

# UM ESTUDO EXPLORATÓRIO SOBRE O USO DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS NA APRENDIZAGEM DA LEI DE GAUSS E DA LEI DE AMPÈRE EM NÍVEL DE FÍSICA GERAL\*

ARAÚJO<sup>1</sup>, IVES SOLANO; VEIT<sup>2</sup>, ELIANE ANGELA e MOREIRA<sup>3</sup>, MARCO ANTONIO

Instituto de Física. UFRGS. Caixa Postal, 15051. Campus do Vale. Porto Alegre, RS. Brasil.

<sup>1</sup> <ives@if.ufrgs.br>

<sup>2</sup> <eav@if.ufrgs.br>

<sup>3</sup> <moreira@if.ufrgs.br>

---

**Palavras chave:** Simulações computacionais; Lei de Gauss; Lei de Ampère; Ensino de Física.

## 1. INTRODUÇÃO

No presente artigo relatamos os resultados de um estudo exploratório que buscou analisar as potencialidades do uso de simulações computacionais combinado com um método colaborativo presencial para a superação das dificuldades conceituais para um aprendizado significativo ausubeliano da Lei de Gauss e da Lei de Ampère, levantadas por Krey (2000) e Pinto (2000) buscaram indícios da construção de modelos mentais, no referencial de Johnson-Laird (1983), por parte dos estudantes após terem passado pela disciplina. A construção destes modelos seria a evidência de uma aprendizagem significativa. A Tabela 1 mostra de forma reduzida as dificuldades mapeadas, também indicadas por outros autores. Este estudo exploratório está vinculado a uma tese de doutorado em Física inserida em um projeto maior desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Física do Instituto de Física - UFRGS sobre as dificuldades conceituais dos alunos no estudo das leis de Maxwell do Eletromagnetismo.

Estes resultados mostram que os estudantes, mesmo após passarem por um bom ensino tradicional,\*\* infelizmente, não constroem um modelo mental das referidas leis, trabalhando apenas com proposições e imagens isoladas que não correspondem ao desejado para uma aprendizagem significativa. Contudo, cabe salientar que boa parte dos alunos mesmo sem ter compreendido os aspectos fenomenológicos e conceituais de forma adequada conseguiram resolver de forma razoável os problemas indicados pelo professor, constantes no livro-texto, ficando explicitadas suas deficiências, em termos de conhecimento declarativo, apenas ao serem entrevistados.

Krey (2000) e Pinto (2000) apontam, além da organização do conteúdo, a falta de elementos perceptivos e habilidade em lidar com aspectos abstratos como a possível causa das principais dificuldades enfrentadas pelo entendimento da Lei de Gauss e da Lei de Ampère pelos alunos. Nas palavras de Krey (ibid):

\* Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

\*\* Baseado em uma metodologia expositiva.

**TABELA 1**  
**Principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem da Lei de Gauss e da Lei de Ampère**  
**(Krey, 2000; Pinto, 2000; Guisasola, Salinas, Almundí & Velazco, 2003).**

Lei de Gauss	Lei de Ampère
Visão da Lei de Gauss como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.	Visão da Lei de Ampère como apenas um método para resolução de problemas com alto grau de simetria.
Confusão entre campo elétrico e fluxo do campo elétrico.	Confusão de linha amperiana com “superfície” amperiana.
[Superposição dos campos] o campo elétrico referido pela Lei de Gauss é de vido somente às cargas internas à superfície gaussiana.	[Superposição dos campos] o campo magnético referido pela Lei de Ampère é de vido somente às cargas internas à superfície gaussiana.
Confusão do fluxo do campo elétrico com fluxo de cargas.	Não entendimento da arbitrariedade da escolha do percurso sobre a linha amperiana.

“Na verdade, os três conceitos que se apresentaram como problemáticos para eles – campo elétrico, fluxo elétrico e superfície gaussiana – são abstrações matemáticas difíceis de modelar mentalmente ante a falta de elementos perceptivos. Quer dizer, a superfície gaussiana é uma superfície hipotética, imaginária, arbitrária; o fluxo elétrico é o fluxo de algo que, a rigor, não existe, as linhas de campo; o campo elétrico por sua vez, é também algo que não se vê e ocupa todo o espaço de uma forma difícil de ser entendida (Krey, 2000, p.89)”.

Neste estudo exploratório, estamos interessados na potencial eficiência de simulações computacionais como ferramenta de suporte à prática docente para a elaboração de materiais que sejam potencialmente significativos e possibilitem ao professor disponibilizar os elementos perceptivos necessários a seus alunos para a compreensão dos conceitos relevantes ao aprendizado significativo (seção 3.1) das leis aqui abordadas. Em conjunção às atividades exploratórias desenvolvidas a partir das simulações, também analisamos o caráter motivador do método colaborativo presencial utilizado, ambos escritos em maior detalhe na seção 4.

## 2. OBJETIVOS

Com a intenção de fornecer subsídios para uma pesquisa mais ampla sobre o uso da modelagem computacional para a superação de dificuldades de aprendizagem das Leis de Maxwell, este estudo exploratório, através de entrevistas semi-estruturadas e observações em situação de sala de aula, tem como objetivos:

- verificar o efeito motivador do uso de atividades exploratórias com simulações computacionais em conjunto com um método colaborativo presencial;
- buscar evidências de que estas atividades oportunizam aos alunos a externalização, reflexão e discussão de suas próprias idéias em grupo e com o professor;
- buscar indícios do fornecimento de elementos perceptivos necessários à aprendizagem significativa dos conceitos relevantes à Lei de Gauss e à Lei de Ampère, pelas atividades envolvendo simulações computacionais.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 A teoria de aprendizagem de Ausubel

A teoria de aprendizagem de Ausubel (1980) tem como cerne a idéia da *aprendizagem significativa*, definida como um processo em que uma nova informação interage com algum aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Para Ausubel (2003), as informações na mente humana formam uma hierarquia conceitual, onde os elementos mais específicos do conhecimento são ligados e assimilados a con-

ceitos mais gerais e inclusivos. Deste modo, estrutura cognitiva significa uma estrutura hierárquica de conceitos, que são representações resultantes de experiências sensoriais do indivíduo e do processamento mental da informação recebida (Moreira, 1999). Uma aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação é assimilada através da interação com conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel propõe duas condições básicas para que ocorra a aprendizagem significativa:

- 1) as informações a serem assimiladas devem ser potencialmente significativas para o aprendiz, ou seja, ele ou ela tem de ter em sua estrutura cognitiva conceitos relacionáveis, de forma substantiva e não-arbitrária, vinculados diretamente com o conhecimento a ser aprendido, o qual, por sua vez, deve ter significado lógico;
- 2) o aprendiz deve manifestar uma disposição para relacionar o novo material, de forma substantiva e não-arbitrária, à sua estrutura cognitiva. Em outras palavras, podemos dizer que mesmo que uma informação seja potencialmente significativa, se o aprendiz não se dispuser a aprendê-la, a aprendizagem só poderá ser mecânica. Da mesma forma, se o material não é potencialmente significativo, tanto o processo como o resultado não serão significativos.

### **3.2 A teoria da mediação de Vygotsky**

Embora Vygotsky (2003) tenha como tema central a relação entre pensamento e linguagem, podemos vislumbrar em sua obra uma teoria bem-fundamentada do desenvolvimento intelectual. Na introdução do livro ele chama a atenção para o fato de que a interiorização da ação faz (produz) o pensamento e, em particular, é a interiorização do diálogo exterior que leva a linguagem a exercer influência sobre o fluxo do pensamento. Nesse sentido, o homem é modelado pelos instrumentos e signos que utiliza. O verdadeiro curso do desenvolvimento do pensamento, conforme Vygotsky (ibid), não vai do individual para o socializado, mas do social para o individual.

A tecnologia moderna, indo além das tecnologias do papel, lápis, tinta e pintura, têm fornecido novos meios de externalizar o pensamento. O processador de textos pode ajudar a pensar sobre a escrita por tornar fácil construir, combinar e comparar manuscritos. Com a modelagem computacional, através da construção e exploração de modelos que podem ser simulados, pretende-se, pelo menos de algum modo específico, auxiliar os estudantes a pensar, permitindo a externalização das idéias e, mais importante, a atuação sobre elas.

## **4. METODOLOGIA E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Trabalhamos com cerca de 30 estudantes do curso de Engenharia matriculados na disciplina de Física Geral II – C, no Departamento de Física da UFRGS, durante o segundo semestre de 2004. Os alunos tiveram três aulas semanais de 1h e 40 min cada. Nestas aulas houve, de parte do professor, uma exposição de 30 a 40 min seguida da realização de uma tarefa, pelos alunos, em pequenos grupos. Esta tarefa, cujo resultado era entregue no final da aula, era constituída por alguns problemas ou algumas questões teóricas ou um mapa conceitual. Durante a realização destas tarefas o professor e o pesquisador (que atuou como ajudante) interagiram muito com os alunos e estes, por sua vez interagiram bastante entre si. A interação pessoal (defendida por Vygotsky) é um elemento-chave dessa metodologia, que pode ser chamada de colaborativa presencial. As práticas de laboratório também foram enfocadas como tarefas a serem realizadas em pequenos grupos. Após a exposição feita pelo professor, quando o tópico abordado foi a Lei de Gauss ou a Lei de Ampère, parte do tempo que seria dedicado à realização de tarefas foi substituído por atividades exploratórias envolvendo simulações computacionais, realizadas em um laboratório de informática com duas aulas (3h e 20 min) para cada lei.

As atividades exploratórias caracterizam-se pela observação, análise e interação do sujeito com simulações, no intuito de permitir ao aluno a percepção e a compreensão das eventuais relações existentes entre a matemática, subjacente ao modelo computacional que gera a simulação e o fenômeno físico em pauta. Neste tipo de atividade, várias questões são apresentadas em forma de perguntas dirigidas e “desafios” para

os quais o aluno deve interagir com o modelo para chegar às respostas. Esta interação é feita através de modificações nos valores iniciais e parâmetros do modelo podendo ser utilizados recursos como “barras de rolagem” e “botões” para facilitar as modificações dos mesmos. Optamos na realização do presente estudo pela tradução, adaptação e desenvolvimento de atividades exploratórias utilizando Physlets® (aplicações em java com conteúdo de Física) disponíveis em Belloni & Wolfgang (2004). Nas aulas realizadas no laboratório de informática os alunos se dividiram em pequenos grupos (máximo quatro alunos por computador) para a execução das atividades (10 grupos no total). Os estudantes receberam um guia de atividades em papel a ser preenchido e entregue ao final da aula.

Cerca de duas semanas após a realização das atividades, pelo menos um dos estudantes de cada grupo foi entrevistado (total de 16 entrevistados, com duração média de 15 minutos cada). As entrevistas semi-estruturadas apresentaram aos alunos perguntas relacionadas ao conteúdo trabalhado, por exemplo: “qual é o significado físico da Lei de Ampère? Dê exemplos de sua aplicação, fale de suas dificuldades em entendê-la e tudo que lembrar sobre ela”; e sobre a importância que as atividades tiveram como auxílio ao seu entendimento do conteúdo, por exemplo: “qual a sua opinião sobre as atividades exploratórias utilizadas?”.

Com base nas entrevistas e nas observações em sala de aula temos fortes indícios de que os alunos continuam percebendo a Lei de Gauss e a Lei de Ampère como métodos para resolução de problemas, por exemplo:

A Lei de Gauss serve para calcular o campo elétrico usando uma superfície imaginária e tu procuras adequar qual a melhor superfície para calcular o campo elétrico. Faz muito sentido em relação à Lei de Coulomb, se tu usares uma esfera em cima de uma partícula carregada tu vai ter os mesmos resultados (*Aluno 1*).

Em relação ao efeito motivador das atividades e do fornecimento de elementos perceptivos para que os alunos pudessem melhor compreender os conceitos, acreditamos que tenha ocorrido em nível satisfatório. Todos os alunos entrevistados salientaram de modo espontâneo a importância da visualização e do quanto gostaram das atividades. Vejamos dois exemplos:

“...ajudaram bastante, eu achei ótimo, modificando a superfície, tu podes ver o que acontece com o fluxo, tu pode passar em volta da carga que tu tá considerando e vê que o campo muda conforme o raio; pode ver o que estava acontecendo foi o que mais me ajudou a entender” (*Aluno 2*).

“Eu acho que é bom porque tu visualizas a situação, no quadro fica uma coisa muito restrita com a gente tendo que imaginar todas as situações que o professor diz, e ali não, tu consegues ver o valor do campo aumentando ou diminuindo conforme a gente mexe nos parâmetros, eu achei que facilita bastante para aprender” (*Aluno 4*).

Podemos observar no desenrolar das atividades que os alunos usaram as simulações computacionais para explicar o conteúdo aos colegas e suas dúvidas ao professor, utilizando-as para externalizar o seu pensamento e testar suas hipóteses.

## 5. CONCLUSÕES

Como uma primeira aproximação para uma pesquisa mais aprofundada, realizamos este estudo exploratório buscando evidências da adequabilidade do uso de atividades exploratórias baseadas em simulações computacionais, em conjunto com um método colaborativo presencial, para motivar e fornecer aos alunos elementos perceptivos necessários ao aprendizado significativo de conceitos relevantes ao conteúdo estudado. Além disso, buscamos indícios do uso das simulações, por parte dos alunos, para a externalização, teste de hipóteses e base para o diálogo nos grupos.

Nossos resultados indicam que o uso das atividades exploratórias, mais o método colaborativo presencial, podem ser uma ferramenta potencial para engajar os alunos como participantes ativos de seu aprendizado e como base para a superação das dificuldades no entendimento de conceitos abstratos como campo, fluxo

de campo, circulação, superfície gaussiana, linha amperiana, etc. Entretanto, a maioria dos alunos não conseguiu alcançar um entendimento fenomenológico da Lei de Gauss e da Lei de Ampère. Para isso pretendemos introduzir, em conjunto com as atividades exploratórias e o método colaborativo presencial, uma reformulação na abordagem tradicional (que privilegia a visão destas leis como métodos para resolver problemas) de modo que a operacionalização matemática seja decorrente de uma abordagem mais conceitual e fenomenológica e não como um fim em si.

## 6. REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano.
- BELLONI, M. & CHRISTIAN, W. (2004) Chapter 9: Electromagnetism and Optics Physlet-Based Curriculum. Disponível em: <[http://webphysics.davidson.edu/physletprob/ch9\\_problems/default.html](http://webphysics.davidson.edu/physletprob/ch9_problems/default.html)> Acesso em: 04 mai. 2004.
- GUISASOLA, J., SALINAS, J., ALMUNDÍ, J. M. & VELAZCO, S. (2003). Análisis de los procesos de aplicación de las leyes de Gauss y Ampère por estudiantes universitarios de España y Argentina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 25 (2), pp.195-206.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- KREY, I. (2000). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Gauss em nível de Física Geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. Porto Alegre, 99 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- MOREIRA, M. A. (1999). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: E.P.U.
- PINTO, A. O. (2000). Dificuldades dos alunos na aprendizagem da Lei de Ampère em nível de Física Geral à luz da teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird. Porto Alegre, 73 f. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- VYGOTSKY, L. S. (2003). *Pensamento e linguagem*. São Paulo: Martins Fontes.