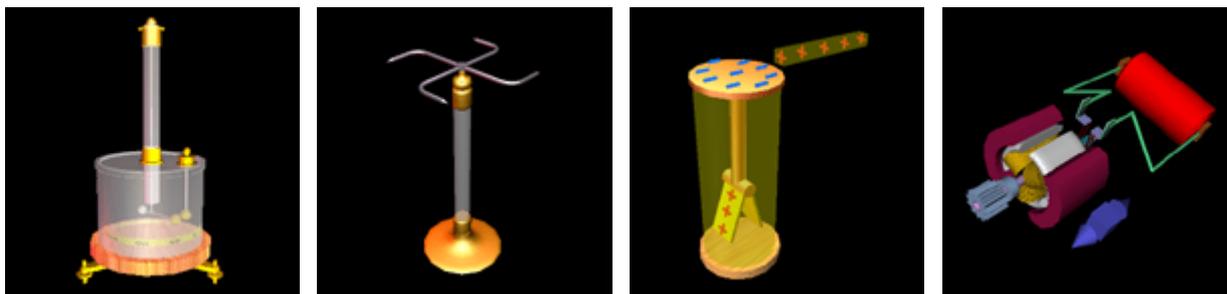


Figura 5 - Dispositivos em realidade virtual desenvolvidos para a replicagem de uma série de experiências clássicas para o desenvolvimento do eletromagnetismo. Da esquerda para a direita: réplica da balança de torção de Coulomb, torniquete elétrico, eletroscópio de folhas de ouro e motor elétrico básico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que os circuitos, dispositivos e sistemas elétricos hoje existentes tendem a uma exaçoão intensa - tanto no que tange aos problemas dos projetos de engenharia que tratam da miniaturização e do gigantismo, quanto nos que lidam com a fidelidade e velocidade de reprodução de sons, cores e movimentos - tem sido necessário um domínio maior dos conhecimentos do eletromagnetismo que permitem ao engenheiro o atendimento e manutenção dos bens elétricos demandados por uma sociedade cada vez mias automatizada.

O ensino dessa disciplina nas escolas de engenharia certamente é alçado num patamar de maior exigência. Ao mesmo tempo sabendo-se do alto grau de abstração, embutido nas representações dos fenômenos eletromagnéticos - para cujo entendimento requer-se cada vez mais um aprendizado de matemática sofisticada e variável - procura-se obter formas alternativas de ensino que traduzam as expectativas depositadas em uma apreensão maior e mais consistente do seu corpo teórico e prático.

Para amenizar o alto grau de abstração das teorias eletromagnéticas se propôs aqui o uso mais intensivo das novas tecnologias centradas no computador. As ferramentas consubstanciadas pelos "applets", elementos finitos e VRML se inscrevem como muito úteis na complementação do ensino da teoria eletromagnética, garantindo uma apreensão mais segura e tornando as representações gráficas, interativas com uma forma a mais para eliminar o alto grau de abstração e formalização, hoje mais presente na Teoria Eletromagnética.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEC/CNE - Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia - 12/12/2002

The MIT Council On Educational Technology , "The MIT Course in Electromagnetism 2000"
<http://web.mit.edu/jbelcher/www/why.html>

California Institute of Technology - CALTECH – “Electric Field Applet“
<http://www.cco.caltech.edu/~phys1/java.html>

SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, J.C. ; SANTOS, M. P.L.; Recursos da computação gráfica para o desenvolvimento de um laboratório virtual; Congresso Brasileiro de ensino de engenharia – COBENGE 2001; Anais em CD; Porto Alegre - RS - 2001

SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, J.C.; Usando a Tecnologia VRML como Ferramenta Educacional na Formação de Engenheiros Eletricistas; Anais da VII International Conference on Engineering and Technology Education - INTERTECH2002, Santos – SP – 2002

SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, J.C. ; SANTOS, M. P.L; Usando a Linguagem VRML no Ensino de História da Ciência e da Tecnologia da Engenharia Elétrica; Anais da International Conference on Engineering and Computer Education - ICECE 2003, Santos – SP, Março - 2003

Abstract: *The study of Electromagnetic Theory has fundamental importance in Electrical Engineering education. It can be considered the electrical engineers language. It is through Electromagnetic Theory that the basic phenomena of the electricity and the magnetism are modelled and it also supply the necessary mathematical tool for the majority of the advanced studies in the area. There is, however, a long controversy regarding the forms as the Electromagnetic Theory should be presented. Some educators emphasize an extreme mathematical severity, making it difficult to dialogue with its public. Others adopt an opposing strategy, privileging a practical, experimental approach. This work discusses alternative forms of teaching Electromagnetic Theory for undergraduates student and emphasizes the use of novel resources from computer technology in education.*

Word-key: *Electromagnetic theory, Electromagnetism, Teaching electrical engineering*